

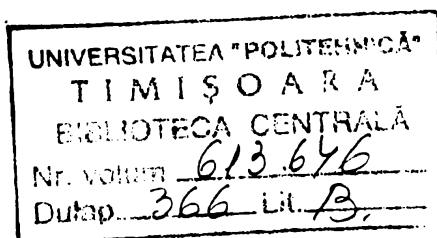
**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA
CATEDRA DE TERMOTEHNICA SI MASINI TERMICE**

ing. Palcu Gheorghe

**CONTRIBUTII LA MODELAREA PROCESELOR
DIN CAMERELE DE
ARDERE ALE TURBOMOTOARELOR CU ARDERE INTERNA
FUNCTIONAND CU COMBUSTIBILI LICHIZI**

Teza pentru obtinerea titlului stiintific de

doctor inginer



Conducator stiintific:

prof. dr. ing. Berindean Vasile

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

1997

REZUMAT

Scopul acestei lucrari este modelarea proceselor din camerele de ardere, pe baza analitica si experimentală in vederea cunoasterii fenomenelor, parametrilor si legile care guverneaza aceste procese.

Instalatia construita pentru cercetarea organizata a miscarii aerului in camera de ardere de conceptie proprie se compune din standuri la care se utilizeaza urmatoarele metode de cercetare:

- modelarea electrica cu hartie electro-conducatoare;
- vizualizarea miscarii aerului in camera de ardere cu substante trasoare;
- vizualizarea curentilor de curgere cu ajutorul plasmei;
- masuratori a presiunii statice de-a lungul camerei de ardere.

Cu primele trei metode de experimentare se obtin numai rezultate calitative. Totusi, cu aceste metode se pot obtine relativ usor multe rezultate importante ca de exemplu: locurile de turbulenta, volumul si marimea turbulentei, punctele de stagnare si curgere inversa, portiunile construit gresit de camera, structura miscarii organizate a aerului in camera de ardere, determinarea vitezelor de curgere si presiuni sub aspect calitativ.

Pentru masurarea si inregistrarea complet automata a rezultatelor, standurile de experimentare sunt echipate cu o aparatura electrica si electronica corespunzatoare.

Toate standurile de masuratori si inregistrari si au fost executate in constructie proprie in cadrul S.C. ASTRA Vagoane Arad S.A., incercarile fiind executate in cadrul laboratorului de Motoare Termice a Catedrei de Termotehnica si Masini Termice a Universitatii "Politehnica" Timisoara.

Modelul matematic de evaluare a lungimii minime a camerei pentru o ardere completa precum si determinarea campului de temperatura la peretele camerei pe baza

elementelor finite utilizand programul de calcul in limbaj Fortran 77 sub Windows 95, cat si metodica cercetarii au fost concepute de autor.

Lucrarea pune la dispozitia proiectantilor metode simple de evaluare a fenomenelor din camera de ardere, iar ca aplicativitate a rezultatelor cercetarilor camerei de ardere a turbomotorului se aminteste revigorarea sistemului de incalzire casnic cu microcentrale pe baza arzatoarelor cu combustibili lichizi.

SUMMARY

The purpose of this work is the model of the methods from the burning - room on an analytic base, and experimental, following to learn about the phenomens, the parameters and the laws whus rules these processes.

The instalation builted for the organised research of the air current in the burning room - by own conception is composed by stands of wich there are used the - following methodes of research:

- the electrical model with electro - conductive paper;
- the view of the currents of flowing using the plasma;
- the measure of the stathical preasure in the burning room.

Using the first three methods, we obtain only qualitative results. For all that, we can obtain with thiese methods, many importants results as: the riotous places, the volume and the seize of the riotous, the stagnant moments, and the flowing moments, the wrong builted sections of the burning room, the structure of the organized move of the air inside of the burning room, the establishment of the flowing speed and the preasure, qualitativ.

For the measure and the automathical record of the reults, on the stalls there is an adequate electrical and electrotechnical instalation.

All the measure and record stalls have been builted by S.C. ASTRA Vagoane Arad S.A. , and investigation were maket in the Thermical Motors Laboratory of the Thermotechnic and Thermical Engines Chair of the Universyty "Politehnica" from Timisoara.

The mathematical model of the evolution of minimal size of the complet - burning room, and the establish of the temperature file on the room's wall by using the calculation program on Fortran 77 under Windows 95. The method of the research have been made by the author.

This project gives to the authors very simples methods of phenomens evaluation in the burning room. As an aplication of the researching results on this burning room; the restore of the warming sistem, with microheadquarters using liquids carburants.

KURZFASSUNG

Der Zweck dieser Arbeit ist die Modellierung der Vorgänge von den Brennkammern und bekannt machen die Naturerscheinungen auf den analytischen und erfahrungsmässig die Parameter und die Gesetze die diese Vorgänge führen. Die entworfene und ausgeführte Anlagen ist:

Anlage für das einrichten der tuftbewegung in der Brennkammer besteht aus Prüfständen die benützen die folgende Forschungsmethoden:

- die elektrische Modellierung mit elektrischer leitenden Papier;
- die Sichtbarmachung der tuftbewegung mit Spurstoffen;
- die Sichtbarmochung der Ströme mit Plasma;
- die Messungen der statischen Druckes längs der Brennkammers.

Mit den ersten drei Versuchsmethoden erhält man nur qualitative Ergebnisse. Trotzdem mit diesen Versuchsmethoden kann man leicht viele bedeutende ergebnisse erhalten wie zum Beispiel: die Turbulenzplatze, das Rauminhalt der turbulenz, die Stillstandpunkte, gegentrömung, die fehlerhafte Teile der ausgeführten Brennkammer, die struktur der eingerichteten Luftbewegung im der Brennkammer, die qualitative Bestimmung der Geschwindigkeiten und der Drücke.

Die Versuchstände waren mit entsprechenden elektrischen und elektronischen Vorrichtungen ausgerüstet um das ganzautomatische Erfassen der Ergebnisse.

Alle Prüfstände für das Messen und Erfassen waren entworfen von verfassner und im S.C. ASTRA Vagoane Arad S.A. ausgeführt.

Die Versuche waren im Labor für Verbrennungsmotoren des lehrstuhls für Wärmekraftmaschinen und Thermotechnik der Universität "Politehnica" Timisoara ausgeführt.

Die Modellschätzung der minimalischen tänge des Brennkammers für eine Volständige Verbrennung samt die Bestmmung des Temperatarfeldes bei der Brennkammerwand mit den Finite Elementen struktur und das Rechnen program im der sprache Fortran 77 unter Windows 95 sind auch ein Wertvolles Verdienst der Arbeit.

Die Ergebnisse der Forschungen der Brennkammer des Turbomotors können für die Hauszentralheizung benützt werden mit Mikrozentralen bei Brennen für flüssige Brennstoffe, ebenfalls die Arbeit gibt zur Verfügung den Projektanten einfache Methoden zur schätzung der Erscheinungen von der Brennkammer.

P R E F A T A

Stiinta si tehnica contemporana prezinta in domeniul aerospacial realizari care dau adevarata dimensiune a capacitatii de creatie si cutezantei nestavilite de cunoastere a omului modern si mijloacelor sale de investigatie si de productie.

Dezvoltarea rapida a transporturilor aeriene a facut ca turbomotoarele cu ardere interna functionand cu combustibili lichizi, sa fie utilizate tot mai mult ca mijloc de propulsie.

In ultimul timp cele mai insemnate directii de cercetare, in cazul turbomotoarelor sunt: reducerea consumului specific de combustibil, reducerea emisiilor poluante.

Toate aceste probleme sunt strans legate de optimizarea proceselor si fenomenelor care au loc in camera de ardere a turbomotorului.

Desi la prima vedere aceste procese sunt foarte simple, tinand seama de cerintele si conditiile concrete impuse turbomotoarelor de aviatie, problemele ce trebuiesc rezolvate sunt foarte numeroase, deosebit de subtile, iar unele dintre fenomenele interne ale procesului de ardere nu sunt nici acum complet elucidate.

Ca urmare in proiectarea si realizarea camerei de ardere intervine mult experienta anterioara, precum si numeroase verificari pe modele.

Modelarea proceselor din camerele de ardere vine sa intregasca cunostintele acumulate si sa ofere posibilitatea utilizarii rezultatelor la perfectionarea camerelor de ardere, cu aplicare si in alte domenii decat cel aviatic.

Avand in vedere importanta cercetarilor privind procesele din camera de ardere a **turbomotoarelor**, **inca** din perioada studentiei, autorul prezentei lucrari a inceput primele cercetari in legatura cu aceasta problema. Rezultatele au fost prezentate in cadrul lucrarii de diploma "Turbomotoare utilizate pentru tractiunea feroviara".

Tema tezei de doctorat am ales-o la initiativa conducatorului meu stiintific prof. dr. ing. Vasile Berindean caruia ii multumesc si pe aceasta cale pentru sfaturile si sugestiile pretioase precum si pentru sprijinul deosebit pe care mi l-a acordat la elaborarea tezei.

Mulumesc colegilor si colaboratorilor din cadrul S.C. ASTRA Vagoane Arad S.A., care m-au ajutat la realizarea instalatiilor si a modelelor de incercare precum si la executarea masuratorilor experimentale.

Mulumesc de asemenea tuturor acelora, care m-au sprijinit moral si material la realizarea acestei lucrari.

NOTATII

$B[-]$	- coeficient de vaporizare
$c_p[J/kg \cdot K]$	- caldura specifica
$c_u[-]$	- constanta modelului turbulentei
$d_\alpha[m]$	- diametrul exterior a stabilizatorului
$d_i[m]$	- diametrul interior a camerei
$D,d[m]$	- diametru
$E[kw/m^2]$	- emisia corp negru
$F[m^2]$	- suprafata
$\overline{FF} [m^2]$	- factor de schimb de radiatii intre doua suprafete
$\overline{GG} [m^2]$	- factor de schimb de radiatii intre doua volume de gaz
$\overline{GF} [m^2]$	- factor de schimb de radiatii intre volumul de gaz si suprafata
$G_1[Kg \cdot m/s^2]$	- circuitul de impuls
$G_k[N/s \cdot m^2]$	- rata volumica de formare
$G[kg/m^2s]$	- viteza masica totala a carburantului
$g[m/s^2]$	- acceleratia gravitacionala
$h_f[J/kg]$	- eutalpia medie in timp de repaus
$H[Kj/kg]$	- puterea calorica
$K[m^{-1}]$	- coeficient de absorbtie
$k_t[m^2/s^2]$	- energia cinetica a pulsatiilor turbulente
$k[m^2/s^2]$	- coeficient adiabatic
$h[j/kg]$	- eutalpia momentana a gazului
$l[m]$	- lungime
$Q[KJ/s]$	- cantitatea de caldura dezvoltata in camera de ardere
$l_w[m]$	- lungimea turbionului in spatele stabilizatorului de flacara
$q[J/kg]$	- energie specifica adaugata
$q_n[-]$	- cantitatea de caldura specifica normata
$q'[-]$	- cantitatea de caldura specifica normata la considerarea debitului de combustibil adaugat
$q_{n \max}[-]$	- cantitatea de caldura specifica normata maxima care poate fi adaugata camerei de ardere
$m_1, m_0, m_x[kg/s]$	- debit de aer
$m_{0x, \infty} [-]$	- participarea masica a oxigenului in aer
$P_r[-]$	- numarul lui Prandtl
$p[N/m^2]$	- presiune
$p_{01}[N/m^2]$	- presiunea statica in sectiunea 1
$p_{02}[N/m^2]$	- presiunea de stagnare in sectiunea 2
$p_{03}[N/m^2]$	- presiunea de stagnare in sectiunea 3
$R_j[kg/m^3 s]$	- formarea concentratiei masice a unui component chimic pe unitate de volum si timp
$R[J/kg \cdot K]$	- constanta generala a gazului
$r_0[\mu m]$	- raza picaturii de injectie

$r[\mu\text{m}]$	- raza picaturii
$s[\text{kg}]$	- masa aerului introdus
$S_{1-3}[\text{m}^2]$	- sectiune
$S_c[-]$	- factor de frecare
$T[\text{K}]$	- temperatura
$T_g[\text{K}]$	- temperatura gaz
$T_{02}, T_{03}[\text{K}]$	- temperatura franata
$T_{wi}[\text{k}]$	- temperatura perete
$u[\text{m/s}]$	- viteza aerului
$V[\text{m/s}]$	- viteza combustibilului la iesirea din injector
$V_i, V_j[\text{m/s}]$	- componenta medie a vitezei in functie de timp dupa directii
$v_g[\text{m}^3]$	- volumul gazului
$v_1, v_e, v_3[\text{m}^3/\text{kg}]$	- volumul specific sectiunilor 1, 2, 3
$W_n[\text{m/s}]$	- viteza gazului normata
$W_s[\text{m/s}]$	- viteza critica a gazului
$W_{\text{max}}[\text{m/s}]$	- viteza maxima a gazului
$W_1 \dots W_4[\text{m/s}]$	- viteza gazului in sectiunile 1 ... 4
$x[-]$	- raportul dintre debitul de aer care intra in turbion si debitul total de aer care strabate camera de ardere
$y[-]$	- raportul dintre debitul de combustibil injectat si debitul total de aer
$Y_0/Y_{12}[-]$	- raport de diametre
$z_p[-]$	- viteza adimensionala a picaturii
$\mu_g[\text{Ns}/\text{m}^2]$	- viscozitatea medie a gazului
$\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$	- densitate
$\rho_R[\text{kg}/\text{m}^3]$	- densitatea amestecului de intoarcere
$\rho_s[\text{kg}/\text{m}^3]$	- densitatea curentului principal
$\varphi_p[-]$	- raza adimensionala a picaturii
$\omega_g[-]$	- viteza adimensionala a gazului
$\xi[-]$	- lungimea adimensionala
$\Gamma_k[\text{Ns}/\text{m}^2]$	- coeficient de schimb turbulent
$\Gamma[\text{m}^2/\text{s}]$	- constanta de difuzie
$\alpha_g[\text{W}/\text{m}^2\text{k}]$	- coeficient de schimb convectiv
$\lambda_m[\text{W}/\text{mk}]$	- conductivitatea termica material
$\beta_t[\text{grad}]$	- unghiul de deschidere a flacarii
$\tau[\text{s}]$	- timp
$k_i[\text{KW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$	- coeficient de schimb caldura a peretelui
$\varepsilon[-]$	- grad emisie
$\varepsilon_t[\text{m}^2/\text{s}^3]$	- disiparea energiei cinetice de tubulenta

INDICI

l ... 4	- indici pentru sectiune
-	- valoare medie din sectiune
a	- aer
ad	- aductie
b	- barometric
ev.	- evacuare
E	- iesire
g	- gaz
int.	- intrare
m	- medie
n	- normat
O	- intrare
p	- picatura
ref.	- referinta
R	- intoarcere
s	- sunet
t	- turbulenta
u	- mediu
w	- perete

CUPRINS

1. Introducere	13
2. Stadiul actual al cercetării proceselor din camerele de ardere ale turbomotoarelor.....	16
2.1. Generalitati	16
2.2. Fenomene de curgere și amestec în camerele de ardere	17
2.3. Cercetarea matematică a camerelor de ardere.....	21
2.4. Comparatii între valorile calculate cu ajutorul modelelor analizate și încercări	31
2.5. Concluzii asupra stadiului actual al cercetării	34
3. Metode de modelare și cercetare a proceselor din camera de ardere a turbomotoarelor	35
3.1. Condiții de similitudine	35
3.2. Modelarea fizică a flăcării turbulente	38
3.2.1. Cercetarea flăcării turbulente la rece cu ajutorul modelului cu apă	38
3.2.2. Studiul flăcărilor turbulente cu ajutorul sondelor electronice	40
3.3. Modelarea electrică a transportului de căldură și de substanțe pentru o camera de ardere	41
3.4. Modelarea electrică cu hartie electroconductoare a curgerii.....	43
3.5. Metode de modelare a circulației aerului prin camera de ardere a turbomotorului	45
3.5.1. Vizualizarea liniilor de curgere cu ajutorul substanțelor trazoare	45
3.5.2. Vizualizarea curenților de curgere prin descărcări electrice de frecvență și tensiune foarte înaltă	45
4. Modelul matematic de evaluare	47
4.1. Calculul proceselor termogazodinamice din camera de ardere.	47
4.1.1. Deducerea unui sistem de formule pentru încălzirea într-o teavă de secțiune constantă prin luarea în considerare a pierderilor prin curgere datorită montării stabilizatorului de flăcără și a debitului de combustibil injectat dacă se consideră gazul ideal cu $c_p = \text{constant}$	47
4.1.2. Determinarea parametrilor termogazodinamici din camera de ardere fără stabilizator de flăcără și la neglijarea debitului de combustibil prin considerarea unui gaz ideal cu $c_p = \text{const.}$	49
4.1.3. Determinarea parametrilor termogazodinamici din camera de ardere cu considerarea pierderilor datorită stabilizatorului de flăcără și a debitului de combustibil injectat pentru un gaz ideal cu $c_p = \text{const.}$	52
4.1.4. Determinarea parametrilor termogazodinamici din camera de ardere cu considerarea pierderilor datorită stabilizatorului de flăcără și a debitului de combustibil injectat și a variației de căldură specifică cu temperatura.....	53
4.2. Determinarea lungimii minime a camerei de ardere pentru o ardere completă.	60

4.3. Determinarea campului de temperaturi in camera de ardere prin metoda elementelor finite	65
5. Cercetari experimentale.....	70
5.1. Camera de ardere tubulara experimentală.....	70
5.2. Instalatia de producere a curentului de aer folosita la incercari.....	72
5.3. Determinarea vitezei la iesirea din confuzor si a presiunii statice pe lungimea camerei.....	73
5.4. Instalatia de vizualizare a liniilor de curent cu substante trasoare	75
5.5. Modelarea electrica a liniilor de curent cu ajutorul hartiei electroconductoare	76
5.6. Instalatia pentru vizualizarea miscarii aerului prin descarcari electrice de frecventa si tensiune foarte inalta	80
5.7. Aparatura folosita si precizia de masurare	81
6. Interpretarea rezultatelor cercetarii experimentale	82
6.1. Rezultatele experimentale prin modelarea electrica cu hartie electroconductoare a curgerii.	82
6.2. Rezultatele experimentale obtinute prin vizualizarea curentilor cu substante trasoare	83
6.3. Rezultatele vizualizarii curentilor de curgere prin descarcari electrice de frecventa si tensiune foarte inalta	83
6.4. Valorile masuratorilor presiunii statice de-a lungul camerei de ardere	83
7. Rezultatele obtinute prin simulare numerica pe calculator	95
7.1. Interpretarea rezultatelor numerice privind lungimea minima a camerei de ardere	95
7.2. Compararea marimilor determinate cu valorile obtinute experimental	95
7.3. Distributia temperaturilor in camera de ardere obtinuta prin simularea numerica	96
8. Influenta camerei de ardere a turbomotorului aeronautic asupra mediului	109
8.1. Influenta parametrilor functionali si a proceselor din camera de ardere a turbomotoarelor asupra poluarii chimice	109
8.2. Metode de reducere a poluarii produse de turbomotoare.....	112
9. Efecte economice	115
10. Concluzii	117
11. Bibliografie.....	121

1. Introducere

Scopul acestei lucrări îl constituie modelarea proceselor din camerele de ardere ale turbomotoarelor cu ardere internă functionând cu combustibili lichizi, pentru stabilirea legilor și factorilor care influențează desfășurarea lor.

Lucrarea are un număr de 10 capitole, cuprinzând un număr de 127 pagini, cu 87 figuri, 110 relații numerotate, tabele cu rezultate (anexe).

Lucrarea conține anexe în care sunt prezentate programele de calcul în limbaj Fortran 77 sub Windows 95 împreună cu valorile calculate și măsurate.

În cadrul primului capitol se prezintă pe scurt conținutul fiecărui capitol precum și principalele contribuții ale lucrării.

Capitolul 2 reprezintă partea monografică a lucrării tratând procesele din camerele de ardere a turbomotoarelor. Sunt prezentate pe rând stadiul actual al cercetării matematice a flăcării turbulente, a camerei de ardere, rezultatele încercărilor experimentale, cât și o analiză critică a acestor cercetări.

Studiul efectuat asupra stadiului actual al cercetărilor, justifică cercetările din cadrul tezei.

În capitolul 3 sunt prezentate metodele de modelare și cercetare a proceselor din camera de ardere, stabilind principalele condiții de similitudine. Sunt tratate metode de cercetare a flăcărilor turbulente, modelarea electrică a transportului de căldură și substanță pentru camera, precum și vizualizarea circulației aerului în camera.

Capitolul 4 prezintă “Modelul matematic de evaluare” a celor mai importante procese din camera după cum urmează: Stabilirea parametrilor termogazodinamici în camerei de ardere ținând cont de stabilizatorul de flăcără și debitul de combustibil injectat, lungimea minimă a camerei de ardere pentru o ardere completă, câmpul de temperatură la pereții camerei.

Capitolul 5 “Cercetări experimentale” prezintă standurile de încercare și aparatura aferentă precum și metodica cercetărilor experimentale toate fiind concepute de autorul lucrării și executate în cadrul S.C. ASTRA Vagoane Arad S.A. Dintre acestea se menționează: Modelul de camera de ardere cu stabilizator de flăcără, instalație de vizualizare a liniilor de curent cu substanțe trasoare, instalație de modelare electrică a liniilor de curent cu ajutorul hârtiei electroconductive, instalație pentru vizualizarea mișcării aerului prin descărcări electrice de frecvență și tensiune foarte mare.

Capitolul 6 “Interpretarea rezultatelor cercetării experimentale” prezintă rezultatele aplicative asupra mișcării organizate și a pierderilor gazodinamice a aerului în camera de ardere ținând cont de aprinzătorul de flăcără și stabilizator, toate fiind rezultatul încercărilor prezentate în capitolul 5.

Capitolul 7 “Rezultate obținute prin simulare numerică, pe calculator” reprezintă valorile calculate a modelului matematic tratat la capitolul 4, cu ajutorul programelor de calcul.

Capitolul 8 “Influența parametrilor funcționali a camerei asupra poluării mediului” tratează influența diversilor parametrii termogazodinamici și constructivi asupra produselor rezultate în urma arderii cu consecințe directe asupra poluării. Se

prezinta in continuare metoda de reducere a elementelor poluante rezultate in urma arderii in camera.

In capitolul 9 "Efecte economice" sunt tratate posibilele aplicatii a cercetarii proceselor din camera de ardere privind incalzirea casnica centrala cu ajutorul arzatoarelor cu flacara pe baza de combustibili lichizi.

In capitolul 10 "Concluzii" se prezinta principalele concluzii obtinute in cadrul acestei lucrari.

Teza de doctorat este o lucrare, din care in mod deosebit se citeaza urmatoarele contributii personale:

Contributii teoretice

Realizarea calculelor pentru:

- modelul matematic de determinare a parametrilor termogazodinamici din c.a., fara stabilizator de flacara si neglijarea debitului de combustibil injectat;
- modelul matematic de determinare a parametrilor termogazodinamici din c.a. cu considerarea pierderilor datorita stabilizatorului de flacara si a debitului de combustibil injectat pentru cazul unui gaz cu $c_p = \text{const.}$ respectiv cand $c_p = f(T)$;
- modelul matematic de evaluare a lungimii minime a camerei de ardere pentru o ardere complecta pe baza marimii picaturii;
- modelul matematic de evaluare a campului de temperatura la peretele camerei folosind metoda elementelor finite cu ajutorul unui program de calcul evoluat.

Toate aceste metode de calcul se bazeaza pe o serie de ipoteze expuse in lucrare. Avand in vedere complexitatea fenomenelor din camera de ardere s-a incercat modelarea cat mai fidela a fenomenelor esentiale, cu predilectie acelea pentru care cercetarea experimentală devine costisitoare.

Contributia acestor calcule a modelelor matematice asigura evaluarea rapida a proceselor din camera si ofera constructorului metode simple de calcul si de verificare.

Contributii experimentale

- *Metodica cercetarii.* Cercetarile au fost executate dupa un sistem combinat de metode cu faze diferite, pornind de la cazul idealizat si sfarsind cu cel real. Astfel s-a studiat curgerea idealizata a aerului prin camera de ardere tubulara cu stabilizator de flacara si camera inelara prin metode de modelare electrica, apoi curgerea reala prin metode de vizualizare, obtinandu-se numai rezultate calitative, insa importante, deoarece ele au indicat locurile de desprindere ale curentului de aer fata de curentul principal, gradul de turbulenta, curgere inversa in vederea asigurarii conditiilor de aprindere si ardere completa a combustibilului.

- *Instalatia de experimentare.* S-au realizat mai multe standuri de experimentare, pentru modelarea electrica cu hartie electroconducatoare in doua sisteme analogice, prin descarcari electrice de tensiune si frecventa inalta si prin vizualizari si incercari de curgere stationara si dinamica.

- Constructia camerei de ardere tubulare a fost conceputa cu un stabilizator de flacara care asigura in acelasi timp stabilizarea frontului flacarii cat si zona de recirculare pentru o ardere rapida si completa.

- Aparatura electrica si electronica de masurare si inregistrare.

- Tehnologia de executie a modelelor camerelor de ardere pentru a putea raspunde tuturor cerintelor de incercare.

- *Factori de influenta.* Conceptia camerei de ardere cu stabilizator de flacara asigura:

- posibilitatea utilizarii energiei cinetice a gazului eficient, datorita scaderii mici a valorii vitezei de curgere a aerului pana in zona in care are loc aportul de caldura Q;

- formarea rapida a amestecului aer-combustibil si stabilizarea frontului de flacara datorita formei stabilizatorului de flacara;

- realizarea in torul stabilizatorului a zonei de recirculatie prin curenti inversi alimentata din gazele arse ce sunt apoi dirijate spre partea anterioara a acestuia cu efecte benefice asupra unei arderi complete.

- *Cercetarea comparativa.* Prin metoda modelarii electrice a doua camere, tubulara cu stabilizator si inelara fara stabilizator (ce echipeaza turbomotorul Turmo IV) se confirma importanta hotaritoare a formei geometrice a camerei cu influenta directa asupra proceselor.

- Imbunatatirea solutiei constructive a camerei confera optimizarea procesului de formare a amestecului aer-combustibil cat si o ardere completa cu influenta directa asupra reducerii emisiilor poluante asupra mediului.

- *Efecte economice.* Aplicarea camerei de ardere tubulara cu stabilizatorul propus, ca arzator cu flacara pentru microcentrale in sistemul de incalzire casnic, implica modificari minime cu efecte de reducerea consumului de combustibil si emisii poluante.

- Rezultatele obtinute in aceasta lucrare constituie o contributie la perfectionarea in continuare a proceselor din camera de ardere a turbomotoarelor cu efecte asupra proiectarii noilor constructii de turbomotoare.

2. Stadiul actual al cercetării proceselor din camerele de ardere ale turbomotoarelor

2.1. Generalități

Dezvoltarea actuală a turbomotoarelor a dus la o diversificare a camerelor de ardere, astfel încât după forma constructivă și procesele care au loc, acestea se pot clasifica în: camere de ardere tubulare, inelare, mixte, în contra curent, cu curgere inversă. Clasificarea după forma geometrică fiind folosită cel mai adesea.

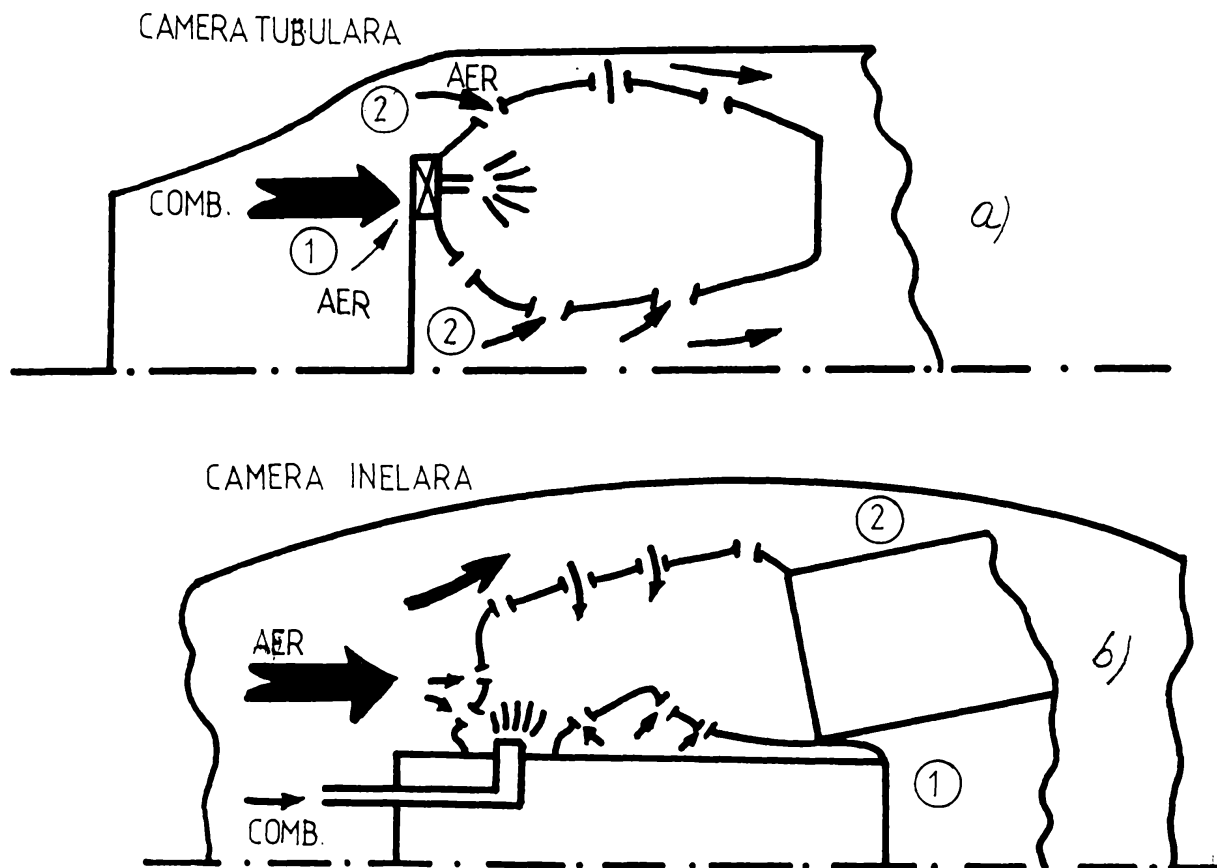


fig. 2.1 - Tipuri de camere de ardere

Camera tubulară (fig.2.1a) prezintă avantajul unei simplități constructive, având două deschideri una spre compresor și alta spre turbină, curgerea aerului fiind caracterizată prin două fluxuri de aer: 1 primar și 2 secundar.

Camera inelară (fig.2.1b), caracteristică pentru turbomotoare foarte compacte, puteri mici și medii, are o singură deschidere spre turbină, cu o curgere a aerului prin flux 1 primar și flux 2 secundar. Specific acestei camere este că la începutul zonei de ardere pe o anumită lungime se instalează zona contra curenților; prin orificiile laterale pe toată lungimea zonei de ardere, se introduce o anumită cantitate de aer de răcire. Zona de reacție se formează în curentul de aer ce iese din dispozitivul frontal în interiorul limitelor de separație între diferitele cantități de aer. În interiorul limitelor zonei de amestec turbulent se introduce volumul de combustibil, producându-se

faramitarea acestuia in mase elementare care isi pierd individualitatea in urma difuziunii moleculare. Paralel cu amestecarea moleculara si turbulenta, un rol important il are amestecarea prin convecție determinata de elementele constructive ale camerei de ardere. Introducerea aerului secundar prin orificii laterale -flux secundar- de-a lungul intregii camere de ardere este o problema specifica camerelor de ardere a turbomotoarelor.

Corelatiile dintre procesele fizice si chimice ce se desfasoara in cazul camerelor de ardere (fig.2.2), au condus la o grupare a fenomenelor cercetate in camera de ardere:

- fenomenele de amestecare si stabilizarea flacarii pentru curgeri spatiale turbionate in camera de ardere.

- curgerea spatiala tridimensionala, termica, neizotermica, turbulenta, transferul de caldura si randamentul termic, geometria profilelor de temperatura.

2.2. Fenomene de curgere si amestec in camerele de ardere

Cercetarea fenomenelor fizice si chimice pentru studiul flacarilor turbulente reclama un calcul al caracteristicilor principale a flacarii, stabilirea marimii formei si zonei de reactie, stabilirea campului valorilor medii in timp, a temperaturii, concentratiei si a vitezei, precum si determinarea fluxului caldurii de radiatie, a zgomotului produs de flacara cat si cantitatea de funingine produsa in timpul arderii.

Punerea in ecuatie se face pe de o parte scriind pentru fiecare element de volum conservarea masei fiecarei substante chimice, conservarea cantitatii de miscare si conservarea energiei, iar pe de alta parte exprimand fluxul cantitatii de caldura.

Sistemele de ecuatii ale caror derivate partiale ne dau marimile: presiune, viteza, concentratie si temperatura dupa cele trei directii x, y, z, definesc matematic problema.

Complexitatea rezolvării acestor ecuatii diferentiale a dus la crearea de modele partiale care redau numai un aspect sau o fractiune de fenomene.

Fenomenele de curgere controleaza nu numai amestecul partenerilor de reactie, dar influenteaza si aductia de caldura la amestecurile care pot sa reactioneze, deoarece ambii parteneri de reactie si procesele reactiei se afla in miscare continua.

Cele mai multe puneri in ecuatie pentru fenomenele de curgere, amestec si ardere in flacari se bazeaza pe legile teoriei jetului liber de fluid.

Pentru fenomenele de ardere din camerele de ardere, acest model nu corespunde in totalitate deoarece avem de-a face nu cu jeturi libere ci cu jeturi inchise.

Cercetarile dupa [76] evidentiaza propagarea flacarii dupa linii de curent parabolic si linii de curent eliptic.

Curentul parabolic se caracterizeaza printr-o directie de deplasare predominanta, neavand curenti de sens opus. Fac parte din aceasta categorie radiatiile, straturile limita la pereti, curentii in tuburi si difuzoare, „flacari de difuzie”. Pentru curentii parabolici s-a elaborat o metoda de calcul ce permite determinarea valorilor vitezei, temperaturii, concentratiei, in nodurile unei retele ce cuprinde intregul camp de curenti. Metoda de calcul numita metoda „Bikini” este simpla cuprinzand numai zonele importante din campul de curenti.

Curentii eliptici contin zone in care directia curentului este opusa directiei principale de deplasare. Explicatia curentilor eliptici, respectiv a curgerii inverse se datoreaza

faptului ca jetul care iese din A (fig.2.3) aspira masa din mediul inconjurator aparand astfel o zona de subpresiune care face ca masa de fluid sa-si schimbe directia in sens invers fata de directia normala de curgere.

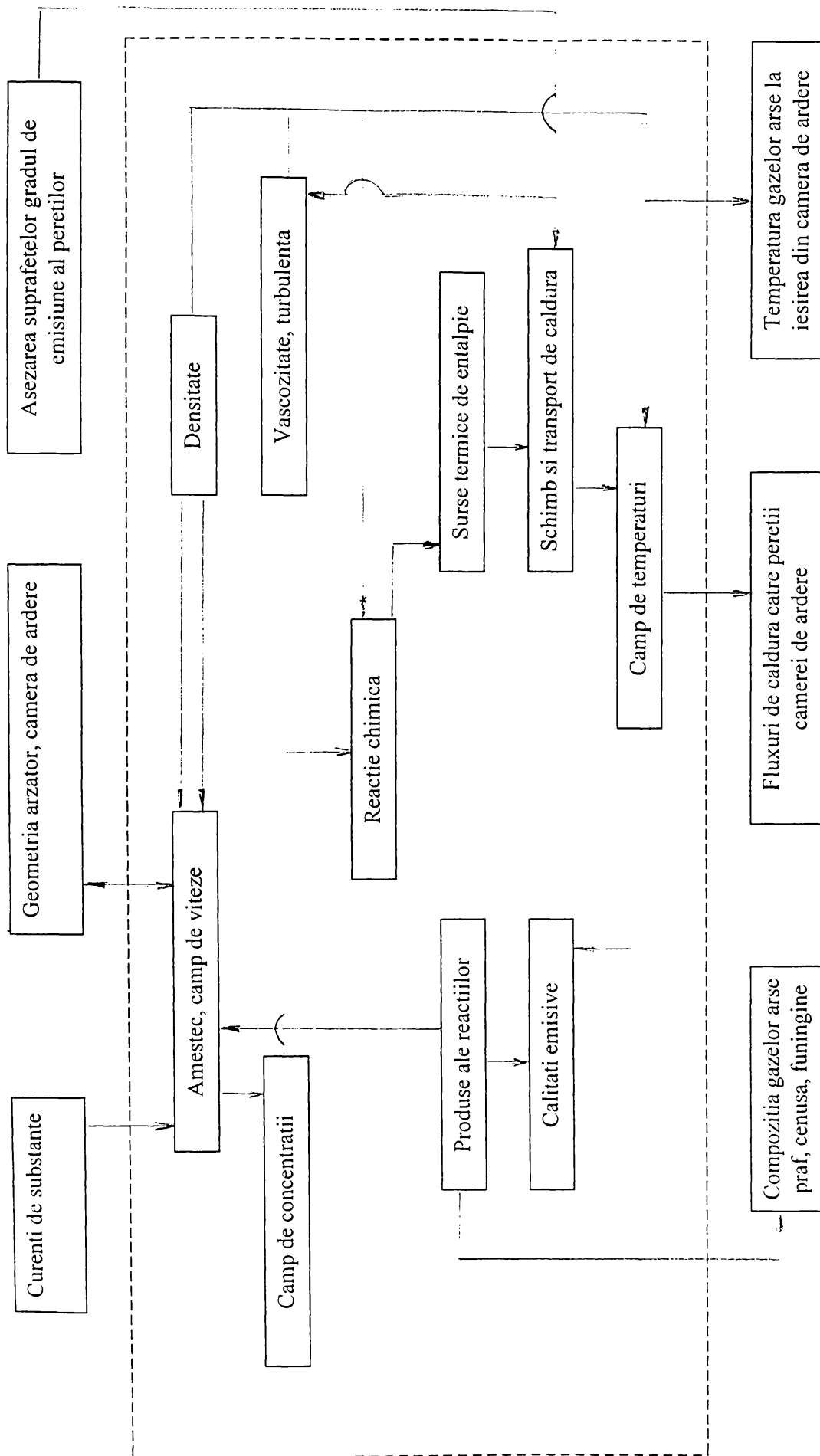


Fig. 2.2. Dependenta dintre diversi parametrii

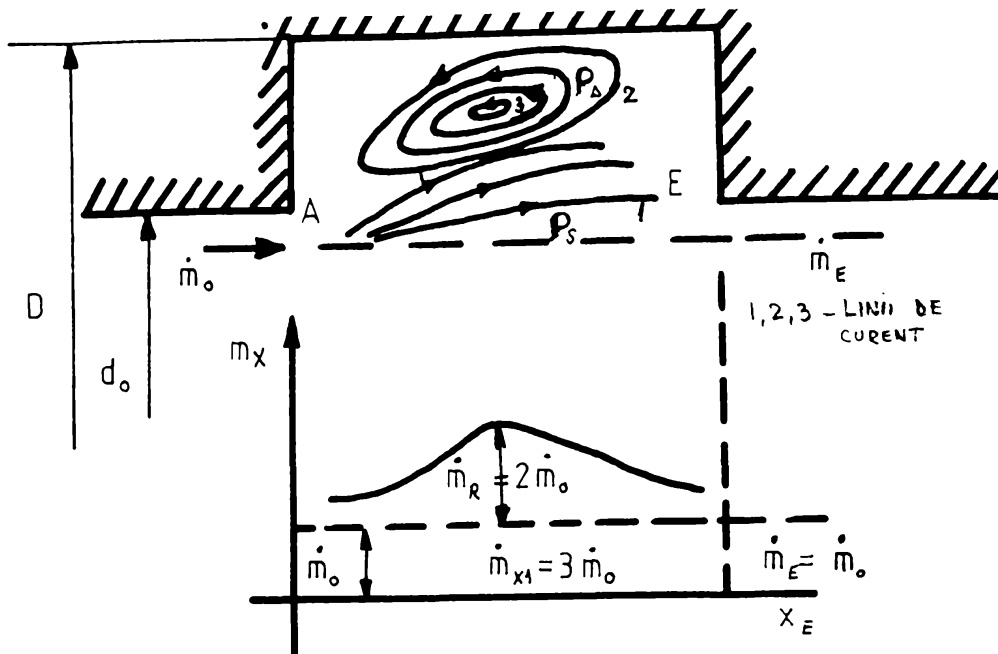


fig. 2.3. Curenti eliptici

Conform graficului din fig.2.3 curgerea directionala (debit masic) \dot{m}_x cat si curgerea inversa \dot{m}_R pot sa fie un multiplu al masei introduse in sectiunea A. Debitul masic \dot{m}_E de iesire, conform conditiei de continuitate va fi egal cu debitul introdus $\dot{m}_E = \dot{m}_0$. Pentru aceasta forma de curgere s-au stabilit legi empirice care permit determinarea urmatoarelor marimi:

- masa maxima a curgerii inverse si pozitia turbionului de revenire dupa Thring si Newby [43] pentru raporturi de diametre ($D/d_0 > 10$).
- masa curgerii inainte respectiv inapoi in zona jetului complet dezvoltat dupa Ricou si Spalding [43].

$$\frac{\dot{m}_x}{\dot{m}_0} = 0,32 \frac{x}{d_0} \sqrt{\frac{\rho_R}{\rho_S}} ; \quad [2.1]$$

unde:

$$\frac{x}{d_0} > 6$$

Ecuatia (2.1) este valabila numai pentru jeturi torsionate, fiind completata de P.Maier [43] pentru a putea fi aplicabila si la curgeri turbionare.

Acest domeniu de recirculatie in care viteza de baza este cu mult mai mica decat in jet, asigura pe de o parte transmiterea convectiva de caldura, pe de alta parte determina concentratia mediului care este hotaratoare pentru ardere.

$$\frac{\dot{m}_x}{\dot{m}_0} = 0,32 \frac{x}{d_0} \sqrt{\frac{\rho_R}{\rho_S}} + 2,2S ; \quad [2.2]$$

unde:

S este cifra de turbulenta

unde:

G_{ax} - curentul impulsurilor axiale.

$G_{t\alpha}$ - curentul impulsurilor tangențiale .

Metodele de calcul a curgerii curentilor spatiali turbulenti [49] se bazeaza pe descrierea matematica a turbulentei:

- teorii deductive - conform formularii lui Cosserat, cuprind numai marimi independente de sistem. Sunt admise teorii interioare ale elementelor masice infinite numite "spini" datorita carora tensorul de tensiune este simetric. Teoria se remarca prin aplicabilitate universala.

- teorii inductive - bazate pe formularile lui Chauchy, avand propunerea lui Reynolds de a compune vectorul local al vitezei vectoriale din acela al curentului de translatie mediat in timp, sau al curentului de baza si acela al miscarii de fluctuatie. Din cauza tensorului de tensiune Reynolds necunoscut, modelul nu este unic determinat.

- teorii empirice - formularea matematica a starii de tensiune duce la ecuatia impulsului in care densitatea fortei de inertie, densitatea fortei de compresiune, fortei de frecare, densitatea fortei aparente Reynolds se echilibreaza.

Se mai pot aminti teoriile statistice si fenomenologice legate de descrierea turbulentei.

Majoritatea autorilor care au propus modelele matematice ale flacarii, au considerat ca factorul fizic are rolul preponderent intrucat viteza de reactie chimica este atat de mare incat in momentul amestecarii combustibilului cu oxigenul, reactia chimica sa fie terminata.

Modelele matematice partiale propuse in timp sunt:

- modelul drumului de amestec [u,h,f]

- modelul Prandtl [u,h,f,k]

- modelul Kolnogorov [u,h,f,k,v]

- modelul Spalding [u,h,f,k,v,f']

unde notatiile din paranteze reprezinta variabilele dependente ale ecuatiilor diferentiale scrise in cazul modelului (u-viteza, h-entalpia, f-concentratia substantei injectate, k-energia de turbulenta, v-variata intensitatii vorticitatii).

2.3.Cercetarea matematica a camerelor de ardere

Punctul de plecare pentru scrierea ecuatiilor folosite in prezent pentru modelarea matematica a fenomenelor din camera de ardere (curgerea tridimensionala termica neizoterma turbulenta, transferul de caldura, geometria profilelor de temperatura, randamentul termic), il reprezinta ecuatia bilantului (2.4) pentru un volum al unui gaz neomogen, compresibil si cu curgere continua in cadrul camerei de ardere.

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{c}_p \bar{\theta}}{\partial \tau} + \nabla(\bar{\rho}, \bar{c}_p, \bar{\theta}, \vec{V}) + \nabla(\bar{\rho}_i, \bar{c}_p, \bar{\theta}', \vec{V}) = \bar{q}_{str} + \alpha_L \Delta(\bar{\rho}, \bar{c}_p, \bar{\theta}) + \bar{q}_{ch} \quad [2.4]$$

in care:

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{c}_p \bar{\theta}}{\partial \tau} \quad - \text{modificarea in timp a cantitatii de caldura}$$

$$\theta = T - T_B \quad - \text{temperatura de referinta a gazului}$$

$$\nabla(\bar{\rho}, \bar{c}_p, \bar{\theta}, \vec{V}) \quad - \text{transportul de entalpie pentru curgerea gazului de evacuare}$$

$$\nabla(\bar{\rho}, \bar{c}_p, \bar{\theta}', \vec{V}) \quad - \text{transportul de caldura prin stratul turbulent}$$

$$\bar{q}_{str} \quad - \text{transferul de caldura prin jet}$$

$$\alpha_L \Delta(\bar{\rho}, \bar{c}_p, \bar{\theta}) \quad - \text{transportul de caldura prin stratul turbulent}$$

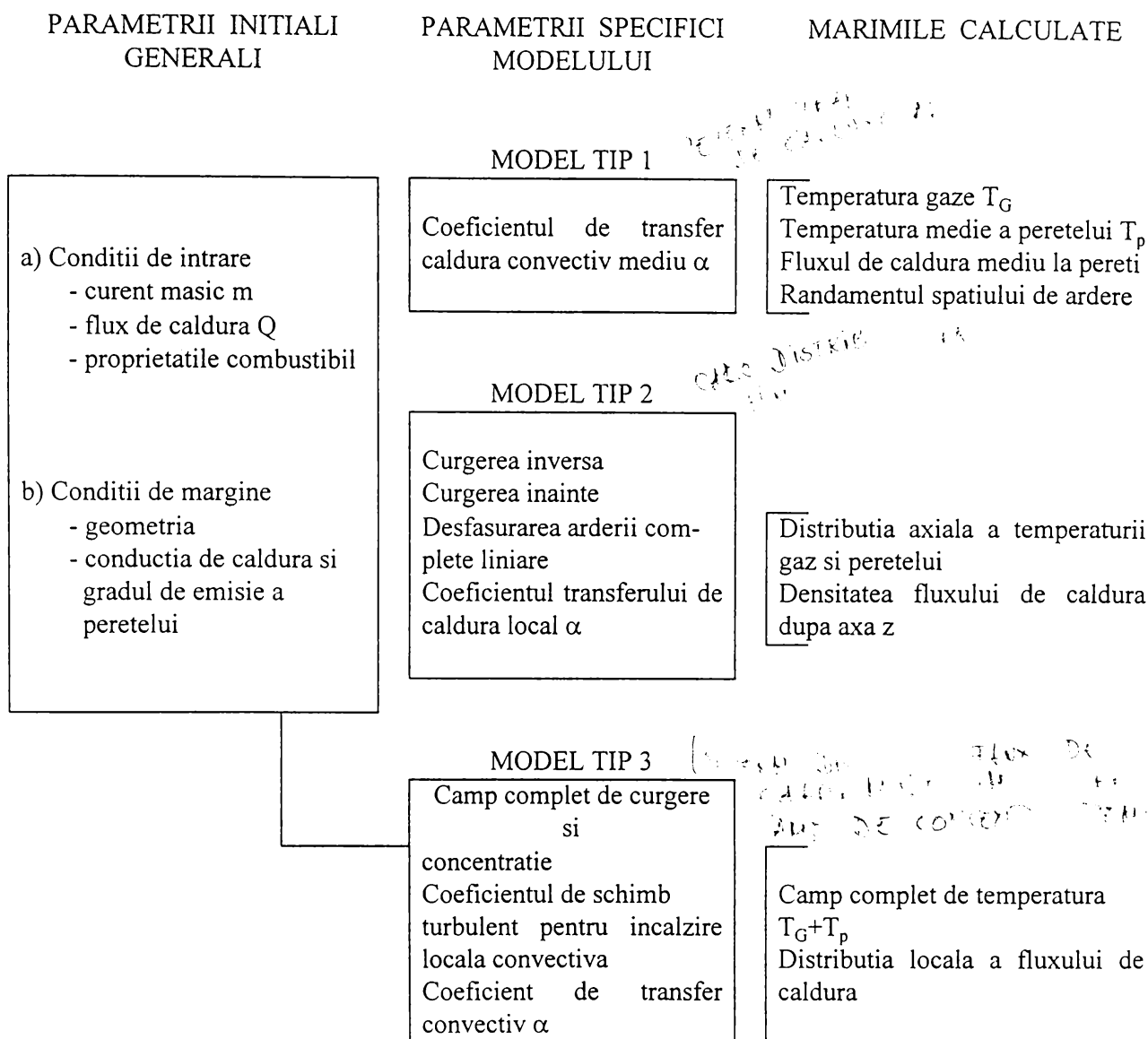
$$\bar{q}_{ch} \quad - \text{cantitatea de caldura din reactiile chimice}$$

Aceasta ecuatie a bilantului de energie nu poate fi rezolvata, de aceea au fost dezvoltate diferite metode de aproximatie si scrieri de ecuatii model. Cuprinderea transportului de entalpie legat de curgerea de evacuare si eliberarea cantitatii de caldura in urma reactiei chimice este nesatisfacatoare pentru toate punerile in ecuatie.

Pentru calculul termodinamic al camerelor de ardere s-au stabilit trei tipuri de modele matematice diferite in ceea ce priveste volumul si scopul calculelor [43]:

- modele pentru determinarea transferului total de caldura al camerei de ardere (tip 1).
- modele pentru calcularea unei distributii de flux de caldura unidimensional (tip 2).
- modele pentru determinarea difuziunii fluxului de caldura multidimensional cuprinzand in acelasi timp campurile de concentratie si temperatura (tip 3).

Alegerea unui model de calcul este in functie de modul in care se alege impartirea in zone a camerei de ardere.



Modelul tip 1 fig. 2.5 are in vedere intreaga camera de ardere luata ca un tot unitar [54]. Modelul se bazeaza pe presupunerea ca procesele din interiorul camerei de ardere se pot descrie destul de exact cu cate o valoare reprezentativa pentru: temperatura volumelor de gaz cat si a surselor reci, concentratiile de gaz si particole, cat si a transferului de caldura convectiv la sursele reci. Cu acest model se poate determina influenta parametrilor: exces de aer, cresterea de oxigen in aerul de ardere, felul combustibilului, asupra camerei de ardere. Pentru fiecare din sursele reci tratate pentru acest model (peretii camerei) este nevoie de o ecuatie a bilantului de energie. In cazul sursei reci se scrie ecuatia:

$$\overline{GF_iE_g} + \sum \overline{F_jF_iE_j} - F_i\varepsilon_iE_i + \overline{F_ia_i}(T_g - T_{w,i}) = F_ik_i(T_{w,i} - T_u); \quad [2.5]$$

si respectiv pentru volumul de gaz:

unde:

- | | |
|--|---|
| $\overline{G}_1 F_i E_g + \sum_j \overline{F}_j F_i E_j$ | - caldura transmisa prin radiatie; |
| $F_i \varepsilon_i E_i$ | - caldura absorbita de sursele reci; |
| $\overline{F}_i a_i (T_g - T_{w,i})$ | - caldura transmisa prin curent convectiv; |
| $F_i k_i (T_{w,i} - T_u)$ | - caldura absorbita de corpurile reci; |
| $\overline{G} G E_g + \sum_j \overline{F}_j G E_j$ | - caldura transmisa prin radiatie; |
| $4K_j v_g E_g$ | - caldura absorbita de surse reci; |
| $\sum_j \overline{F}_j a_j (T_g - T_{w,i})$ | - caldura transmisa prin convectie; |
| $\dot{m}_c H$ | - caldura degajata de combustibil; |
| $C_p m (T_{intrare} - T_g)$ | - caldura transportata prin curentul masic. |

Rezolvarea sistemului de ecuatii algebrice neliniare permite determinarea temperaturilor medii pentru toate sursele reci, temperaturile gazului, respectiv fluxurile de caldura la sursele reci a camerei de ardere.

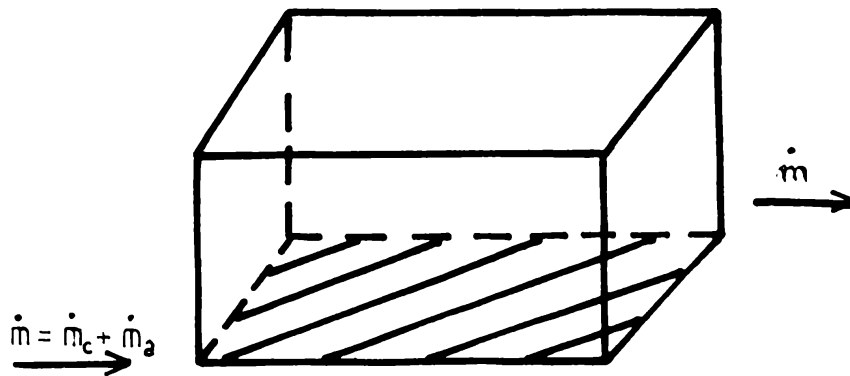


fig. 2.5 Modelul tip 1

La modelul matematic tip.2 [54] calculul termodinamic a camerelor de ardere in care transferul de caldura poate fi influentat esential de parametrii de ardere, se tine seama de desfasurarea curgerii, amestecarii si arderii complete. Acest fapt obliga la renuntarea utilizarii metodei fara “dimensiuni”, folosita la modelul tip.1. Este necesar introducerea cel puțin a unei dimensiuni, impartirea camerei de ardere de-a lungul axei flacarii (fig.2.6)

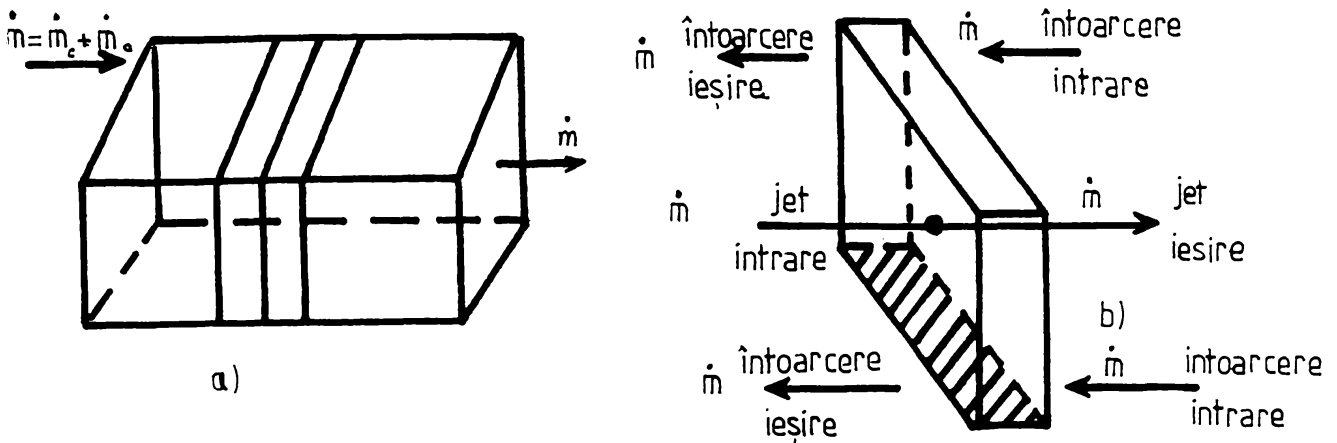


fig. 2.6 Model tip 2

Impartirea camerei de ardere in elemente separate nu necesita o modificare esentiala a metodei de calcul -ecuațiile (2.5), (2.6). Daca pentru modelul tip.1 descrierea transferului de caldura s-a facut cu valori medii ale parametrilor campului pentru intreaga camera de ardere, la modelul tip.2 problema este valabila numai pentru elemente luate fiecare separat.

Numarul ecuatiilor care urmeaza a fi rezolvate se stabileste prin numarul de elemente utilizate.

Pentru camerele de ardere in care curgerea inversa apare numai in zonele apropiate de arzator au fost gasite metode care tin cont de curgerea inversa. In acest sens se face distinctia intre doua zone: o parte a camerei de ardere, in care apare curgerea inainte si inapoi si o zona in care este numai o curgere inainte. Rezultate bune pot fi obtinute numai atunci cand intraga parte cu curgere inainte si inapoi poate fi cuprinsa intr-un singur element.

Avand la baza descrierea schimbului de caldura prin radiatii din modelul tip 1 (2.5, 2.6) influenta curgerii inverse asupra ecuatiei de bilant pentru volumul de gaz al fiecarui element in parte se scrie:

$$\sum_j \overline{G_j G_t} E_j + \sum_k \overline{F_k G_t} E_k - 4Kv_g E_g - \sum F_k a_k (T - T_w) + H\Delta\dot{m}_{comb} + (c_p \dot{m} T_g)_{jet, ad} - (c_p \dot{m} T_g)_{jet, cv} + (c_p \dot{m} T_g)_{jet, in, ad} - (c_p \dot{m} T_g)_{jet, in, cv} = 0; \quad [2.7]$$

unde:

$$\begin{aligned} \sum_j \overline{G_j G_i} E_j & \quad \} \\ & \quad \} \quad - \text{caldura transmisa prin radiatie} \\ \sum_k \overline{F_k F_i} E_k & \quad \} \\ 4Kv_g E_g & \quad - \text{caldura absorbita de surse reci} \\ \sum F_k a_k (T_g - T_w) & \quad - \text{caldura transmisa convectiv} \\ H \Delta \dot{m}_{\text{comb}} & \quad - \text{caldura degajata de combustibil} \\ (c_p \dot{m} T_g)_{\text{jet,ad}} & \quad - \text{caldura transportata prin jet de aductie} \\ (c_p \dot{m} T_g)_{\text{jet,ev}} & \quad - \text{caldura transportata prin jet de evacuare} \\ (c_p \dot{m} T_g)_{\text{jet,int.ad}} & \quad - \text{caldura transportata prin jet de intoarcere aductie} \\ (c_p \dot{m} T_g)_{\text{jet,int.ev}} & \quad - \text{caldura transportata prin jet de intoarcere evacuare} \end{aligned}$$

unde fiecarui volum de gaz i se atribuie o temperatura medie T_g .

Ecuatia de bilant pentru sursa negativa de caldura este:

$$\sum_j \overline{G_j F_i} E_j + \sum_k \overline{F_k F_i} E_k - F_i \epsilon_i E_i + F_i a_i (T_g - T_i) = k_i F_i (T_w - T_u), \quad [2.8]$$

unde semnificatia termenilor este cea data pentru ecuatia 2.5. Rezolvarea acestui sistem de ecuatii necesita determinarea maselor care intra si ies pentru fiecare volum de gaz. Asemenea date pot fi precizate pentru cazurile geometrice simple de ecuatiile 2.1....2.3 prezentate anterior.

Aplicarea metodei devine problematica atunci cand exista o distributie asimetrica a parametrilor de camp fata de planul de simetrie sau axele camerei de ardere.

Modelul tip 3 [54] se bazeaza pe discretizarea camerei de ardere printr-o retea paralelipedica pe sistemul de coordonate ales (fig. 2.7).

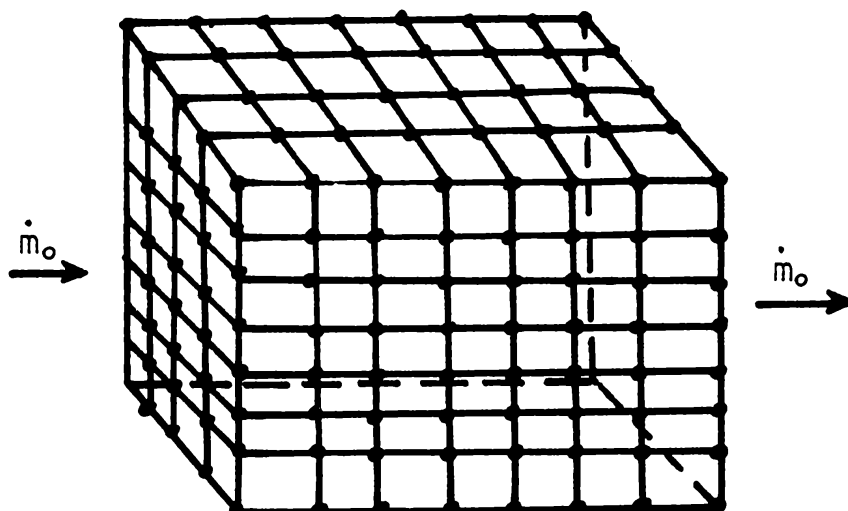


fig. 2.7 Model tip 3

Se cunosc doua grupe de modele matematice pentru acest caz, modele matematice bazate pe „metoda zonala” si modele matematice bazate pe rezolvarea ecuatiilor convective de transport.

“Metoda zonala”. In acest caz calculul bilanturilor de energie pentru zonele mici dar finite de ardere se scrie la fel dupa metoda tip.1 si tip.2.

Diferenta dintre modelul tip 2 si tip 3 “metoda zonala” consta in faptul ca prin amplasarea zonelor poate sa aiba loc un transport de energie intre elementele de gaze si in directii transversale. Dezavantajul metodei consta in faptul ca inaintea rezolvarii efective a bilantului de energie este nevoie de un numar mare de date de intrare specifice camerei de ardere. Deasemenea calculul cu factori de schimb de radiatie totali nu este destul de adecvat pentru cuprinderea radiatiei gazelor reale.

Modele matematice bazate pe rezolvarea ecuatiilor convective de transport. Pentru calculul campurilor liniilor de curenti si a concentratiei trebuie inclus transportul de substanta si impuls folosind ecuatii diferentiale ce descriu schimbul parametrilor de camp functie de timp. Aceste ecuatii valabile pentru curgeri multidimensionale se prezinta in (2.9):

$$\begin{array}{ll}
 \overline{\text{div}(\rho v)} = 0 & \text{- ecuatia de continuitate} \\
 \overline{\text{div}(\rho_1 v_o v)} + \overline{\text{div}(\rho v'_o v')} = -\text{grad} \bar{p} + \overline{\text{div} T_v} & \text{- ecuatia de impuls} \\
 \overline{\text{div}(\rho m_j v + I_j)} + \overline{\text{div}(\rho_1 m_j v')} = R_j & \text{- ecuatia de material} \\
 \overline{\text{div}(\rho h v + I_n)} + \overline{\text{div}(\rho_1 h' v')} = \bar{q}_{\text{str}} & \text{- ecuatia de energie.}
 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array}} \right\} [2.9]$$

Pentru rezolvarea ecuatiilor (2.9) camera de ardere va fi impartita intr-o multime de volume elementare pentru care sunt integrate aproximativ ecuatiile diferentiale.

Termenul \bar{q}_{irr} in ecuatia de energie care indica schimbul de caldura prin radiatie locala raportat la volum si unitate de timp, trebuie determinat cu exactitate din cauza importantei pentru schimbul total de caldura.

O rezolvare rationala din punct de vedere fizic a ecuatiilor de curgere depinde foarte mult de scrierea ecuatiei pentru termenul de corelatie a parametrilor de balansare a turbulentei $\overline{\rho V_0 V'}$; $\overline{\rho m_j V'}$ si $\overline{\rho h' V'}$ care cuprind schimbul intensificat datorita turbulentei de impuls, respectiv eutalpie.

Pentru acesti parametri sunt cunoscute o serie de modele de turbulenta [24].

Jeturile de aer rece si geometria zonelor de amestec au o influenta asupra formarii profilurilor de temperatura in camera de ardere a turbomotoarelor cu ardere interna. Acest fenomen se modeleaza matematic prin rezolvarea ecuatiilor de conservare, printr-o aproximare bidimensionala a curgerii. Ecuatiile de la care se pleaca sunt (2.9) scrise sub forma tensoriala.

- ecuatia de continuitate

$$\frac{d}{dx_i} (\rho V_i) = 0; \quad [2.10]$$

- ecuatiile impulsului

$$\frac{d}{dx_i} (\rho V_i V_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} \delta_{ij} + \frac{d}{dx_i} (\mu \frac{\partial V_j}{\partial x_i}) + \frac{d}{dx_i} [\mu \frac{dV_j}{dx_j} - \frac{2}{3} \frac{dV_k}{dx_k}] - \frac{d}{dx_i} (\overline{\rho V_i V_j}) + (\rho - \rho_{ref}) g_i; \quad [2.11]$$

unde:

V_{ij} - componenta medie a vitezei in functie de timp.

- ecuatia conservarii energiei

$$\frac{d}{dx_i} (\rho V_i h_f) = \frac{d}{dx_i} (\frac{\mu}{Pr} \frac{dh_f}{dx_i}) - \frac{d}{dx_i} (\overline{\rho V_i h_f'}) + S_h; \quad [2.12]$$

S_h - sursa de energie (radiatia termica)

δ_{ij} - Kronecker - delta

μ - viscozitatea dinamica

h_f - eutalpia medie franata

\cdot - marime pulsatorie turbulenta.

Pentru ecuatia transportului turbulent si a tensiunilor turbulente se foloseste notiunea de vascozitate de vartej μ_t introdusa de Benssines, cu ajutorul caruia tensiunile turbulente se pot aproxima dupa ecuatia:

$$(\rho V_i)' V_j = \mu_t \left(\frac{dV_i}{dx_j} + \frac{dV_j}{dx_i} - \frac{2}{3} \frac{dV_k}{dx_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k_t \delta_{ij}; \quad [2.13]$$

unde:

- k_t - energia cinetica a pulsatiilor turbulente
- μ_t - vascozitate de vartej.

Vascozitatea de vartej nu este o marime de substanta ci o marime a transportului turbulent. In mod analog termenul transportului turbulent din ecuatia (2.12) se poate aproxima prin:

$$\frac{d}{dx_i} (\rho V_i)' h_f' = - \Gamma_k \cdot \frac{\partial h}{\partial x_i}; \quad [2.14]$$

unde:

- $\Gamma_k = \mu_t / \sigma_{h,t}$
- $\sigma_{h,t}$ = numarul lui Prandtl pentru turbulenta
- Γ_k = coeficient de schimb de turbulenta.

Din ecuatiile (2.13) si (2.14) rezulta ca vascozitatea de vartej μ_t nu este un model de turbulenta ci o expresie cu ajutorul caruia termenul pulsatiilor turbulente poate fi exprimat ca o functie a marimilor de curgere medii, in timp.

Modelul $k_t - \varepsilon_t$ al lui Launder si Spalding [43] determina vascozitatea de vartej in campul de curgeri cu aplicabilitate generala. Repartitia lui μ_t in campul curgerii se face prin doua marimi a turbulentei, energia cinetica a pulsatiilor turbulente k_t si a ratei lor de disipare ε_t . Determinarea repartitiei in camp, a lui k_t si ε_t are loc prin rezolvarea ecuatiilor de transport pentru aceste marimi (2.15), (2.16).

- ecuatia de transport a energiei cinetice a turbulentei k_t :

$$\frac{d}{dx_i} (\rho V_i k_t) = \frac{d}{dx_i} \left(\Gamma_k \frac{dk_t}{dx_i} \right) + S_k; \quad [2.15]$$

unde:

$$\Gamma_k = \mu_{\text{eff}} / \sigma_k; \quad \mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t; \quad \mu_t = C_u \frac{\rho k_t^2}{\varepsilon_t};$$

$$S_k = G_k - \rho \varepsilon; \quad G_k = \mu_t \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} \frac{\partial V_j}{\partial x_i} + \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right);$$

G_k - rata volumica de formare
 ε_t - disiparea energiei cinetice a turbulentei
 C_u - constanta modelului turbulentei

- ecuatia de transport a ratei de disipare ε_t :

$$\frac{d}{dx_i} (\rho V_i \varepsilon_t) = \frac{d}{dx_i} \left(\Gamma_\varepsilon \frac{d\varepsilon_t}{dx_i} \right) + S_\varepsilon; \quad [2.16]$$

$$\Gamma_\varepsilon = \mu_{\text{eff}} / \sigma_\varepsilon; \quad S_\varepsilon = \frac{\varepsilon_t}{k} (C_1 G_k - C_2 \rho \varepsilon_t);$$

unde valorile constantelor empirice folosite pentru ecuatiile (2.12)...(2.15) se dau:

$$C_1 = 1,44; C_2 = 1,92; C_u = 0,09; \sigma_k = 0,9; \sigma_\varepsilon = 1,3; \sigma_h = 0,9.$$

Ecuatiile de conservare si ecuatiile marimilor turbulentei pot fi scrise intr-o forma generalizata (2.17):

$$\frac{d}{dx_i} (\rho V_i \varphi) = \frac{d}{dx_i} \left(\Gamma_\varphi \frac{d\varphi}{dx_i} \right) + S_\varphi; \quad [2.17]$$

unde:

$$\Gamma_\varphi = 0$$

$$\Gamma_\varphi = \mu_{\text{eff}};$$

- se obtine ecuatie de continuitate ;

$$S_\varphi = \frac{d}{dx_i} \left(\mu_{\text{eff}} \frac{dV_i}{dj} \frac{2}{3} \frac{dV_x}{dx_k} \delta_{ij} \right) + (\rho - \rho_{\text{ef}}) g_i - \delta_{ij} \frac{d}{dx_i} \left(p + \frac{2}{3} \rho k \right) - \text{se obtine ecuatia de impuls}$$

$$\Gamma_{\varphi} = \frac{\mu_{\text{eff}}}{\sigma_h}; \quad S_{\varphi} = 0 \quad - \text{ se obtine ecuatia de energie;}$$

$$\Gamma_{\varphi} = \frac{\mu_{\text{eff}}}{\sigma_k}; \quad S_p = G_k - \rho \varepsilon_t \quad - \text{ se obtine ecuatia } k;$$

$$\Gamma_{\varphi} = \frac{\mu_{\text{eff}}}{\sigma_{\varepsilon_t}}; \quad S_p = \frac{\varepsilon}{k} (C_1 G_k - C_2 \rho \varepsilon_t) \quad - \text{ se obtine ecuatia } \varepsilon.$$

Ecuatiile diferentiale prezentate mai sus formeaza un sistem nelinier de ecuatii algebrice, care prin introducerea conditiilor de limita poate fi rezolvat in functie de variabilele dependente.

Pentru modelul bidimensional este necesar ca fiecare rand de jeturi de racire sa fie inlocuit printr-o fanta cu o suprafata egala cu a orificiului de aer.

2.4. Comparatii intre valorile calculate cu ajutorul modelelor analizate si incercari

Incarcarile experimentale [58] cu care sa se poata testa modelele matematice s-au facut de catre IFRF pe camera de ardere dreptunghiulara avand in sectiune transversala (2x2m) si lungime 6,25m iar de-a lungul peretilor camerei de ardere au fost montate surse negative de caldura simetrice din tevi de racire cu apa.

Pentru modelul tip 1 pentru o serie de flacari de gaz s-a calculat cu ecuatiile (2.5) si (2.6) si a conditiilor de limita pentru modelul tip 3 zonal, transferul de caldura la sursele negative de caldura precum si temperaturile medii ale acestora. In fig. 2.8a sunt reprezentate valorile calculate si masurate a doi parametri de influenta: incarcarea camerei de ardere Q_{zv} si puterea calorica a combustibilului H. Abaterile randamentului calculat de la cel masurat trebuie cautate in abaterea raporturilor reale de la uniformitatea presupusa a marimilor de stare din cadrul volumului de gaz. Aceasta abatere joaca un rol destul de neimportant pentru precizia calculului temperaturii peretilor fig. 2.8b.

Pentru modelul tip 2 conditiile de intrare descrise la [54], au dus la formarea unui fascicol de flacara lunga de 5 m la care intreaga zona de curgere inversa se extinde asupra intregii lungimi a cuptorului.

Folosind ecuatiile (2.7) si (2.8) s-a calculat distributia fluxului de caldura fig. 2.9. Concordanta dintre valorile de calcul si cele determinate prin masurare, fac ca modelul tip 2 sa fie aplicabil si pentru camere cu zone largi de curgere inversa.

Aplicarea modelului tip 3 da rezultate privind calculul jeturilor de curgere si a concentratiei [54] aplicand simplificari: camera de ardere de forma paralelipipedica inlocuita cu forme simple de simetrie, utilizarea modelului de turbulenta $k_t - \varepsilon_t$.

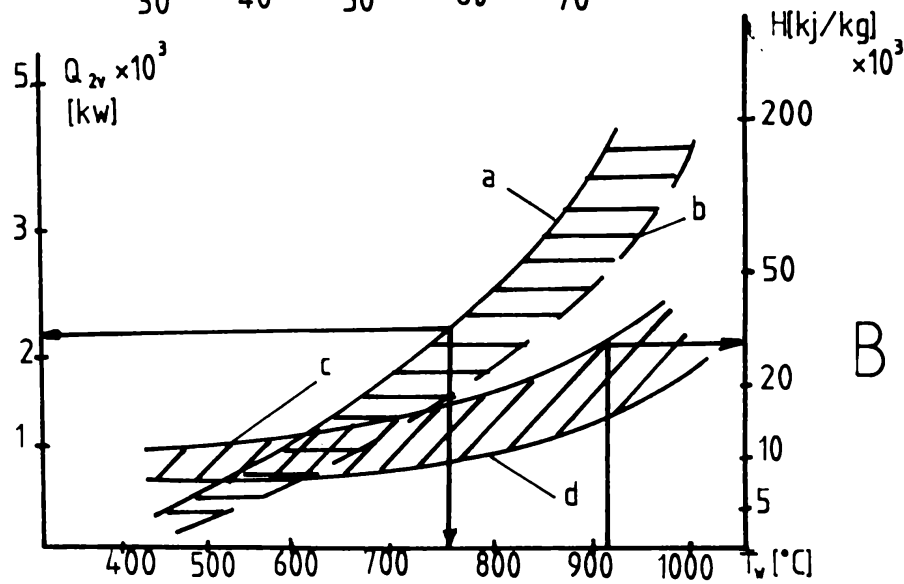
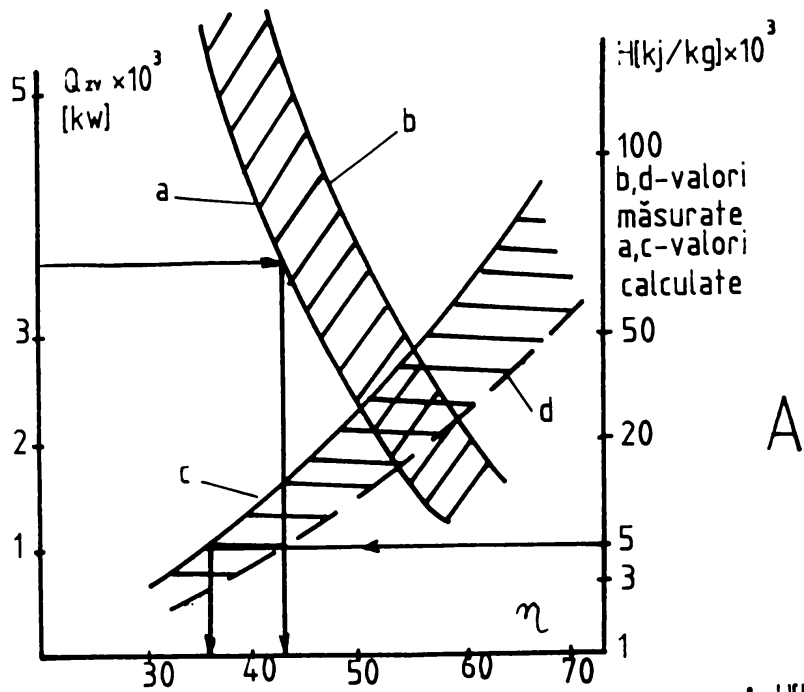


fig. 2.8a Influenta sarcinii camerei de ardere Q si a puterii calorice asupra randamentului

fig. 2.8b Influenta sarcinii camerei de ardere Q si a puterii calorice asupra temperaturii peretilor

In fig. 2.10 comparatiile intre campurile calculate si masurate a liniilor de curgere si temperatura arata o abatere mica intre calcul si incercari. Abaterile intre masurare si calcul la marginile jetului se datoreaza tehnicii de masurare cat si neamestecului in microdomeniu fapt de care calculul nu tine seama.

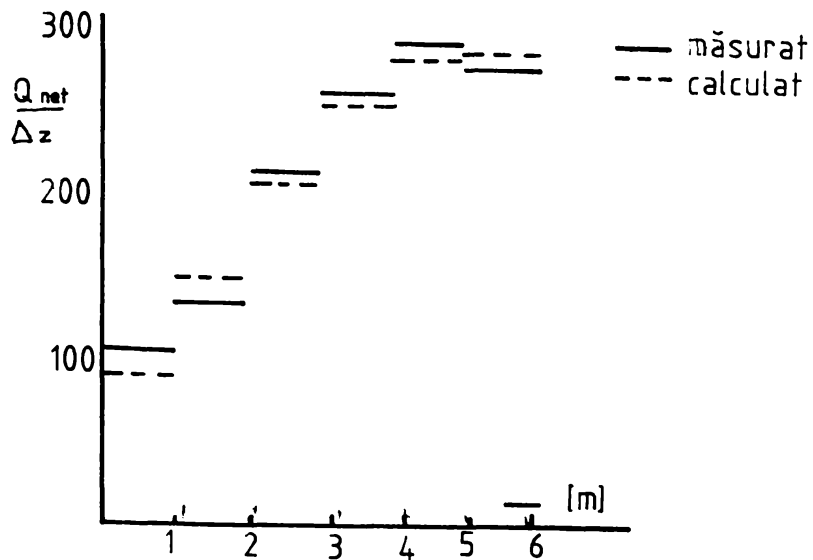
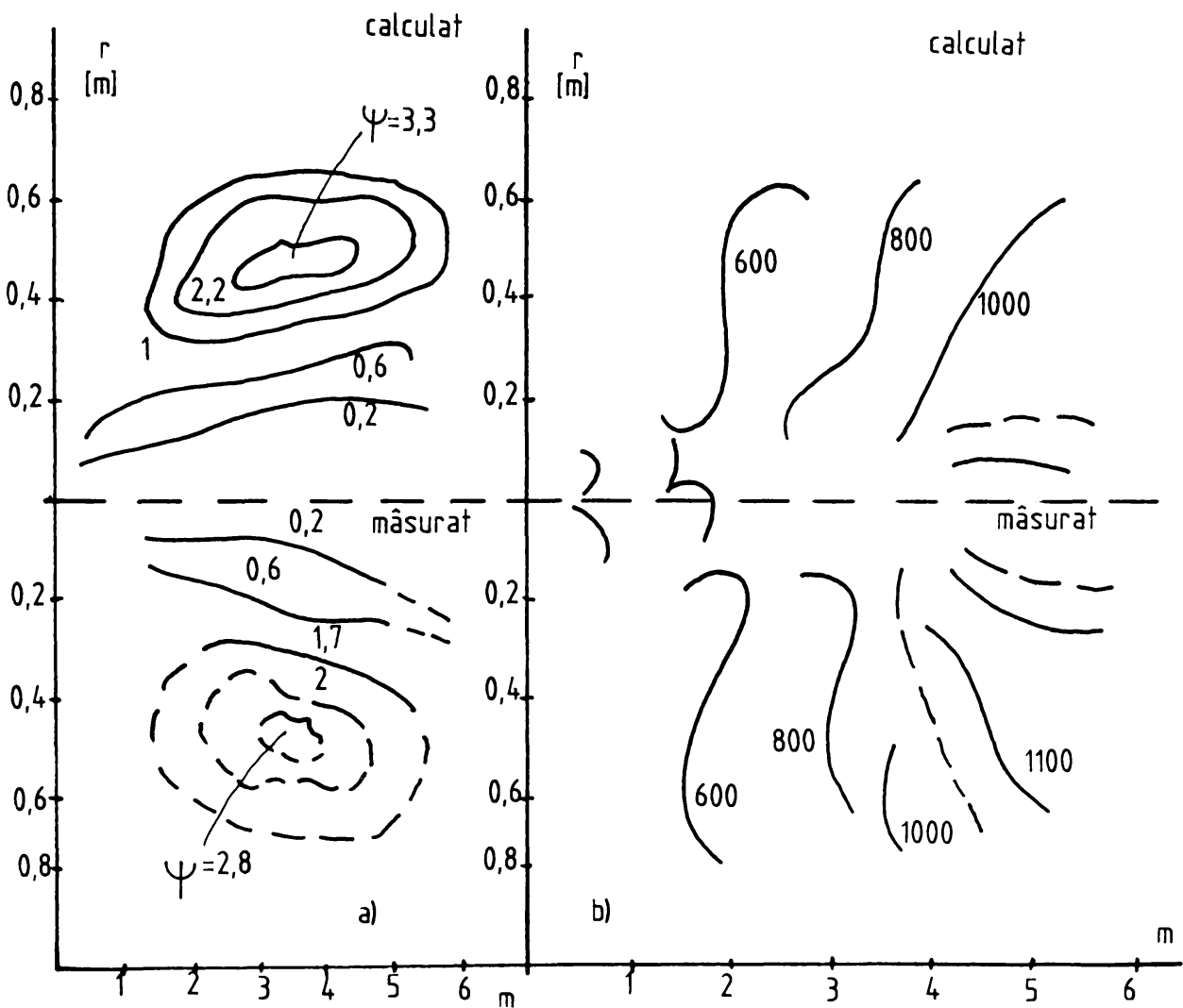


fig. 2.9 Comparatie între distributia fluxului de caldura masurata si calculat la peretii camerei de ardere



Comparatie între campul liniilor de curgere calculat si masurat

Comparatie între campul de temperaturi calculat si masurat

fig. 2.10

2.5. Concluzii asupra stadiului actual al cercetării

Autorul și-a propus o analiză a modelelor matematice parțiale a flăcărilor turbulente respectiv a camerelor de ardere.

Modelele matematice a flăcării turbulente propuse în timp ca: modelul asemanării, modelul Bikinii, modelul Prandtl, modelul Kolmogorov, au fost depășite de modelul propus de prof. Spalding. Acesta introduce două variabile: măsura abaterii valorii concentrației f' și variabila neamestecabilității, făcând ca acest model matematic să intre în categoria „modele complete”.

Modelarea matematică a camerelor de ardere a cunoscut o evoluție în ultimul timp. Au fost propuse până în prezent trei categorii de modele, așa cum au fost ele prezentate de către R. Loison [49], O. Elbahi [24], Hacheschmidt [32], W. Neidel [58].

Modelele tip.1 și tip.2 sunt modele incomplete de calcul a proceselor din camera de ardere, calculul făcându-se pentru un model unidimensional.

Dintre modelele care fac parte din categoria tip.3, la care calculul se face după un model tridimensional, este și modelul „metoda zonală”, metoda ce implică un volum mare de calcul, soluționând calculul bilanțurilor de energie, cu predilecție transferul de căldură.

Pentru calculul câmpurilor liniilor de curgere și a concentrațiilor se evidențiază metoda $k_t - \epsilon_t$ a lui Launder și Spalding, prin introducerea notiunii de vâscozitate de vârtaj μ_t .

Acest model nu se poate aplica pentru o curgere tridimensională întrucât calculul este făcut printr-o aproximație la curgerea bidimensională.

Datorită proceselor extrem de complexe din camerele de ardere este aproape imposibilă stabilirea unui model care să țină cont de toate fenomenele, de aceea tendința este modelarea cât mai fidelă a fenomenelor esențiale, cu predilecție acelea pentru care cercetarea experimentală devine prea costisitoare.

3. Metode de modelare si cercetare a proceselor din camera de ardere a turbomotoarelor

3.1. Conditii de similitudine

Descrierea matematica a procesului real de lucru, din camera de ardere a turbomotorului nu poate fi gasita, fiind posibila doar determinarea fenomenului sub forma generala.

Scopul principal al modelarii proceselor din camera de ardere este reproducerea conditiilor identice a proceselor in model si natura pentru obtinerea acelasii caracteristici de functionare.

In prezent nu s-a stabilit inca o abordare eficienta a proceselor de modelare.

Similitudinea procesului din camera de ardere presupune similitudinea campurilor de viteza, concentratiilor temperaturilor, distributia curentilor aer-gaze, curenti de combustibil cu conditia ca intre camere sa fie similitudine geometrica.

Elementele principale ale procesului din camera se prezinta astfel: in interiorul camerei de ardere, zona de ardere, patrunde initial o cantitate mica de aer primar fie printr-un registru de palete fie prin alte canale frontale. La inceputul zonei de ardere, pe o anumita lungime, se instaleaza zona contracurentilor. Prin orificiile laterale pe toata lungimea zonei de ardere, se aduc urmatoarele cantitati de aer primar impreuna cu o anumita cantitate de aer de racire. Aerul secundar intra prin orificiile amestecatorului fig. 2.1. Zona de reactie se formeaza in curentul de aer ce iese din dispozitivul frontal in interiorul limitelor de separatie intre diferitele cantitati de aer care pornesc in particular din partea frontului si prin orificiile laterale si curentul de amestec combustibil primar pregatit in curentul de aer in apropierea zonei contracurentilor umplute cu produsele de ardere fierbinti.

In interiorul limitelor zonei de amestec turbulent, inclusiv cu participarea jeturilor laterale de aer, se produce faramitarea volumului de combustibil si aer in mase elementare ce isi pierd individualitatea in urma difuziunii moleculare. Acest proces creste pe masura miscarii fiecarui volum elementar. Ca rezultat in interiorul limitelor de separatie se formeaza amestecul carburant care reactioneaza pe o anumita lungime.

Mecanismul formarii amestecului in camera de ardere a turbomotorului este determinat de mai multi factori.

Paralel cu amestecarea moleculara si turbulenta, un rol il are amestecarea prin convecție determinata de elementele constructive ale arzatorului si camera de ardere. Fara o anumita organizare a amestecarii curentilor cu ajutorul unor factori constructivi, asigurarea amestecarii numai prin difuziune si turbulenta pentru cazul camerelor de ardere a turbomotoarelor, care sunt in general scurte si compacte nu ar fi posibila.

Principial, structura curentilor in camera, atat in prezenta arderii combustibilului cat si fara ardere, nu se schimba inasa, intensitatea curgerii si dimensiunile zonei contracurentilor in timpul arderii se micsoreaza din cauza destinderii curentilor principali de aer si gaze prin incalzire, fapt favorizat si de cresterea presiunii in zona centrala in timpul arderii.

Pentru stabilirea ansamblului criteriilor de similitudine se pleaca de la ecuatiile diferentiale ce reprezinta conditiile gazodinamice si energetice ale produselor de ardere scrise si utilizate de D. Ursescu [89].

Pornind de la similitudinea geometrica a camerelor de ardere se deduce, in ipoteza temperaturilor de intrare si a amestecului aer-combustibil constante, conditiile de similitudine a arderii turbulente (fig. 3.1).

Variatia temporală a lui E , $\frac{\partial E}{\partial t}$ este proportionala cu viteza de reactie, care la o anumita temperatura depinde de natura reactiei si de concentratia componentelor adica:

$$\frac{\partial E}{\partial t} \approx \rho^m ; \quad [3.1]$$

m - exponentul reactiei

unde:

$$n = m+1 \quad n=2 \text{ pentru reactii bimoleculare}$$

faptul ca $\frac{\partial E_1}{\partial S_1} = \frac{\partial E_2}{\partial S_2}$ iar $dS = u \cdot dT$,

$$\left(\frac{\rho^m \cdot D}{u} \right)_1 = \left(\frac{\rho^m \cdot D}{u} \right)_2 ; \quad [3.2]$$

tinand cont de ecuatie de stare, (3.2) devine

$$\left(\frac{p^m \cdot D}{u} \right)_1 = \left(\frac{p^m \cdot D}{u} \right)_2 . \quad [3.3]$$

In ipoteza amestecurilor aer-combustibil constante se poate scrie a 2-a conditie de similitudine:

$$(\rho^m w D)_1 = (\rho^m w D)_2 \quad \text{sau} \quad D_1 / D_2 = K \rightarrow$$

$$\frac{p_2}{p_1} = K^{\frac{2}{m+2}} \quad \frac{W_2}{W_1} = K^{\frac{m-1}{m+1}} ; \quad [3.4]$$

In fig. 3.2 este reprezentat variatia raportului presiunilor si a raportului vitezelor in functie de K pentru diferite valori a lui m ($m = 0,5 \dots 1$ pentru combustibilii lichizi).

Pentru influenta pierderilor de caldura la perete avand aceleasi camere asemenea geometric, grosimea peretilor respecta similitudinea geometrica (fig. 3.3) presupune temperatura peretelui (racit din exterior cu aer) T_B aceiasi.

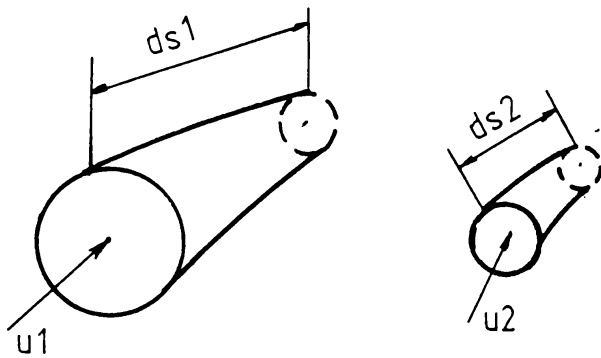


fig. 3.1

Camere asemenea geometric

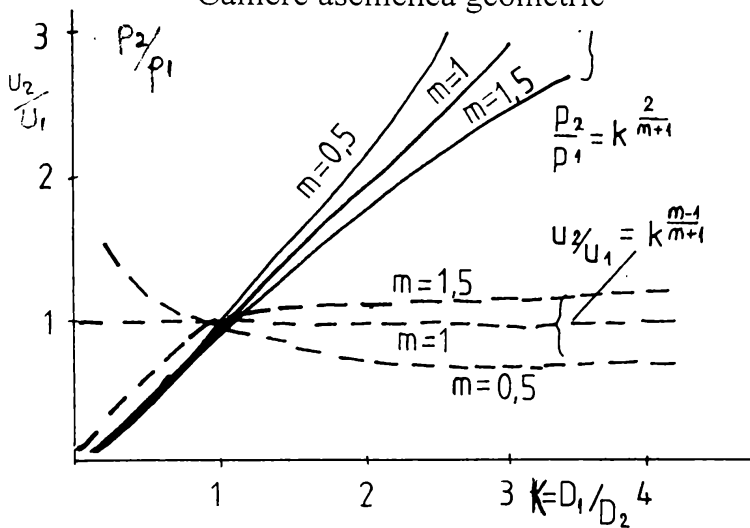


fig. 3.2

Variatia raportului presiune si viteza in functie de K

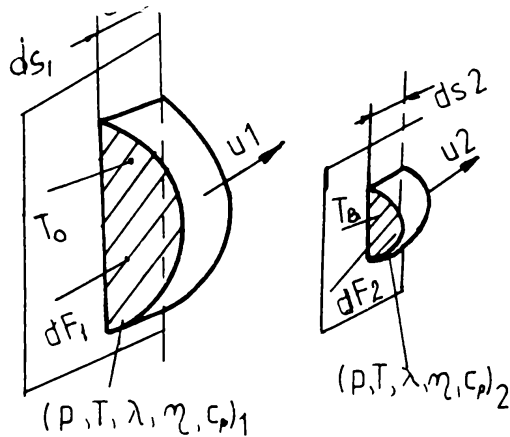


fig. 3.3

Similitudinea grosimii peretelui celor doua camere

Caldura cedata in unitate de timp de elementul dF este:

$$dQ = \alpha(T - T_B)dF = Mc_p dT_k \quad [3.5]$$

Tinand cont de cifrele Nusselt, Reynolds si Prandtl $Nu = \frac{\alpha D}{\lambda}$;

$$Re = \frac{u \cdot D \cdot \rho}{\eta}; \quad Pr = \frac{\eta c_p}{\lambda}; \quad Nu = a R_c^z \rightarrow$$

$$dT_k = a \frac{R_c^{z-1}}{P_r} (T - T_B) \frac{dF}{f}; \quad [3.6]$$

Re si $(T - T_B)$ sunt aceleasi pentru ambele camere; datorita similitudinii geometrice si $\frac{dF}{f}$ va avea aceiasi

valoare, cifra Prandtl este constanta in raport cu presiunea $\rightarrow (dT_k)_1 = (dT_k)_2$.

In concluzie cedarea convectiva de caldura modifica in acelasi mod campul temperaturilor celor doua camere de ardere.

Nu se poate afirma acelasi lucru despre caldura pierduta prin radiatie, dar care este neglijabila fata de cea pierduta prin convectie.

Criteriul Mach poate fi neglijat in camerele turbomotoarelor pentru ca cifra Mach este relativ mica si deci curentii de gaze pot fi priviti ca miscarea fluidului incompresibil.

Camera de ardere lucreaza in domeniul curgerilor care se automodeleaza, unde $Re = 50 \cdot 70 \cdot 10^3$ si chiar mai mult.

Conditiiile necesare si suficiente pentru modelarea aproximativa a camerei de ardere sunt: asemanarea geometrica, acelasi combustibil, F_1 ,

T_{aer} , β_t identice, $\frac{\tau_{ardere}}{\tau_{rem}}$ acelasi; unde

τ_{ardere} este timpul de ardere din camera, valoarea lui depinzand de

$$\Sigma = \tau_{evaporare} + \tau_{amestec} + \tau_{chimic}$$

$\tau_{ardere} \ll \sum$ iar τ_{rem} reprezinta remanenta amestecului in zona de ardere. Pentru camera de ardere, reactiile chimice se considera ca decurg instantaneu datorita temperaturilor inalte 1700 - 2000°C.

La aceste temperaturi evaporarea nu se poate defini ca un proces deoarece ea decurge instantaneu. Acest lucru conditioneaza rolul determinant al etapei de amestecare.

3.2. Modelarea fizica a flacarii turbulente

Problemele care se ridica sunt alegerea metodei de studiere a fenomenului de ardere cat si stabilirea criteriilor de similitudine ce trebuiesc respectate pentru ca rezultatele masuratorilor pe model sa se apropie foarte mult de valorile reale. Pentru modelarea fizica a flacarii se lucreaza cu procese pariale: fenomene de amestecare, fenomenul de transformare chimica (ardere), fenomenul de curgere turbulenta.

Stabilirea criteriilor de similitudine pentru procese de ardere se face pe baza: ecuatiilor de baza a procesului, prin analiza dimensionala.

3.2.1. Cercetarea flacarii turbulente la rece cu ajutorul modelului cu apa

AMESTECAREA. Se considera fenomenul de transport turbulent predominant fata de cel molecular admitand "difuzia turbulenta". In acest caz sistemul elementar care-si schimba pozitia va deplasa cu el intregul "continut" al lui (substanta, impuls mecanic, energii de toate formele). Campurile de compozitie a amestecului, a densitatii impulsului si a densitatii energiei vor fi rigid cuplate intre ele.

ASEMANAREA. Pentru cazul cuplajului convectiv a fenomenelor de transport si a asemanarii Reynolds se realizeaza nu numai asemanarea geometrica a vitezelor de curgere ci si cea a suprafetelor cu aceiasi compozitie sau de aceiasi densitate de energie.

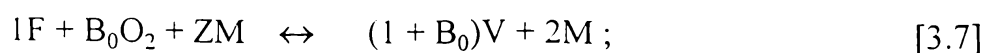
CURGERI TURBULENTE. Curgerile laminare sunt descrise de ecuatiile de miscare Navier - Stokes, in care apare viscozitatea cinematica ν ca marime caracteristica.

Dupa Prandtl ecuatiile Navier-Stokes pot fi aplicate si in cazul curgerilor turbulente, unde viscozitatea cinematica ν este inlocuita cu viscozitatea cinematica aparenta ν_t , care depinde de starea curgerii $\nu_t \sim u$ sau $Re = \frac{u \cdot l}{\nu_t} = \text{constant}$, sau altfel

spus curgerile turbulente sunt asemenea in jurul corpurilor fixe si geometrice asemenea.

ARDEREA. In cazul arderii apare pe langa fenomenul amestecarii si fenomenul arderii componentelor de amestec. Se admit temperaturi foarte ridicate incat rezistenta la transformarilor chimico-cinetice sa fie negliabile (amestecarea se identifica cu arderea).

Zona principala a unei flacari de difuzie o reprezinta conturul flacarii, unde cantitatea de gaz F si de oxigen O_2 se amesteca exact in proportie stoichiometrica si ard. Formula de ardere a unui mol de gaz este:



unde :

- F, O₂, V - simbolurile chimice ale gazului de ardere (fara N₂)
M - simbolul chimic al substantelor de adaus care nu participa la transformarea lui F si O₂, ci se amesteca doar cu produsul pur V si-l dilueaza; poate fi azot N₂ sau chiar combustibil suplimentar F sau oxigen suplimentar O₂
B₀ - cantitatea de oxigen necesara arderii
1 + B₀ - cantitatea produselor de ardere, neglijandu-se variatia numarului de moli
Z - cantitatea substantei de adaus.

Concentratia relativa a produselor de ardere "pure" in cadrul celor "diluate" este

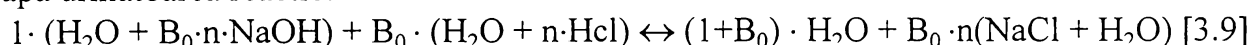
$$C_v = \frac{1 + B_0}{1 + B_0 + Z} ;$$

Daca se neglijeaza disocierile produselor de ardere cat si variabilitatea capacitatilor calorice se poate afirma ca temperatura T_g a produselor de ardere diluate scade proportional cu concentratia C_v sau $T_g = C_v \cdot \Delta T_g$ $C_v = T_g / \Delta T_g$; [3.8]

ANALOGIA IN APA. Pentru realizarea analogiei in apa a arderii se aleg patru substante de baza (gazul F, oxigenul O₂, azotul N₂ si produsul de ardere pur V) pentru care corespunde:

- F - apa cu adaus NaOH in cantitate "B₀·n" pe unitate cantitate de apa
O₂ - apa cu adaus Hcl in cantitate "n" pe unitate cantitate apa
N₂ - apa fara adaus.

Arderea este reprezentata in modelul de apa prin neutralizarea unei solutii bazice diluate cu o solutie acida diluata. Arderii cu oxigenul pur ii corespunde in modelul de apa urmatoarea reactie:



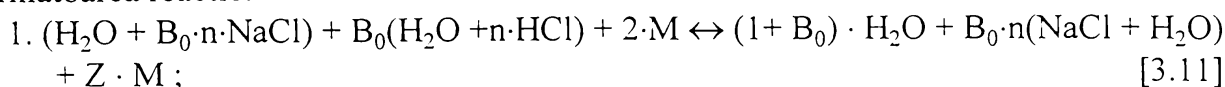
unde:

- F = (H₂O + B₀·n·NaOH)
O₂ = (H₂O + n·Hcl)
V = (1+B₀) · H₂O + B₀ · n(NaCl + H₂O).

Produsul de ardere pur V ii va corespunde o solutie de sare in apa de concentratie

$$C_{0,NaCl} = \frac{B_0 \cdot n}{1 + B_0(1 + n)} ; [3.10]$$

Arderii cu diluarea produselor de ardere ii va corespunde in modelul cu apa urmatoarea reactie:



unde M reprezinta apa curata, sau apa amestecata cu cantitatea suplimentara de Hcl, sau apa amestecata cu cantitatea suplimentara de NaOH.

Concentratia relativa a produselor de ardere "pure" in cadrul celor "diluate" va fi

$$C_r = \frac{1 + B_0(1 + n)}{1 + B_0(1 + n) + Z} \cong \frac{1 + B_0}{1 + B_0 + 2} ; [3.12]$$

Continutul de sare in produsul de reactie va fi $C_{NaCl} = C_V \cdot C_{0,NaCl} \rightarrow$ analogul in apa a lui C_V este

$$C_V = \frac{C_{NaCl}}{C_{O,NaCl}} \quad [3.13]$$

Extragand in diverse puncte probe de apa, determinandu-le continutul de sare, iar cu relatiile [3.8]; [3.13] se obtine o reprezentare a campului temperaturilor.

Daca se adauga lichidelor un indicator de acid care coloreaza zona bazica lasand-o incolora pe cea acida, se poate vizualiza corpul de flacara din interiorul conturului flacarii.

3.2.2. Studiul flacarilor turbulente cu ajutorul sondelor electronice

Sondele electronice permite stabilirea pozitiei medii a frontului flacarii turbulente cat si masurarea fluctuatiilor turbulente ale acestuia. Aceasta metoda se bazeaza pe distributia concentratiei ionilor pozitivi in apropierea frontului flacarii. Se constata ca concentratia maxima a ionilor pozitivi se gaseste la cca. 1cm distanta de zona luminoasa.[42]

La atingerea frontului flacarii cu sonda, curentul ionic salta brusc, permitand astfel determinarea pozitiei frontului flacarii (fig. 3.4.)

La strabaterea intregului front turbulent al flacarii cu sonda electronica semnalul de ionizare nu se va intrerupe niciodata, valoarea lui fiind intotdeauna mai mare decat o

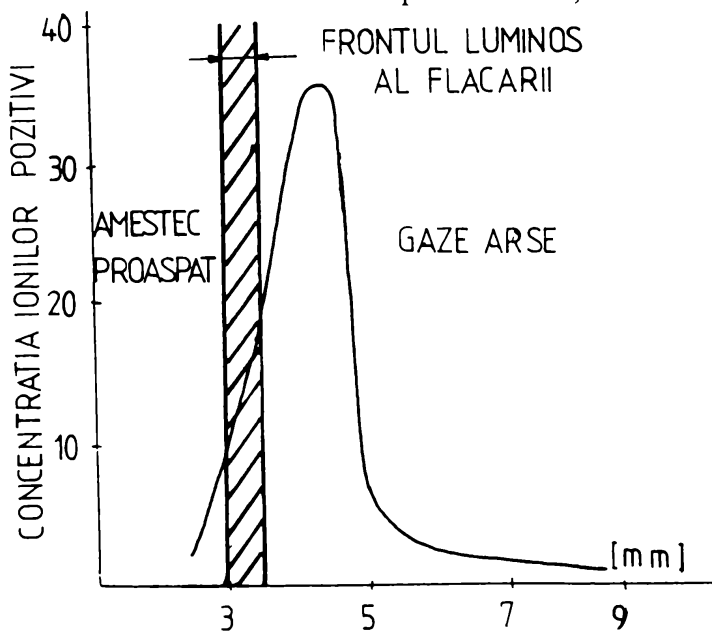


Fig. 3.4.

Distributia ionilor pozitivi intr-o flacara

Concluzii in urma incercarilor:

- pentru flacara turbulenta a jetului liber masurarile ionizarii in flacarile luminoase sunt posibile numai cu mari restrictii din cauza proprietatilor electrice ale funinginii.

Pentru flacara turbulenta difuza cu arzator tubular zonele de reactie turbulente constau din vartejuri, care contin substante pure, aer combustibil si gaze arse si

valoare de baza V_F constanta de-a lungul frontului flacarii si determinata de inalta ionizare a acestuia (fig. 3.5.)

Valoarea medie patratica a oscilatiilor semnalului de ionizare reprezinta o masura a latimei frontului flacarii turbulente $V = C \sqrt{y_{12}}$ unde C este valoarea masurata a ionizarii restante a gazelor arse exprimate in V/mm iar $\sqrt{y_{12}}$ este latimea statistica a oscilatiilor frontului flacarii.

combinatii ale acestora si de asemenea din fronturi de flacara difuziva pe suprafetele exterioare ale vorturilor.

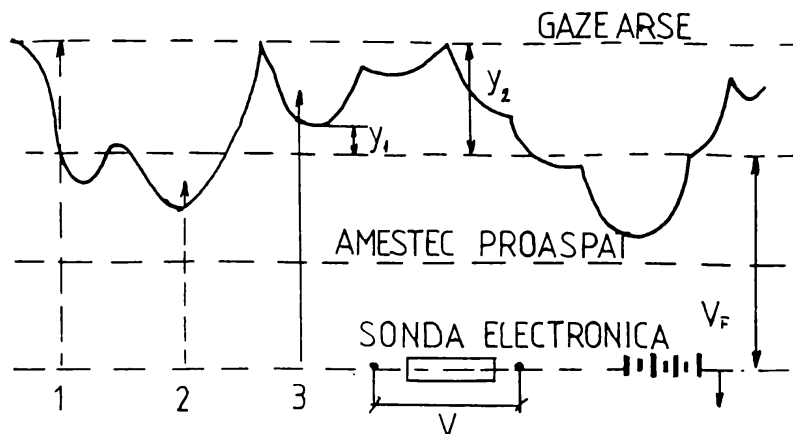


Fig. 3.5.

Latimea statistica a oscilatiilor frontului de flacari

3.3. Modelarea electrica a transportului de caldura si de substante pentru o camera de ardere

Studiul conductibilitatii termice si a fenomenelor de difuzie in cazul camerelor de ardere cu mediu nestationar se face cu ajutorul metodei analogiei electrice.

Analogiile fizice si matematice intre campul electric si campul concentratiilor si temperaturilor sunt redade in tabelul 3.1.

Metoda analogiei electrice poate fi aplicata si in cazul cand in timpul transportului de caldura si de substanta are loc un transfer in sistem de lucru mecanic sub forma de lucru mecanic de frecare, de interactiunea curentului de fluid cu campuri electrice respectiv magnetice sau sub forma de desfasurari de reactii chimice.

Modelul electric se stabileste, transpunand fiecare element de volum din camera de ardere in analogie electrica fig. 3.6. Rezistenta la transportul de caldura (sau substanta) se va reprezenta printr-o rezistenta electrica, iar capacitatea calorica sau volumul se va reprezenta printr-o capacitate electrica.

Tabela 3.1.; Analogii fizice

Campul de temperatura si concentratii		Campul electric	
Marimi fizice	Simbol	Marimi fizice	Simbol
Temperatura	T	Potential electric	\varnothing
Concentratie	C		
Diferenta de temperatura	ΔT	Diferenta de potential	$\Delta \varnothing = U$
Diferenta de concentratie	ΔC	(tensiune electrica)	
Gradient de temperatura	grad T	Intensitatea campului electric	$E =$
Gradient de concentratie	grad C		grad U
Caldura	Q	Sarcina electrica	Q_e
Masa	M		

Campul de temperatura si concentratii		Campul electric	
Marimi fizice	Simbol	Marimi fizice	Simbol
Debitul caloric	Q	Curentul electric	I
Debitul masic	M		
Densitatea debit caloric	q	Densitatea curentului electric	j
Densitatea debit masic	m		
Conductibilitatea termica	λ	Conductibilitatea electrica	χ
Constanta de difuzie	D		
Rezistivitatea transport caloric	$r_w = \frac{1}{\lambda}$	Rezistivitatea electrica	$r_o = \frac{1}{\chi}$
Rezistivitatea transport masic	$r_D = \frac{1}{D}$		
Rezistenta transport caloric	R_W	Rezistenta electrica	R_0
Rezistenta transport masic	R_D		
Capacitate calorica	C_W	Capacitate electrica	C_e
Volum	V		
Coeficient schimb de caldura	α	Conductibilitate pe unitate de suprafata	$\frac{1}{R_e}$
Coeficient schimb de substanta	β		

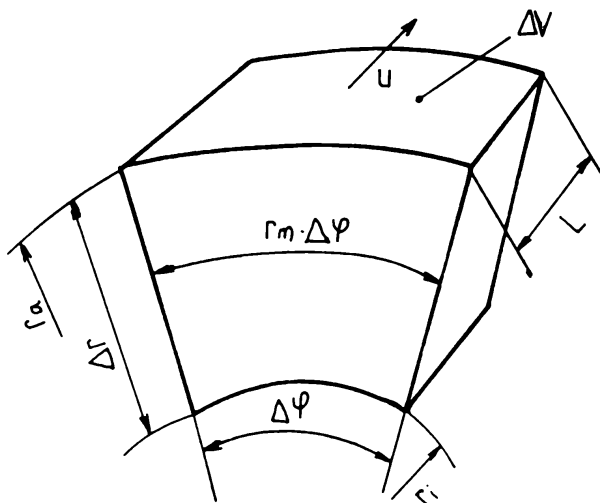


fig. 3.6.
Element de volum

Considerand rezistenta totala a elementului de volum fig. 3.6 sub forma de doua rezistente partiale de lungime $\frac{\Delta r}{2}$ intre care se afla plasata intreaga capacitate a elementului de volum, schema electrica analoaga va fi o conexiune in T sau o conexiune in π fig. 3.7. Pentru cazul curgerilor de simetrie rotatională, un element ΔV ce se deplaseaza in directia axiala cu viteza u (fig. 3.6) va opune o rezistenta la transportul radial de caldura respectiv la substanta ce se exprima prin doua jumatați de valori.

$$R_{WK} = \frac{\frac{\Delta r}{2}}{r_{m_k} \cdot \Delta \varphi \cdot L \cdot \lambda}, \quad [3.14]$$

$$R_{DK} = \frac{\frac{\Delta r}{2}}{r_{m_k} \cdot \Delta \varphi \cdot L \cdot D},$$

unde pentru indicele K se introduc pe rand valorile 1 si 2 iar pentru r_{m_k} valorile

$$r_{m_1} = r_i + \frac{\Delta r}{4}; r_{m_2} = \frac{r_a + r_i}{2} + \frac{\Delta r}{4} \quad [3.15]$$

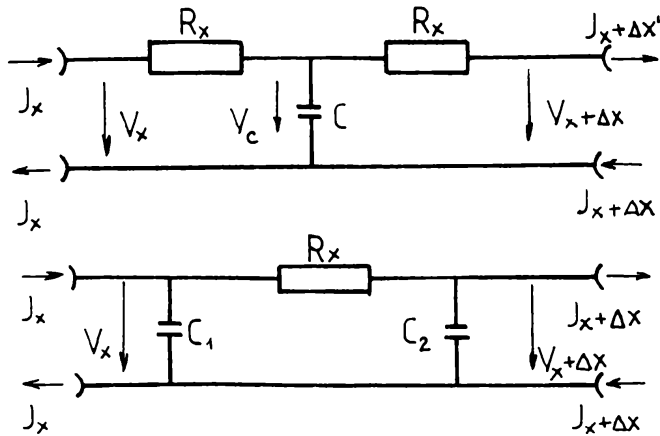


fig. 3.7.

Conexiune in T(a) si conexiune in π (b)

Capacitatea elementului de volum se calculeaza:

$$C_w = \pi (r_a^2 - r_i^2) L \frac{\Delta \varphi}{2\pi} \frac{u}{u_m} \rho C_w$$

$$C_D = \pi (r_a^2 - r_i^2) L \frac{\Delta \varphi}{2\pi} \frac{u}{u_m} \quad [3.16]$$

unde u_m reprezinta viteza medie intr-o anumita sectiune.

Pentru a obtine schema electrica completa se descompune camera de ardere in volume elementare, fiecarui volum corespunzandu-i o conexiune electrica in T sau π .

Pentru a obtine schema electrica completa, se descompune camera de ardere in volume elementare, fiecarui volum corespunzandu-i o conexiune electrica in T sau π .

Pentru a obtine o reprezentare stabila a proceselor tranzitorii din model, se periodizeaza fenomenele cu ajutorul unui releu care conecteaza si deconecteaza periodic sursa de tensiune de model.

Frecventa de periodizare trebuie aleasa astfel, ca condensatorii modelului sa aibe suficient timp pentru a se descarca complet intr-o perioada de lucru. (Fenomenele tranzitorii sa evolueze pana la capat.)

3.4. Modelarea electrica cu hartie electroconductoare a curgerii

Metoda are la baza analogia, cunoscandu-se ca un sistem de ecuatii functionale nu este limitat la fenomenele unui singur domeniu. Este posibil ca aceleasi ecuatii sa guverneze fenomene din domenii total diferite, pastrand chiar aceleasi conditii de limita, cu singura deosebire ca semnificatia parametrilor si a variabilelor difera de la domeniu la domeniu.

Campul electric intr-un mediu conductibil si campul potential al unui fluid ideal incompresibil se defineste prin ecuatii anologice care deriva din ecuatia lui Laplace:

Campul electric al curentului
intr-un mediu conductibil

$$(a) \quad E = \frac{\vec{q}}{\gamma} = - \text{grad } u$$

$$(b) \quad \int q \cdot ds = i$$

Campul potential gazodinamic al fluidului
ideal incompresibil

$$\vec{V} = - \text{grad } \varphi$$

$$\int \rho V ds = Q$$

$$(c) \quad \text{div } \mathbf{q} = 0 \qquad \text{div } \rho \vec{V} = 0$$

$$(d) \quad \text{rot } \vec{E} = 0 \qquad \text{rot } \vec{V} = 0$$

u = potentialul electric	φ = potentialul gazodinamic al vitezei
E = intensitatea campului	ρ = densitatea fluidului
q = densitatea curentului	Q = debit
γ = conductibilitatea electrica	$Q = \frac{d_m}{d}$
ρ = potentialul hidrodinamic al vitezei	m = masa fluidului
V = viteza	t = timpul
	ds = element de suprafata

Analiza ecuatiilor a...d conduce la posibilitatea modelarii campului potential al unui fluid ideal incompresibil, prin campul electric al unui mediu conductibil prin modelare electrica umeda respectiv prin modelare electrica uscata.

Pentru modelarea electrica umeda, peretii camerei de ardere sunt modelati de electrozi ce respecta forma camerei intre care se gaseste electrolit.

Aplicand electrozilor o diferenta de potential, liniile echipotentiale rezultate, vor fi identice cu liniile de curent a fluidului (fig.3.8.).

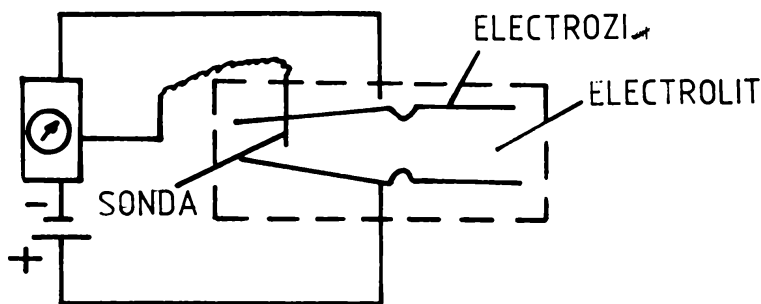


fig. 3.8
Modelarea electrica umeda

Modelul poate fi determinat pentru curgeri bi si tri-dimensionale.

La modelarea electrica cu hartie electroconducatoare din cauza dualitatii campurilor plane de hartie se cunosc pentru campurile aerodinamice doua modele electrice, sistem de analogie A si B.

Pentru inregistrarea unei linii de curent din sistemul de analogie A (fig.3.9), puntea Wheatstone se echilibreaza prin rezistente astfel ca sa corespunda cu debitele G_1 si G_2 . Toate punctele care au acelasi potential sunt puncte ale liniei de curent. Vitezele se masoara cu o sonda dubla, care se aseaza pe hartia electroconducatoare perpendicular pe linia de curent. Tensiunea u intre varfuri este proportionala cu viteza din punctul mijlociu al distantei varfurilor.

Prin sistemul de analogie B (fig.3.10) se obtin liniile de egala presiune, adica izobare, care se inregistreaza in mod identic ca si liniile de curent din sistemul A.

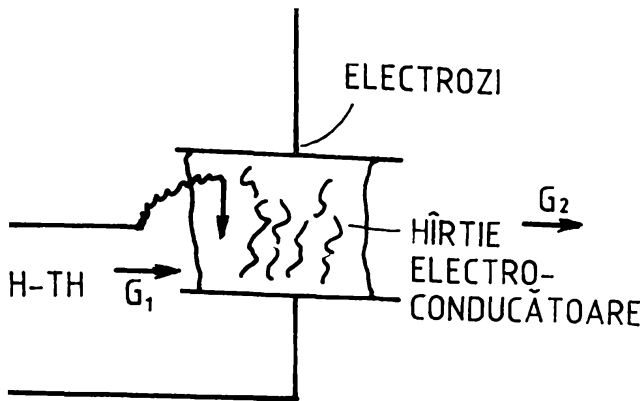


fig. 3.9

Modelare electrica cu hartie electroconductoare in sistem analogic A

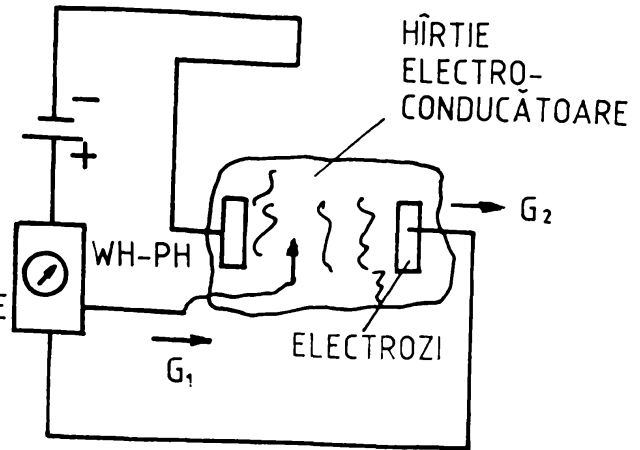


fig. 3.10

Modelare electrica cu hartie electroconductoare in sistem analogic B

3.5. Metode de modelare a circulatiei aerului prin camera de ardere a turbomotorului

3.5.1. Vizualizarea liniilor de curgere cu ajutorul substantelor trasoare

Ofera posibilitatea cunoasterii zonelor de turbulenta mai in detail, modul de curgere prin canale si gaurile de admisiune, structura miscarii organizate a aerului in camera de ardere a turbomotorului. Alegerea substantei trasoare cu densitate apropiata de cea a fluidului confera fidelitatea vizualizarii liniilor de curgere.

Pentru camera de ardere unde fluidul studiat este aerul, rezultatele cele mai bune au dat vizualizarile cu fum, particole de C (fungine), nicotina, vapori de amoniac, gaz colorant. Un fum colorat se obtine prin incalzirea iodului la 25...30 °C cand iodul trece din stare lichida in stare gazoasa, producand in fum violet, vizibil. Dezavantajul metodei cu fum este ca la viteze de curgere mari si schimbari bruste de directie, fumul nu urmareste exact miscarea aerului, obtinandu-se informatii eronate.

Vizualizarea cu substante trasoare cu o densitate mai mare ca cea a aerului, pulberi de aluminiu, oxizi metalici sub forma de praf, colorant, nu reda cu fidelitate liniile de curent, in schimb prin depunerea pe pereti prezinta zonele de curgere cu frecare mare, zonele de intoarcere si curgere inversa.

Avantajul metodei consta in vizualizarea curentilor tridimensional cu costuri minime, rapid si destul de exact, metoda avand darul de a prezenta valori calitative si nu cantitative.

3.5.2. Vizualizarea curentilor de curgere prin descarcari electrice de frecventa si tensiune foarte inalta

Studiul experimental al curentilor de curgere cu ajutorul plasmii se bazeaza pe descarcarea electrica intr-un gaz, intre doi electrozi care produc o ionizare locala cu atat mai mare cu cit tensiunea aplicata celor doi electrozi este mai mare. [93]

Norul de gaz ionizat, plasma este antrenata de curentul de aer (fig.3.11.).

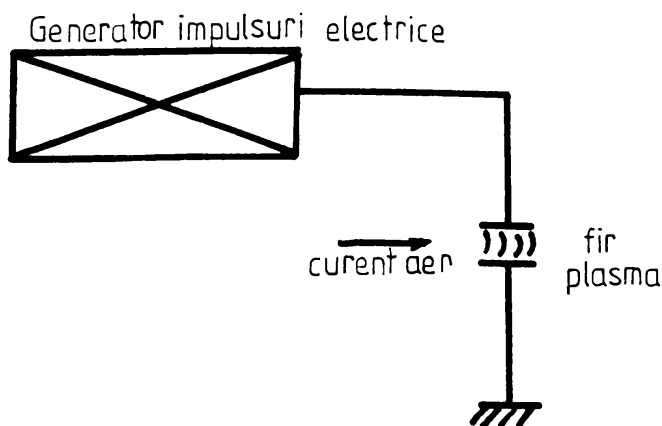


fig. 3.11

Modelarea cu plasma

directia de curgere a curentilor de aer si turbulenta lor.

Pentru obtinerea plasmei se foloseste efectul ciocnirilor intre electroni si atomi sau moleculele gazului respectiv.

Metoda este urmatoarea: se alimenteaza cu o tensiune > 20 kV doi electrozi, aflati la o distanta oarecare; atunci cand campul electric aplicat depaseste in intensitate o anumita valoare, numita camp de strapungere, apare o descarcare luminoasa de la catod la anod. Vina de plasma formata ca un amestec de gaz neutru, ioni pozitivi si electroni este captata si antrenata de curentul de aer si ea urmeaza fidel liniile de curgere.

Viteza de propagare a avalansei este de aproximativ $1,2 \times 10^5$ m/s iar impulsul de curent are viteza de 10^4 m/s. Acest impuls de curent de energie foarte mare, ionizeaza gazul formand plasma. In cazul descarcarilor intre doi electrozi, in aer linistit, aceste impulsuri luminoase sunt drepte, deformandu-se cand sunt antrenate de un curent de gaz.

Alegand frecventa impulsurilor de inalta tensiune sa fie mai mica decat durata de ionizare a aerului, atunci descarcarea luminoasa nu se mai produce pe traseul cel mai scurt dintre cei doi electrozi, ci are loc prin aerul ionizat, adica vana de plasma antrenata de curentul de aer, aparand un „tren” de descarcari luminoase care urmaresc liniile de curgere.

Generand aceste traseuri de impulsuri egal distantate in timp si fotografiindu-le se poate aprecia miscarea aerului. Cu aceasta metoda se pot obtine si rezultate cantitative, daca se cunoaste timpul dintre doua impulsuri si spatiul din imaginea fotografica se poate determina viteza: $W=1/T$

Problema care se pune este de a obtine impulsuri de tensiune, de forma si fregventa dorita. Fregventa de repetitie este in functie de viteza aerului iar amplitudinea acestora trebuie sa creasca cu cresterea presiunii. Impulsurile necesare montajului sunt generate de un oscilator caruia i se poate modifica frecventa.

S-a constatat practic ca pentru o viteza de curgere de 40...50m/s, frecventa impulsurilor trebuie sa fie de 16kHz, durata lor de 64 μ s, iar tensiunea aplicata la electrozi, pentru a obtine descarcari stabile de 18...20kV.

Trecand prin dreptul unui traductor adecvat se poate obtine un semnal electric, aflandu-se timpul de la inceputul descarcarii si pana la obtinerea semnalului electric. Principiul consta in faptul ca un gaz ionizat conduce curentul mult mai bine decat un gaz neionizat. Cunoscand spatiul, masurand timpul, se afla viteza de curgere.

Vizualizare cu plasma consta in descarcarea ce are loc intre electrod si peretele camerei, putandu-se vedea

4. Modelul matematic de evaluare

Temperatura mare a gazelor in zona de ardere si apropierea frontului de flacara de peretii tubului de foc, determina o incalzire puternica a acesteia, de aceea, determinarea cat mai aproape de realitate a proceselor termogazodinamice, a campului de temperatura si a fluxului termic conduce la evaluarea corecta a viitoarelor solutii. Modelul matematic de calcul scurteaza mult efortul incercarilor experimentale. Determinarea lungimii minime a camerei pentru o ardere completa urmareste optimizare tinand cont de parametrii care intervin in stabilirea lungimii arderii.

4.1. Calculul proceselor termogazodinamice din camera de ardere.

4.1.1. Deducerea unui sistem de formule pentru incalzirea intr-o teava de sectiune constanta prin luarea in considerare a pierderilor prin curgere datorita montarii stabilizatorului de flacara si a debitului de combustibil injectat daca se considera gazul ideal cu $c_p = \text{constant}$

Pentru stabilirea sistemului de calcul se considera fenomenele prezentate in fig. 4.1. precum si urmatoarele conditii:

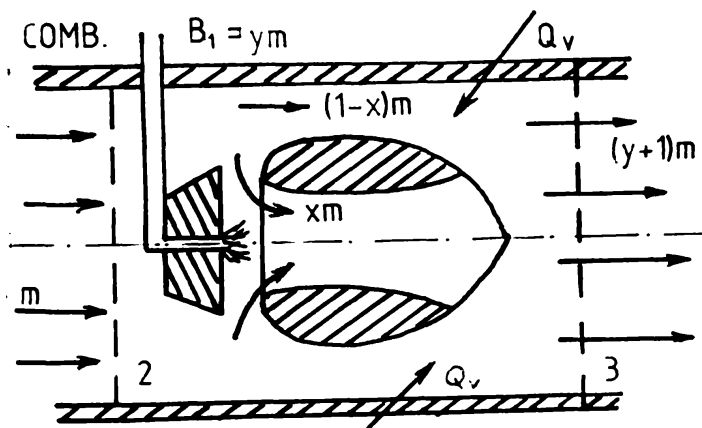


fig. 4.1

Schema camerei de ardere cilindrica cu stabilizator de flacara

In teava cilindrica de sectiune constanta este dispus un obstacol de forma tronconica. Suprafata de control formata din sectiunile 2 si 3 si de suprafata interioara a cilindrului cuprinde obstacolul. Prin sectiunea 2 intra aerul cu parametrii p_2 , T_2 si viteza W_2 in spatiul din suprafata de control. O parte x a debitului de aer de intrare \dot{m} trece in regiunea de turbionare din spatele obstacolului.

Din conditii de continuitate acelasi debit de aer paraseste regiunea de turbionare.

Deoarece se poate considera ca aceasta cantitate de aer nu poseda nici un impuls in directia de curgere, aceasta parte de aer $x\dot{m}$ trebuie sa fie accelerata de la viteza 0 la cea de iesire W_3 . Cealalta parte a aerului $(1-x)\dot{m}$ este accelerat in timpul incalzirii camerei de la viteza W_2 la W_3 . In regiunea de turbionare se injecteaza combustibilul care se vaporizeaza. Aceasta cantitate $B_1 = y\dot{m}$ se considera ca are aceiasi parametrii de stare ca aerul. Arderea este inlocuita prin introducerea caldurii Q .

Teorema impulsului scrisa pentru parametrii din sectiunea 2 si 3

$$S(p_2 - p_3) = (1-x)\dot{m}(W_3 - W_2) + x\dot{m}(W_3 - 0) + y\dot{m}(W_3 - 0); \quad [4.1]$$

sau

$$p_3 = p_2 - \frac{\dot{m}}{s}(W_3 - W_2) - \frac{x\dot{m}}{s}W_2 - \frac{y\dot{m}}{s}W_3; \quad [4.2]$$

Admitand ca cantitatea de gaz care inlocuieste debitul de combustibil injectat are aceeasi viteza ca aerul din sectiunea 2 teorema energiei are forma

$$\dot{m}(1+y)\left(h_2 + \frac{W_2^2}{2}\right) + Q = \dot{m}(1+y)\left(h_3 + \frac{W_3^2}{2}\right) + Q_V; \quad [4.3]$$

Q_V - cantitatea de caldura pierduta, Q_V este foarte mica si se poate neglija

notand $q = \frac{Q}{\dot{m}(1+y)}$ relatia (4.3) devine

$$h_2 + \frac{W_2^2}{2} + q = h_3 + \frac{W_3^2}{2}; \quad [4.4]$$

unde:

$$i = c_p T$$

pentru $c_p = \text{constant}$

$$c_p T_2 - c_p T_3 + \frac{W_2^2}{2} - \frac{W_3^2}{2} + q = 0; \quad [4.5]$$

tinand cont de ecuatia gazului $p v = RT$ (4.5) devine

$$\frac{c_p}{R} (p_2 v_2 - p_3 v_3) + \frac{W_2^2}{2} - \frac{W_3^2}{2} + q = 0; \quad [4.6]$$

in sectiunea 2 ecuatia de continuitate este $\dot{m} = \frac{S W_2}{V_2}$ iar pentru sectiunea 3 $(1+y)\dot{m} = \frac{S W_3}{V_3}$

care inlocuite in (4.6) conduce la

$$\frac{c_p}{R} \frac{S}{\dot{m}} p_2 W_2 - \frac{p_3 W_3}{1+y} + \frac{W_2^2}{2y} - \frac{W_3^2}{2y} + q = 0; \quad [4.7]$$

ecuatie care impreuna cu ecuatia impulsului (4.2) prin substitutie dau

$$\frac{c_p S}{R \dot{m}} \left[p_2 W_2 + \frac{W_3^2}{1+y} \left[p_2 - \frac{\dot{m}}{s} (W_3 - W_2) - \frac{x \dot{m} W_2}{S} - \frac{y \dot{m} W_3}{S} \right] \right] + \frac{W_2^2}{2} - \frac{W_3^2}{2} + q = 0; \quad [4.8]$$

respectiv ordonata dupa W_3^2

$$\left[\frac{c_p}{R} - \frac{1}{2} \right] W_3^2 - \frac{1}{1+y} \left[\frac{c_p}{R} \frac{S}{\dot{m}} p_2 + \frac{c_p}{R} W_2 - \frac{c_p}{R} x W_2 \right] W_3 + \left[\frac{c_p S}{\dot{m} R} p_2 W_2 + \frac{W_2^2}{2} + q \right] = 0; \quad [4.9]$$

notand cu $A = \left[\frac{c_p}{R} - \frac{1}{2} \right]$; $B = \left[\frac{c_p}{R} \frac{S}{\dot{m}} p_2 + \frac{c_p}{R} W_2 - \frac{c_p}{R} x W_2 \right]$; $C = \left[\frac{c_p S}{\dot{m} R} p_2 W_2 + \frac{W_2^2}{2} + q \right]$

unde:

$$\frac{A}{B} = \frac{2}{(1+y)} \frac{x}{(x+1)} \left[\frac{(x-1)}{x} \frac{c_p T_2}{W_2} + W_2 - x W_2 \right] = \frac{2}{(1+y)} \frac{1}{W_2} \left[\frac{x-1}{x+1} c_p T_{02} + \frac{W_2^2}{2} - \frac{x}{x+1} x W_2^2 \right];$$

$$\frac{C}{A} = \frac{2 c_p T_{02}}{x+1} + \frac{2q}{x-1};$$

inlocuind raporturile $\frac{B}{A}$ si $\frac{C}{A}$ respectiv $2 c_p T_{02} = W_{\max 2}^2$ si $W_S^2 = \frac{x-1}{x+1} W_{\max}^2$ in (4.9) iar dupa

O. LUTZ [47] se defineste $q_n = \frac{q}{c_p T_{02}}$; $W_{n2} = \frac{W_2}{W_{S2}}$; $W_{n3} = \frac{W_3}{W_{S2}}$ si se stabileste ecuatia

$$q_n = \frac{1}{1+y} \left(\frac{W_{n_3}}{W_{n_2}} - 1 \right) (1 - W_{n_2} W_{n_3}) - \frac{(1 + W_{n_3}^2) y}{1+y} - (1 + W_{n_3}^2) y - x \frac{2x}{x+1} W_{n_2} W_{n_3}; \quad [4.10]$$

ecuatie ce reda cantitatea de caldura specifica normata la considerarea debitului de combustibil adaugat si stabilizatorul de flacara.

Cazul particular: cand $x=0$ fara stabilizator de flacara, neglijarea debitului de combustibil injectat $y=0$ si inexistenta incalzirii $q=0$ permite transformarea ecuatiei (4.10) in:

$$W_{n_3}^2 - \frac{3}{2} W_{n_2} W_{n_3} + 1 = 0; \quad [4.11]$$

$$W_{n_3} = \frac{1}{2} \left[\left(W_{n_2} + \frac{1}{W_{n_2}} \right) \pm \left(W_{n_2} - \frac{1}{W_{n_2}} \right) \right];$$

In domeniu subsonic de interes este numai ecuatie cu semnul plus, deoarece radacina cu semnul minus da repartitia vitezelor la unda de soc verticala $\rightarrow W_{n_3} = W_{n_2}$.

Maximul de incalzire la un $x=0$ si $y=0$ si un W_2 dat se obtine pentru $\frac{dq_n}{dW_{n_3}} = 0$

$$W_{n_3} = \frac{1}{2} \left(W_{n_2} + \frac{1}{W_{n_2}} \right) \text{ sau inlocuit (4.10)}$$

$$q_{n \max} = \left[\frac{\frac{1}{2} \left(W_{n_2} + \frac{1}{W_{n_2}} \right)}{W_{n_2}} - 1 \right] \left[1 - \frac{W_{n_2}}{2} \left(W_{n_2} + \frac{1}{W_{n_2}} \right) \right]; \quad [4.12]$$

$$q_{n \max} = \left(\frac{1 - W_{n_2}^2}{2W_{n_2}} \right)^2; \quad [4.13]$$

Se observa ca un gaz in curgere care are viteza sunetului poate prelua o caldura egala cu zero. Se mai poate observa ca unui gaz in curgere nu i se poate transmite cantitati de caldura nelimitate si ca incalziri mari sunt posibile numai la viteze mici W_2 .

4.1.2. Determinarea parametrilor termogazodinamici din camera de ardere fara stabilizator de flacara si la neglijarea debitului de combustibil prin considerarea unui gaz ideal cu $c_p = \text{const}$.

Sistemul de formule stabilit la 4.1 se va utiliza pentru calculul fenomenelor din camera de ardere propusa fig. 4.2.

Pentru a stabili influenta incalzirii asupra parametrilor de stare a mediului de lucru cat se poate de clar, calculele sunt facute fara a lua in considerare pierderile provocate de stabilizatorul de flacara, precum si fara a lua in considerare cantitatea de combustibil adaugata.

Aerul are o viteza initiala de intrare in difuzor de fig. 4.2 W_1 , temperatura T_1 si presiunea statica p_1 . Sectiunea de intrare $S_1 = 13,6 \text{ cm}^2$ ($d_1=4,17 \text{ cm}$). In difuzor aerul este franat majorandu-si presiunea si temperatura care in caz ideal variaza dupa legea adiabata. Difuzorul isi mareste sectiunea pana la sectiunea $S_2 = 51,5 \text{ cm}$ ($d_2 = d_3 = 8,1 \text{ cm}$).

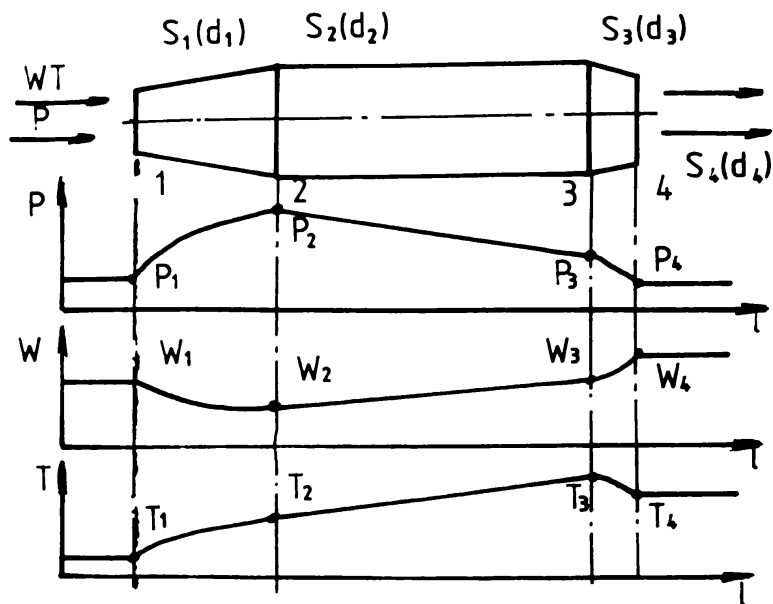


fig. 4.2.

Parametrii camerei de ardere

Pentru calculul marimilor de stare in sectiunea 2 se aplica ecuatia de continuitate si teorema energiei (4.14). Ecuatii ce formeaza un sistem rezolvat grafic cu ajutorul calculatorului (ordinograma pag. 55).

$$\begin{aligned}
 p_2 &= p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} ; \\
 W_2 &= \sqrt{2C_p(T_1 - T_2) + W_1^2} ; \\
 W_2 &= \frac{\dot{m}RT_1}{p_1 S_2} \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}} .
 \end{aligned}
 \tag{4.14}$$

Pentru a utiliza formula (4.10) trebuie calculata eutalpia de stagnare a gazului in sectiunea 2 fig. 4.2.

$$C_p T_{02} = C_p T_2 + \frac{W_2^2}{2}$$

Viteza normata la intrare in camera \$W_{n2}\$ viteza max \$W_{2max}\$ si viteza sunetului se calculeaza conform formulelor prezentate anterior.

Se considera arbitrar diferite valori pentru viteze normate la iesirea din camera \$W_{n3} = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6\$.

Aceste valori calculate se gasesc in tabela 4.1 din anexe si sunt folosite ca punct de plecare pentru calculul fenomenelor din camera de ardere fara pierderi si la introducerea unor cantitati de caldura de diferite valori.

Cantitatea de caldura normata \$q_n\$ se calculeaza cu ecuatia (4.10) iar \$q = q_n c_p T_{02}\$. Cantitatea de caldura cedata camerei de ardere este \$Q = \dot{m}q\$. Cu aportul teoremei

impulsului se calculeaza presiunea \$p_3\$ \$p_3 = p_2 - \frac{\dot{m}}{S_2}(W_3 - W_2)\$. Volumul specific \$v_3\$ la sfarsitul camerei de ardere se stabilesc din ecuatia de continuitate in teava cilindrica cu \$y = 0\$ \$S/\dot{m} = v_3/W_3\$. Perechile de valori \$(Q; W_3)\$ sunt reprezentate grafic in fig. 4.3 prin

curba a, $Q = f(p_3)$ in fig. 4.4. curba a iar $Q = f(v_3)$ in fig. 4.5. prin curba a. Temperatura absoluta a gazului T_3 la sfarsitul camerei de ardere calculata dupa ecuatiea gazului, este reprezentata in fig. 4.6. curba a $Q = f(T_3)$.

La incalzirea unui mediu in curgere intr-o teava de sectiune constanta, chiar si la o curgere fara frecare se obtine o micorare a presiunii de stagnare din sectiunea 2 la sectiunea 3. $p_{02} > p_{03}$.

In prima instanta se calculeaza presiunea de stagnare inaintea incalzirii (sectiunea 2).

$$\text{Aplicand (4.4)} \rightarrow 0 - \frac{W_2^2}{2} = h_2 - h_{02}, \frac{W_2^2}{2c_p T_{02}} = 1 - \frac{T_2}{T_{02}}$$

$$\text{Din ecuatiea politropiei } \frac{T_2}{T_{02}} = \left(\frac{p_2}{p_{02}}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow$$

$$p_{02} = \frac{p_2}{\left(1 - \frac{W_2^2}{W_m^2}\right)^{\frac{k-1}{k}}}; p_{03} = \frac{p_3}{\left(1 - \frac{W_3^2}{W_m^2}\right)^{\frac{k-1}{k}}}; \quad [4.15]$$

Daca se compara eutalpia de stagnare dupa transmiterea de caldura, cu eutalpia de stagnare inainte de transmiterea caldurii se obtine $\frac{h_{03}}{h_{02}} = \frac{c_p T_{02} + q}{c_p T_{02}}$.

La viteza max. W_{\max} a gazului intreaga eutalpie a gazului se transforma in energie cinetica \rightarrow

$$W_{3\max}^2 = \frac{c_p T_{02} + q}{c_p T_{02}} W_{\max 2}^2; \quad [4.16]$$

$$p_{03} = \frac{p_3}{\left[1 + \frac{W_3^2}{W_{2\max}^2} \frac{c_p T_{02} + q}{c_p T_{02}}\right]^{\frac{k}{k-1}}}; \quad [4.17]$$

Valorile lui p_{03} calculate dupa (4.17) sunt reprezentate in fig. 4.7 $Q = f(p_{03})$. Gazul incalzit in camera in sectiunea 2-3 se va destinde acum adiabatic in diuza 3-4 pana la presiunea atmosferica $p_n = p_b$. Temperatura scade pe cand viteza gazului creste in continuare.

Viteza la iesire devine

$$W_4 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_3 v_3 \left[1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] + W_3^2}; \quad [4.18]$$

Valorile calculate sunt reprezentate in fig. 4.8 $Q = f(W_{n4})$.

Temperatura de iesire T_4 rezulta din ecuatiea adiabatei $T_4 = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ iar valorile sunt

prezentate in fig. 4.9. $Q = f(T_4)$. Cu ecuatiea de continuitate la un debit de aer dat, care strabate camera de ardere se pot gasi sectiunile de iesire S_4 corespunzatoare diferitelor grade de incalzire ale camerei, valori reprezentate in fig. 4.10 curba a $Q = f(S_4)$.

4.1.3. Determinarea parametrilor termogazodinamici din camera de ardere cu considerarea pierderilor datorita stabilizatorului de flacara si a debitului de combustibil injectat pentru un gaz ideal cu $c_p = \text{const}$.

Prin montarea injectorului si a stabilizatoarelor auxiliare in difuzor, rezulta pierderi care se pot caracteriza printr-un coeficient de viteza sau dupa R. Schmidt [78] printr-un randament de stagnare η_{stagnare} . Pentru cazul prezentat $\eta_{\text{stag}}=0,79$ teorema energiei se modifica astfel.

$$c_p T_1 + \frac{\eta_{\text{stag}} W_1^2}{2} = c_p T_2 + \frac{W_2^2}{2} ; \quad [4.19]$$

$$\text{sau } W_2 = \sqrt{2c_p (T_1 - T_2) + \eta_{\text{stag}} W_1^2} ; \quad [4.20]$$

$$W_2 = \frac{\dot{m} R T_2}{S_2 p_2} \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}} ; \quad [4.21]$$

Sistemul (4.20) si (4.21) cu necunoscutele W_2 si T_2 se rezolva grafic cu ajutorul calculatorului. Se calculeaza p_2 , eulalpia de stagnare din punctul 2, $c_p T_{02}$, viteza maxima $W_{2\text{max}}$, viteza sunetului corespunzatoare W_{S2} , viteza normata la intrare in camera W_{n2} . Ca si la calculul din 4.1.2. se considera diferite viteze normate $W_n = 0,1 \dots \dots \dots 0,6$.

Cantitatea de caldura normata se calculeaza cu :

$$q_n^1 = \left(\frac{W_{n3}}{W_{n2}} - 1 \right) (1 - W_{n2} W_{n3}) - (1 + W_3^2) y - x \frac{2x}{x+1} W_{n2} W_{n3} ; \quad [4.22]$$

Se calculeaza in continuare q , Q , p_3 , V_3 , T_3 ca si in cazul 4.1.2. cu deosebire ca $x \neq 0$ si $y \neq 0$. Valorile lor se gasesc trasate: $Q=f(W_3)$ fig. 4.3, $Q=f(p_3)$ fig. 4.4; $Q=f(v_3)$ fig. 4.5; $Q=f(T_3)$ fig. 4.6 curbe notate cu b.

Nu s-a considerat frecarea aerului la peretele camerei de ardere. Acum insa pierderea impulsului pe care o sufera gazul datorita stabilizatorului de flacara este mare in raport cu pierderile de frecare de la perete.

Fenomenele din interiorul regiunii de turbionare nu se pot determina corect cu masuratori de explorare si de aceea se considera temperatura medie a turbionului T_w corespunzatoare pentru intregul turbion. Acest calcul efectuat pe aceasta baza este numai aproximativ. Pierderile de la perete nu trebuie considerate separat ci se pot ingloba cu pierderea de impuls datorita stabilizatorului de flacara. In diuza 3-4 gazul se destinde si aici are loc o ardere partiala, caldura dezvoltata aici este mica in raport cu cea dezvoltata in camera de ardere cilindrica, deoarece avem viteze mari in diuza, aceasta parte fiind relativ scurta.

Variatia marimilor de stare in diuza se obtin prin superpozitia fenomenelor de destindere din teava cu sectiunea variabila si adaus de caldura din teava cu sectiune constanta. Din cauza aceasta la calculele care se vor face in continuare se va considera caldura dezvoltata in diuza in portiunea 2-3 a camerei de ardere ca fiind numai o destindere adiabatica. Pierderile din diuza se caracterizeaza prin coeficientul de viteza considerat $\phi = 0,97$. Ecuatia (4.18) devine:

$$W_4 = \phi \sqrt{2 \frac{x}{x-1} p_3 v_3 \left[1 - \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right] + W_3^2} ; \quad [4.23]$$

Valorile calculate pentru T_4 , v_4 , S_4 sunt reprezentate grafic $Q=f(W_4)$ fig.4.8; $Q=f(T_4)$ fig.4.9; $Q=f(v_4)$ fig. 4.10; $Q=f(S_4)$ fig. 4.11 reprezentate prin curba b.

4.1.4. Determinarea parametrilor termogazodinamici din camera de ardere cu considerarea pierderilor datorita stabilizatorului de flacara si a debitului de combustibil injectat si a variatiei de caldura specifica cu temperatura

Ca mediu de lucru serveste aerul pentru calcule ale acestui proces termodinamic. In camera de ardere are loc o ardere partiala. Din cauza aceasta nu se cunoaste in ce raport particulele de combustibil sunt arse in interior sau exteriorul camerei. Influenta combustibilului asupra parametrilor de stare ale gazului de ardere nu se poate considera. Eroarea care se face daca nu se ia in considerare variatia compozitiei amestecului de gaze la ardere este relativ mica, deoarece efectul procesului se bazeaza pe cantitatea mare de caldura care se degaja si variatia mediului are deci o importanta secundara. Ca in 4.1.3. si aici nu se va neglija cantitatea de combustibil injectata. Particulelor de combustibil vaporizate si arse le vom atasa parametrii de stare ale aerului.

Se preia teorema impulsului

$$p_3 = p_2 - \frac{\dot{m}}{S}(W_3 - W_2) - \frac{x\dot{m}}{S}W_2 - \frac{y\dot{m}}{S}W_3$$

$$\frac{RT_3}{v_3} - \frac{RT_2}{v_2} = \frac{\dot{m}}{S}(W_3 - W_2) - \frac{x\dot{m}}{S}W_2 - \frac{y\dot{m}}{S}W_3 ; \quad [4.24]$$

pentru sectiunea 2 $v_2 = \frac{S}{m}W_2$ si analog pentru sectiunea 3

$$v_3 = \frac{SW_3}{\dot{m}(1+y)} \text{ care inlocuite in relatia [4.24] } \rightarrow$$

$$\frac{RT_3}{W_3}(1+y) - \frac{RT_2}{W_2} = -(W_3 - W_2) - xW_2 - yW_3$$

$$W_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{\frac{RT_2}{W_2} + (1-x)W_2}{1+y} \right] \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{\frac{RT_2}{W_2} + (1-x)W_2}{1+y} \right]^2 - RT_3} ; \quad [4.25]$$

teorema energiei (4.4) este valabila si in cazul unei variatii a caldurii specifice cu temperatura

$$h_2 + \frac{W_2^2}{2} + \frac{Q}{\dot{m}(1+y)} = h_3 + \frac{W_3^2}{2} ; \quad [4.26]$$

$$\text{dar } i = \int_0^T c_p dT = c_p \Big|_0^T T$$

Se obtine:

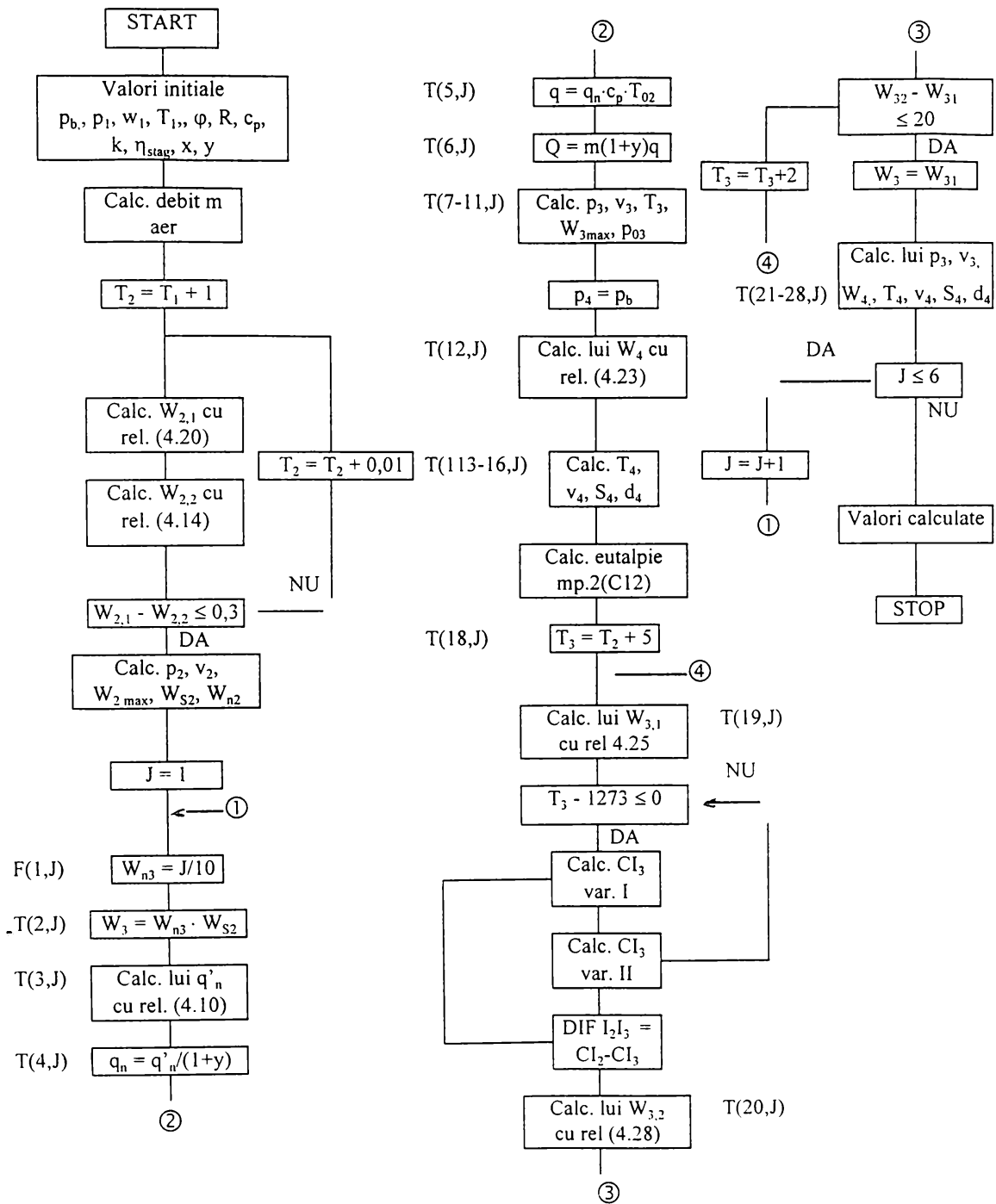
$$h(T_2) + \frac{W_2^2}{2} + \frac{Q}{\dot{m}(1+y)} = h(T_3) + \frac{W_3^2}{2} ; \quad [4.27]$$

$$W_3 = \sqrt{2 \left[\frac{W_2^2}{2} + \frac{Q}{\dot{m}(1+y)} + h(T_2) - h(T_3) \right]} \quad [4.28]$$

Sistemul de ecuatii 4.25 si 4.28 se rezolva cu calculatorul pentru diferite valori ale lui Q .

Curbele $Q=f(W_3)$ fig. 4.3; $Q=f(p_3)$ fig. 4.4; $Q=f(v_3)$ fig. 4.5; $Q=f(T_3)$ fig. 4.6; $Q=f(W_4)$ fig. 4.8; $Q=f(T_4)$ fig. 4.9; $Q=f(v_4)$ fig. 4.10; $Q=f(S_4)$ fig. 4.11 reprezentate prin curbele c.

Ordinograma programului de calcul pentru parametrii termogazodinamici din camera de ardere



Notatii fig. 4.3. ... 4.11

- a - camera ardere fara stabilizator si debit comb. injectat cu $c_p = \text{const.}$
- b - camera ardere cu stabilizator de flacara si debit comb. injectat cu $c_p = \text{const.}$
- c - camera ardere cu stabilizator de flacara si debit comb. injectat cu $c_p = f(T)$

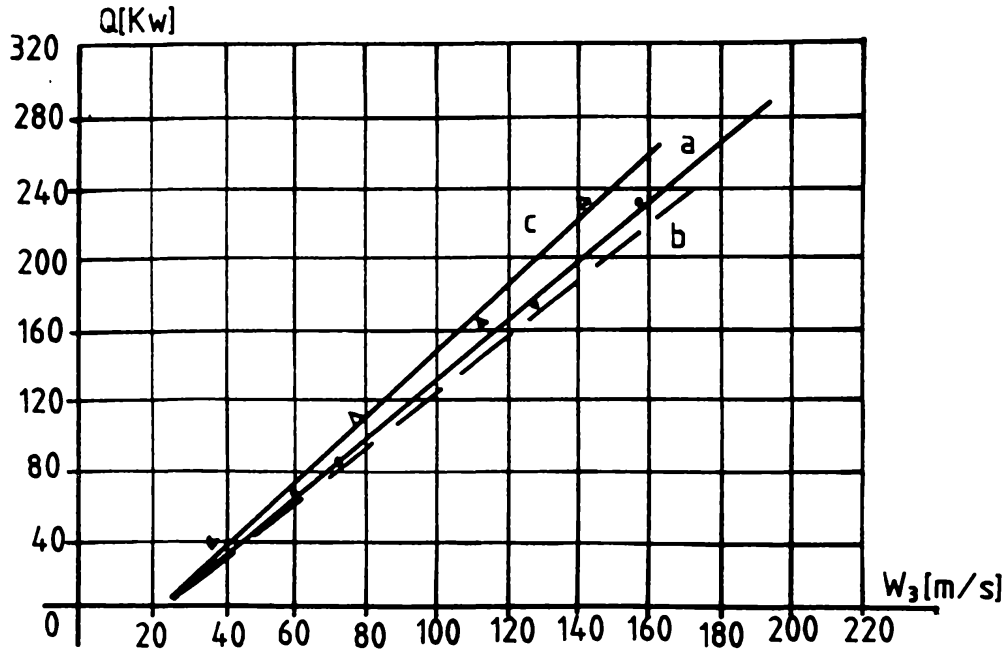


fig. 4.3.

Dependenta dintre caldura introdusa Q functie de viteza W_3

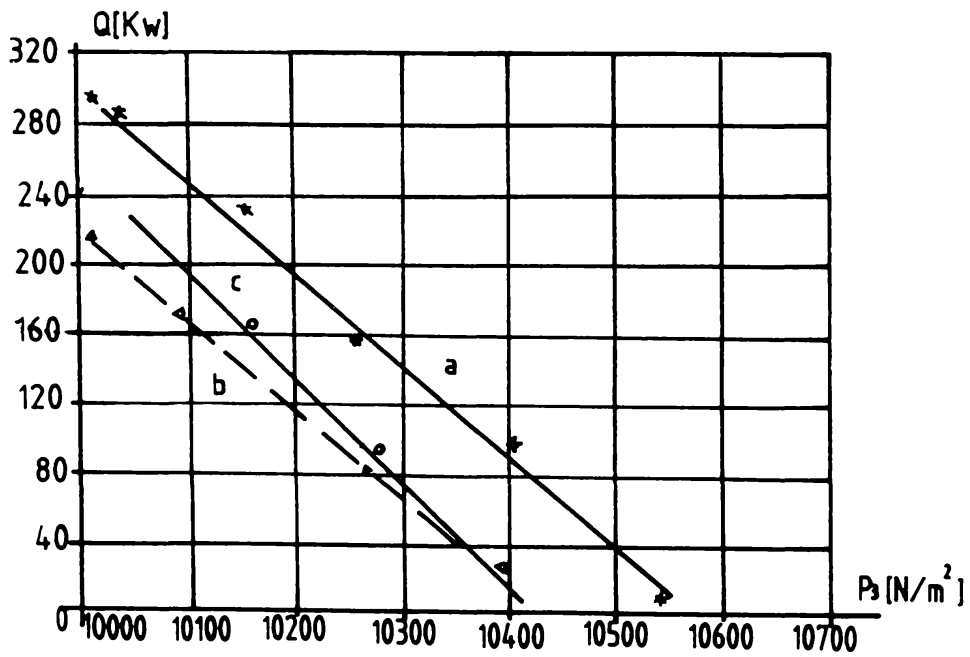


fig. 4.4.

Dependenta dintre caldura introdusa Q functie de presiunea statica P_3

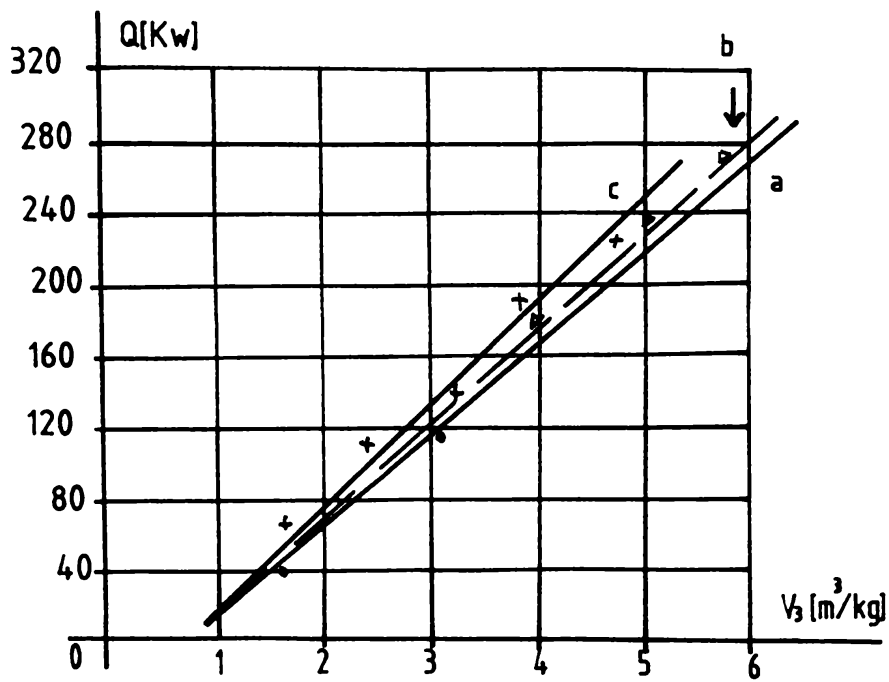


fig. 4.5.

Dependenta dintre cantitatea de caldura introdusa Q si volumul specific v_3

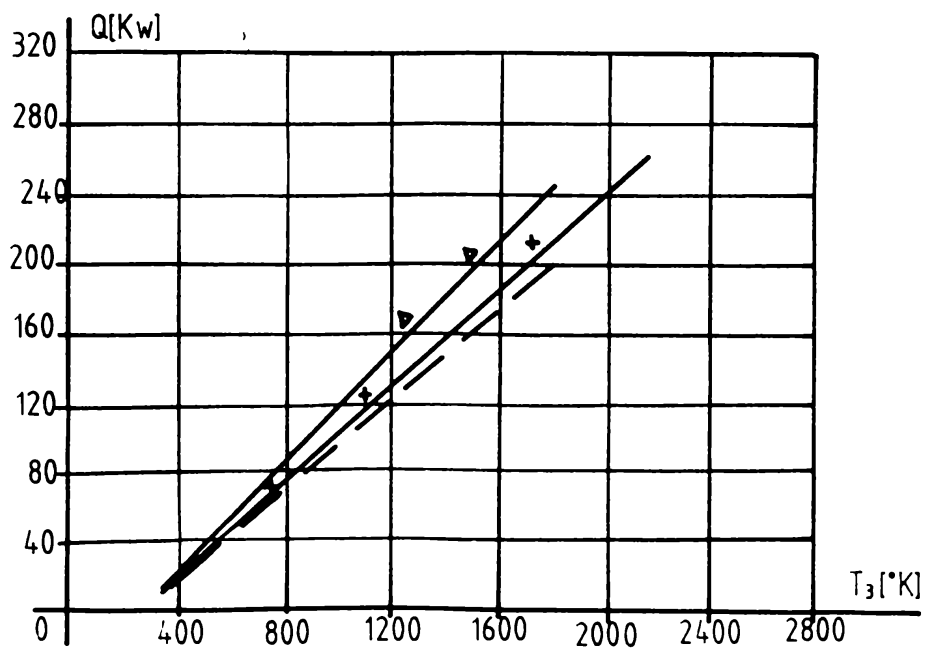


fig. 4.6.

Dependenta dintre cantitatea de caldura Q si temperatura absoluta a gazului T_3

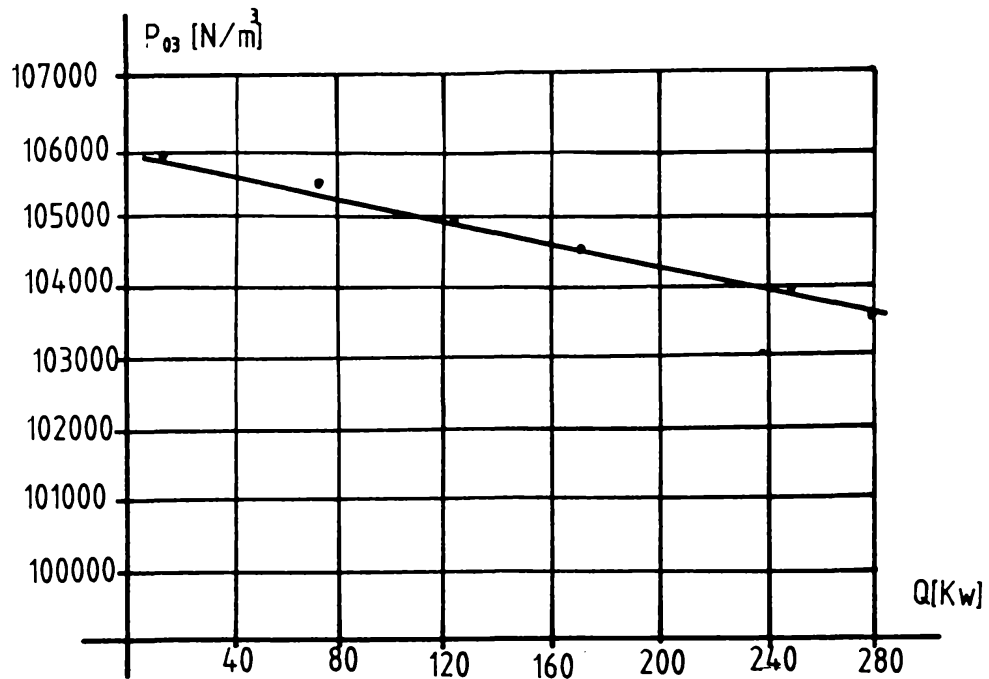


fig. 4.7.

Variatia presiunii de stagnare P_{03} de la sfarsitul camerei de ardere provocata de incalzirea acesteia

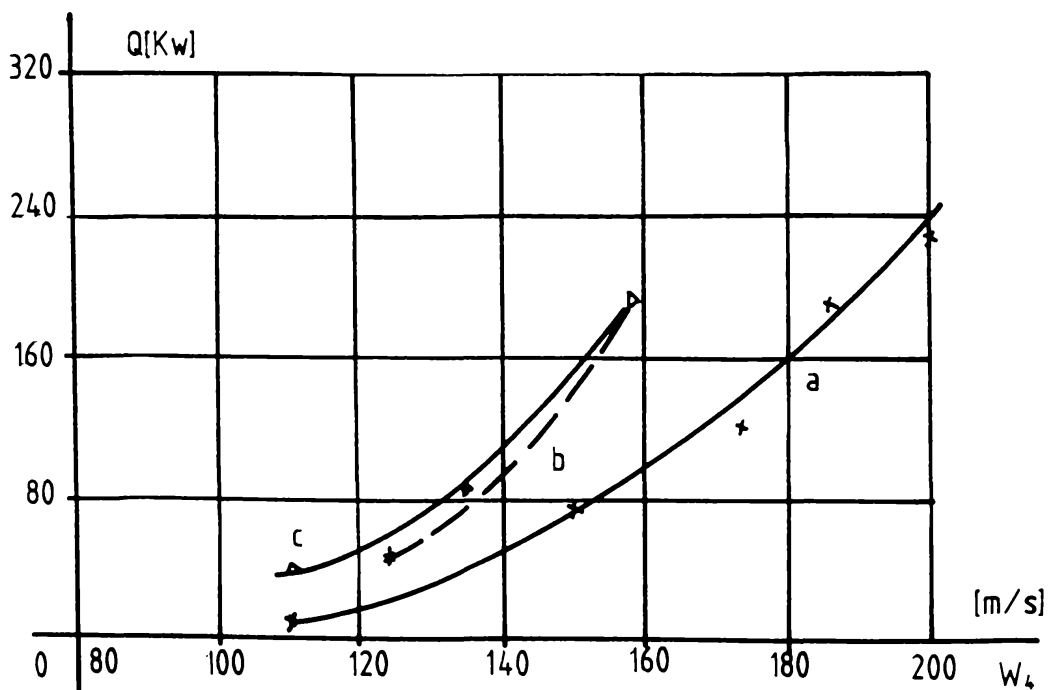


fig. 4.8.

Dependenta dintre cantitatea de caldura introdusa Q functie de viteza W_4

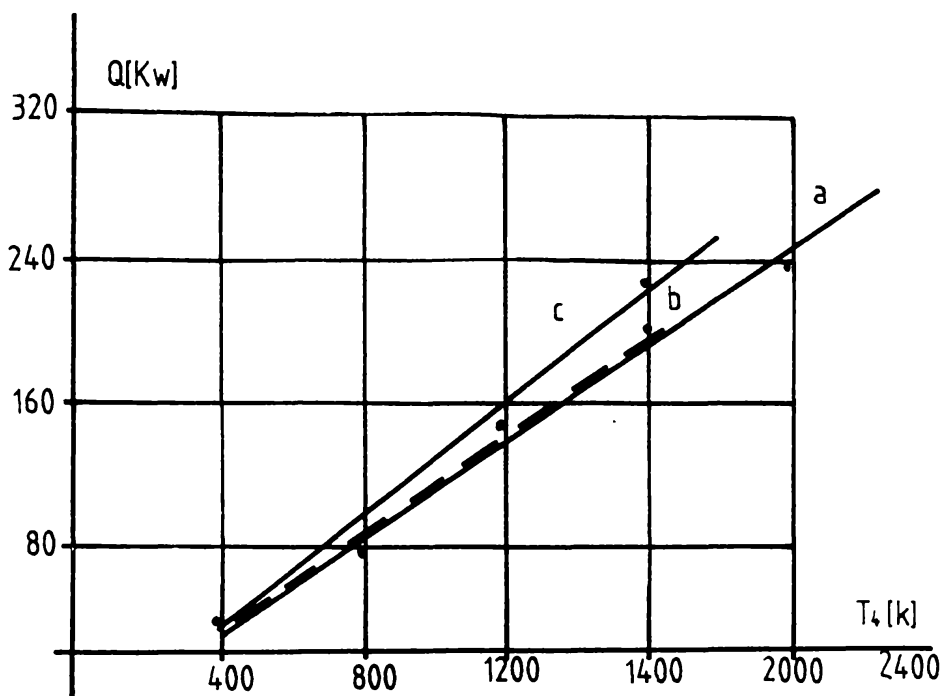


fig. 4.9
Dependenta caldurii introdusa Q functie de temperatura T_4

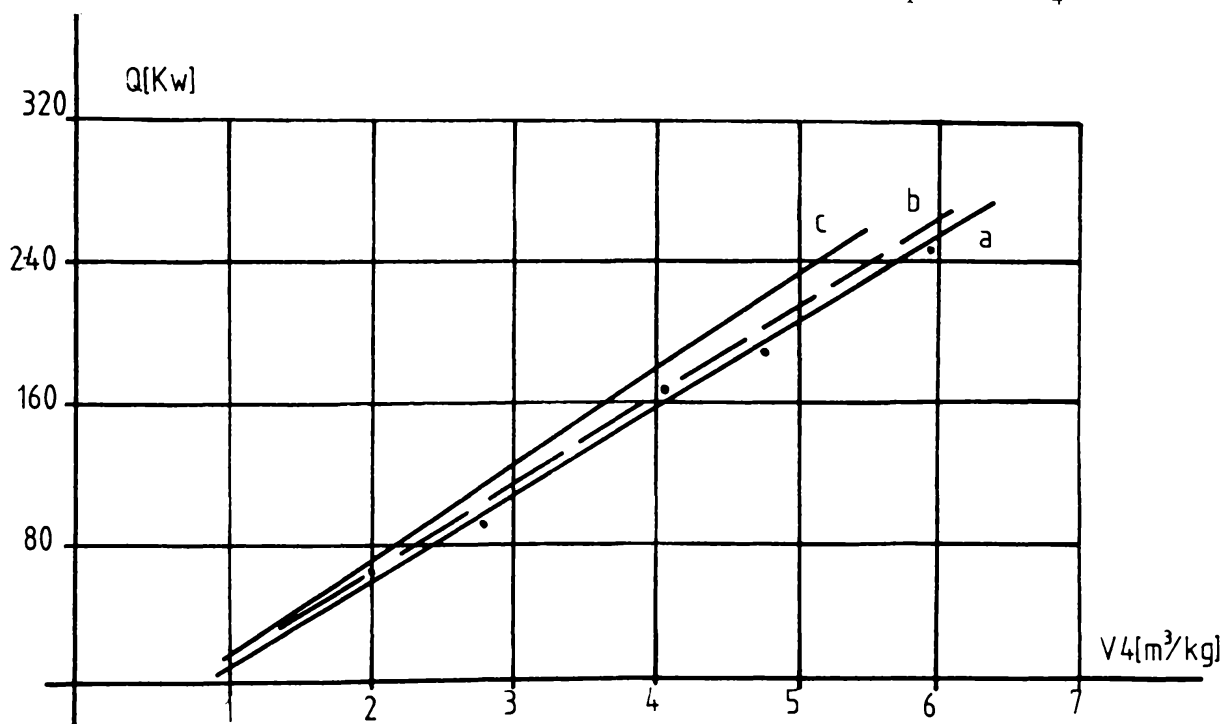


fig. 4.10
Dependenta dintre cantitatea de caldura adaugata Q si volumul specific v_4

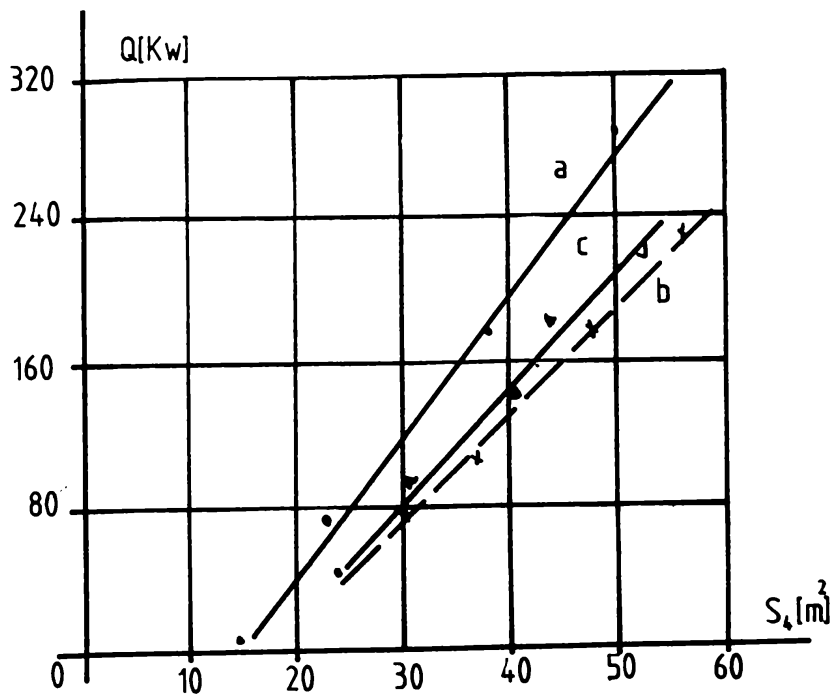


fig. 4.11

Dependenta dintre cantitatea de caldura adaugata Q si sect. de iesire S_4

4.2. Determinarea lungimii minime a camerei de ardere pentru o ardere completa.

Prezentul model matematic se ocupa de studiul si determinarea lungimii minime pentru o camera de ardere a unui turbomotor. [74]

Procesele fizice. Marimea de control a procesului este data adesea de viteza de vaporizare a combustibilului lichid folosit la ardere; Amestecarea in jeturi si in straturi limita a combustibilului cu aer este de asemenea un proces care influenteaza viteza de ardere. Ea se neglijeaza pentru prezentul model fiind de o importanta secundara; Aerodinamica picaturii are un rol important de jucat deoarece coeficientul de frecare cu aerul al picaturii depinde de numarul Reynolds al miscarii relative, si de alti factori, de exemplu viteza de vaporizare.

Modelul matematic. Camera de ardere prezentata idealizat redata in fig.4.12 este descrisa prin urmatoarele variabile:

Variabile independente - y distanta in lungul camerei de ardere de la partea din fata a injectorului.

Variabile dependente: raza picaturii r , viteza picaturii V (aceasi pentru toate picaturile) considerate pentru un y dat.

Cantitatile independente de y ; Se presupune ca urmatoarele marimi sunt constante: temperatura si compozitia gazului (vapori se presupun ca ard repede); presiunea gazului, unde cifra Mach $\ll 1$ iar factorul de frecare are valoare foarte mica pentru camera de ardere; temperatura picaturii - presupunand ca picaturile trebuie sa fie injectate la echilibru de temperatura. In plus se presupune ca viteza de ardere este influentata doar prin vaporizarea controlata prin conductie si difuzie, miscarea picaturii

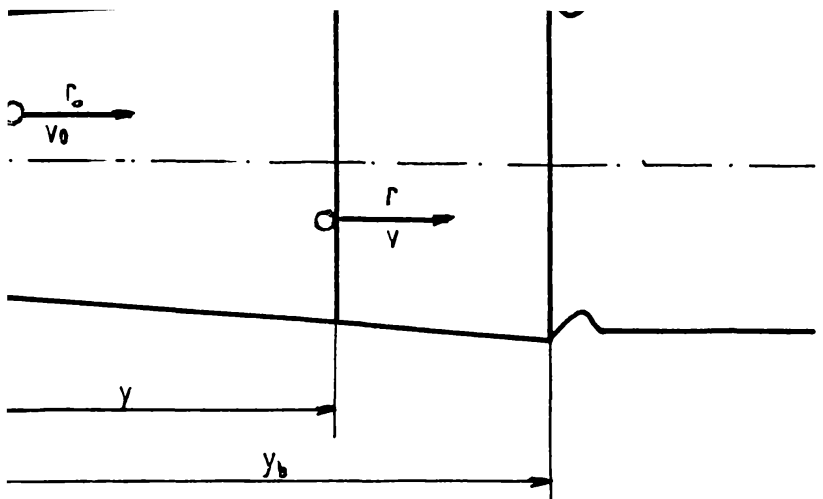


fig. 4.1 2. Camera ardere idealizata

este controlata prin inertie si legea lui Stokes, iar viteza gazului este controlata prin conservarea masei.

Daca nu ar fi interactiunea de frecare intre gaz si picaturi, rezulta ca vitezele lor de injectie V_0 s-ar mentine constante.

Lungimea pentru ardere completa Y_b va fi data de $Y_b = V_0 t_b$ sau

$$t_b = \frac{r_0^2}{2\Gamma} \rho_{lichid} [\ln(1+B)] \Rightarrow Y_b = \frac{V_0 r_0^2}{2\Gamma} \frac{\rho_{lichid}}{\ln(1+B)}; \quad [4.29]$$

In practica viteza picaturii va fi in descrestere ca o consecinta a frecarii exercitata de gaz. Mai tarziu viteza picaturii poate creste din aceleasi motive, deoarece viteza gazului creste o data cu y .

De aceea ecuatia (4.29) va necesita modificari in functie de raportul dintre viteza de injectie a picaturii si viteza finala a gazului.

Ecuatiile care se scriu sunt:

- relatia intre variatiile timpului si spatiului. In loc de dv/dt care apare in teoria arderii picaturii se scrie

$$\frac{dr}{dt} = \sqrt{\frac{dr}{dy}}; \quad [4.30]$$

pentru ca cresterea in timp dt pentru o picatura este egala cu dx/V

- variatia razei este data de

$$\frac{dr}{dy} = \frac{1}{r} \frac{\Gamma}{\rho_{lichid}} lu(1+B); \quad [4.31]$$

unde r se ia in locul lui r_0 si B dat la o forma corespunzatoare

- legea a II-a de miscare a lui Newton pentru picatura implica

$$V \frac{dV}{dy} = \frac{F}{\rho_{lichid} \frac{4}{3}\pi r^3}; \quad [4.32]$$

unde F este forta dezvoltata de gaz asupra picaturii in directia Y

- legea lui Stokes pentru frecarea picaturilor implica

$$F = 6\pi r(u-V)\mu_g; \quad [4.33]$$

unde μ_g - viscozitatea gazului

Combinand relatia (4.32) si (4.33) si introducand "factorul de miscare" f [12]

$$f = B^{-1} lu(1+B); \quad [4.34]$$

$$V \frac{dV}{dy} = \frac{9}{2} \frac{\mu}{\rho_{lichid}} \frac{u-V}{r^2} f; \quad [4.35]$$

- conservarea masei. Gazul este format din produse de vaporizare si ardere a lichidului

$$\rho \cdot u = \left\{ 1 - \left(\frac{r}{n} \right)^2 \right\} G ; \quad [4.36]$$

S-a presupus ca densitatea picaturii este cu mult mai mare decat densitatea gazului. In vederea distingerii esentialului de accidental numarul total de variabile a fost redus, usurand calculul prin folosirea variabilelor adimensionale.

Noile variabile sunt:

$$\frac{r}{r_0} = \varphi ; \quad [4.37]$$

$$\frac{\rho u}{G} = \omega ; \quad [4.38]$$

$$\frac{\rho V}{G} = Z ; \quad [4.39]$$

$$\frac{Y}{r_0} \frac{\rho \Gamma}{\rho_{lichid}} \frac{lu(1+B)}{G} = \xi ; \quad [4.40]$$

$$\frac{9}{2} \frac{\mu}{\Gamma} \frac{f(B)}{lu(1+B)} = S_c ; \quad [4.41]$$

Astfel Legea de variatie a razei se scrie:

$$Z \varphi \frac{d\varphi}{d\xi} = -1 ; \quad [4.42]$$

Legea lui Newton este:

$$Z \frac{dz}{d\xi} = S_c \frac{1}{\varphi} (1 - \varphi^3 - z) ; \quad [4.43]$$

iar conservarea masei :

$$\omega = 1 - \varphi^3 ; \quad [4.44]$$

Conditii de limita se scriu $\xi = 0$; $\varphi_p = 1$ iar $z_p = z_{p0}$ pentru planul injectorului.

Impartind (4.43) la (4.42) se obtine:

$$\frac{dz_p}{d\varphi_p} - \frac{S_c}{\varphi_p} z_p = -\frac{S_c}{\varphi_p} (1 - \varphi_p^3) ; \quad [4.45]$$

Prin integrare se obtine:

$$Z_p \varphi_p^{-S_c} = -S_c \left(\frac{\varphi_p^{-S_c}}{-S_c} - \frac{\varphi_p^{-S_c+3}}{-S_c+3} \right) + const. ; \quad [4.46]$$

Din conditiile de limita $\rightarrow const = x_0 + \frac{3}{S_c - 3}$ obtinandu-se $Z_p(\varphi_p)$ (4.47)

$$Z_p = Z_{p0} \varphi_p^{S_c} + \frac{\left[S_c (1 - \varphi_p^3) - 3 (1 - \varphi_p^{S_c}) \right]}{(S_c - 3)} ; \quad [4.47]$$

Solutia in functie de ξ se obtine prin substitutia (4.47) in (4.42) conducand la ecuatia diferentiala:

$$\frac{d\xi}{d\varphi_p} = -\varphi_p + \frac{S_c}{S_c - 3} \varphi_p^4 - \left(z_{p0} + \frac{3}{S_c - 3} \right) \varphi_p^{S_c+1} ; \quad [4.48]$$

care prin integrare si folosind conditia la limita $\xi = 0$ conduce in final la solutia functiei $\xi_b(S_c Z_{p0})$

$$\xi = \frac{1}{2} \left(1 - \varphi^2 \right) - \frac{S_c}{5(S_c - 3)} \left(1 - \varphi^5 \right) + \frac{z_{p0} + \frac{3}{S_c - 3}}{S_c + 2} \left(1 - \varphi^{S_c + 2} \right); \quad [4.49]$$

Relatia (4.47) care exprima viteza picaturii functie de raza picaturii si coeficientul de frecare a acesteia s-a reprezentat grafic in urmatoarele conditii: S_c variaza $0 \rightarrow \infty$ iar raza picaturii variaza $1 \rightarrow 0$ fig. 4.13.

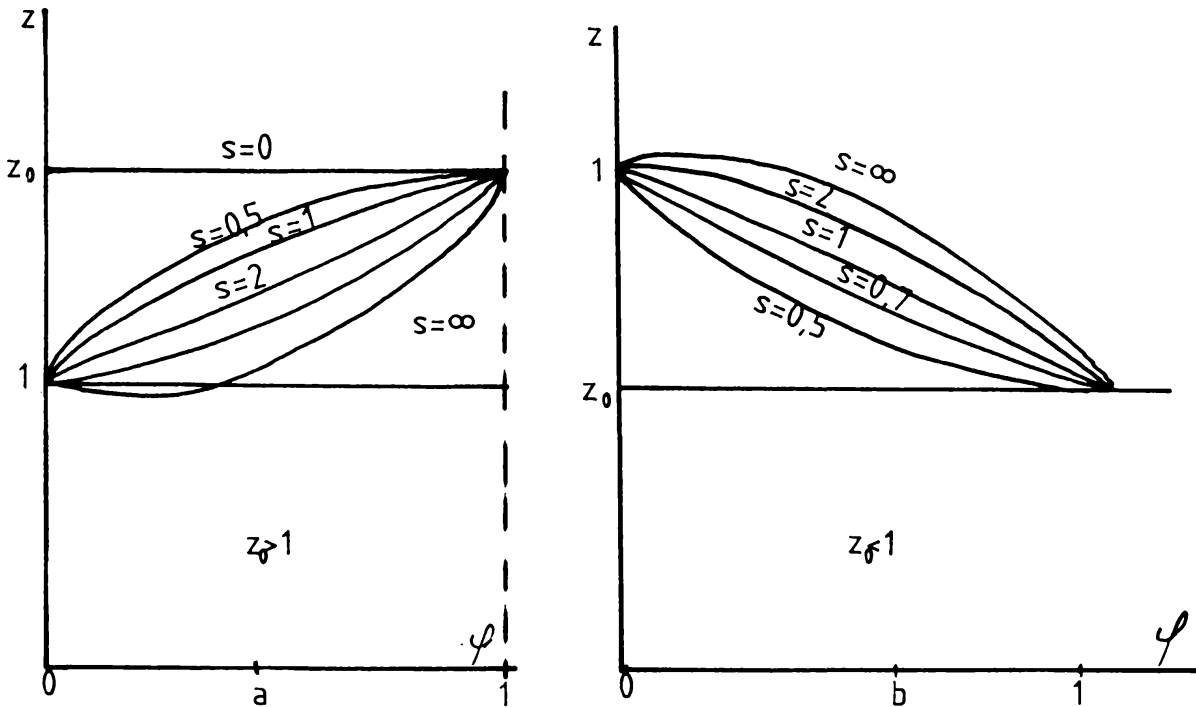


fig. 4.13

Viteza picaturii functie de raza picaturii si coeficientul de frecare S_c

Lungimea minima pentru o ardere completa descrisa prin relatia (4.49) este $\xi(S_c, \varphi, z_0)$. S_c - "coeficient de frecare" a picaturii intr-o forma mai restransa se poate exprima $S_c = \frac{9}{2} \cdot Pr \cdot \frac{1}{B}$, B variind intre 2 si ∞ iar Pr se apropie de 1. Pentru φ raza picaturii exprimata adimensional va fi 1 in momentul injectiei si 0 pentru lungimea minima a arderii.

Programul de calcul facut pentru ξ_b , variind pe S_c de $0 \rightarrow \infty$; pentru fiecare valoare a lui S_c . Se variaza φ de la 1 la 0; respectiv pentru fiecare valoare a lui φ se variaza viteza de injectie a picaturii z_0 .

Valorile lui ξ_b obtinute prin calcul in functie de cei trei parametri s-a reprezentat grafic ordinograma a programului de calcul a lui $\xi(S_c, z_0, \varphi)$ este redada in fig. 4.14

Ordinograma programului de calcul a lui $\xi(S_c, Z_0, \varphi)$

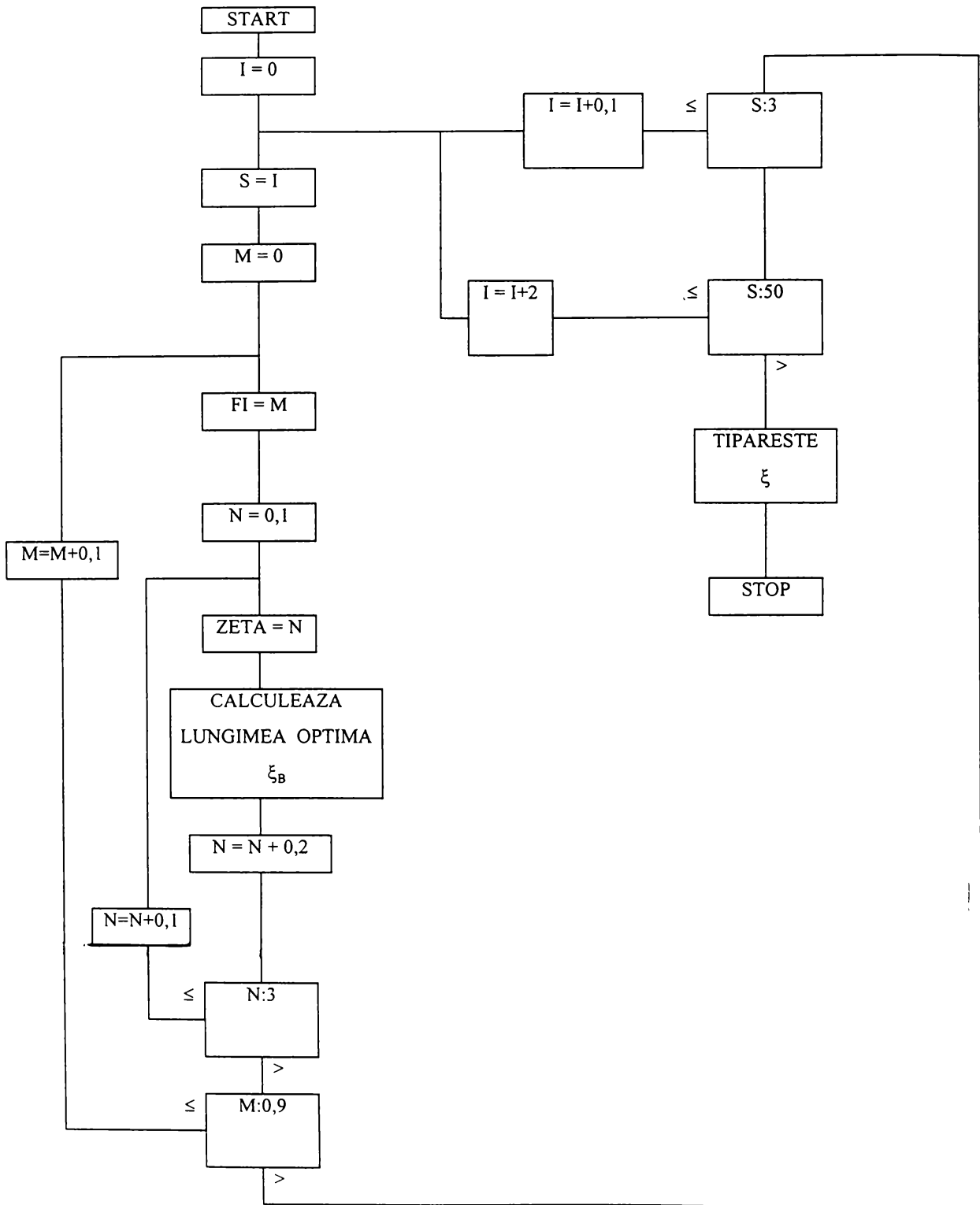


fig. 4.14

4.3. Determinarea campului de temperaturi in camera de ardere prin metoda elementelor finite

In camera de ardere a turbomotorului temperatura gazului are variatii, producand oscilatii de temperatura la suprafata peretilor interiori ai camerei de ardere. Oscilatiile se amortizeaza rapid spre peretele camerei astfel incat temperatura poate fi considerata in general stationara. Pentru campurile de temperaturi stationare in piese este valabila relatia:

$$\frac{d}{dx}\left(\lambda_x \frac{dT}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(\lambda_y \frac{dT}{dy}\right) + \frac{d}{dz}\left(\lambda_z \frac{dT}{dz}\right) = 0 ; \quad [4.50]$$

In ipoteza coeficientului de conductibilitate termica constant in piesa ($\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda$) si inexistenta surselor interioare de caldura.

Pentru forme simple de piese ecuatia este rezolvabila in cazul cunoasterii conditiilor de contur.

Pentru piesele cu forme complicate (camera de ardere a turbomotorului) rezolvarea cu mijloace simple a ecuatiei diferentiale de mai sus nu este posibila. Ea poate fi rezolvata doar cu ajutorul procedeelor numerice, cunoscand conditiile de contur (temperatura la suprafata piesei sau cantitatea de caldura cedata la limitele piesei, coeficientul de transfer de caldura si temperatura ambianta).

In lucrarea de fata s-a stabilit campul de temperaturi pentru peretele camerei de ardere, considerat ca fiind un corp simetric de rotatie. Diferentele de temperatura pe circumferinta au fost neglijate. La piesele simetrice de rotatie este suficienta luarea in considerare a unei sectiuni. In cazul cand temperaturile sau fluxurile de caldura de la limita interioara a peretelui camerei de ardere sunt cunoscute, se impune calculul temperaturilor din interiorul lui.

Rezolvarea acestei probleme se face astfel: temperatura necunoscuta dintr-un nod se exprima prin conditia de contur cunoscuta si temperaturile necunoscute din celelalte noduri. In acest nod, se obtin n ecuatii pentru n temperaturi necunoscute. In toate nodurile, sistemul de ecuatii putandu-se rezolva.

In sistem de coordonate, bidimensional, ecuatia diferentiala care descrie schimbul de caldura prin conductie are forma:

$$\frac{d}{dx}\left(\lambda_x \frac{dT}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(\lambda_y \frac{dT}{dy}\right) + Q = 0 ; \quad [4.51]$$

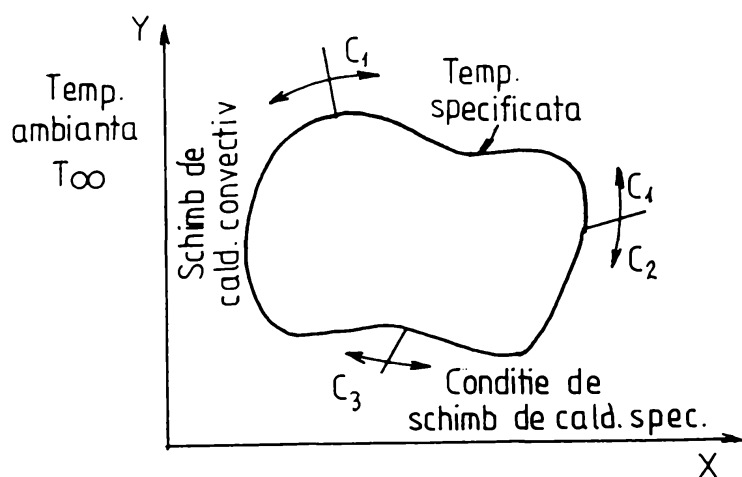
Conditii limita sunt separate in felul urmatoar:

$$T = T(x,y) \text{ pe } C_1 \text{ (distributia temperaturii specifice la limita)} \quad [4.52]$$

$$\lambda_x \frac{dT}{dx} n_x + \lambda_y \frac{dT}{dy} n_y = q \quad \text{pe } C_2 \quad [4.53]$$

$$\lambda_x \frac{dT}{dx} n_x + \lambda_y \frac{dT}{dy} n_y + \alpha(T - T_\infty) = 0 \quad \text{pe } C_3 \quad [4.54]$$

unde: λ_x, λ_y sunt conductivitatile termice pe directiile principale
 Q o functie specifica ce reprezinta fluxul intern generat
 q fluxul de caldura specific la limita datorita conductiei
 $\alpha(T - T_\infty)$ este fluxul specific datorita convectiei la temperatura ambianta T_∞ cu coeficientul de transfer de caldura prin convectie
 n_x si n_y reprezinta componentele normale la contur dupa axele x si y



In fig. 4.15 se prezinta modul de solutionare a problemei in domeniul bidimensional si variatia conditiilor de contur.

fig. 4.15

Solutionarea campului de temperaturi in domeniul bidimensional

Distributia temperaturilor in corpurile axial simetrice tridimensionale se poate scrie:

$$\frac{d}{dT} \left(\lambda_r r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{d}{dz} \left(\lambda_z r \frac{dT}{dz} \right) + rQ = 0; \quad [4.55]$$

cu conditiile limita

$$T = T(r,z) \text{ pe } S_1; \quad [4.56]$$

$$\lambda_r r \frac{dT}{dr} n_r + \lambda_z r \frac{dT}{dz} n_z + r \cdot q = 0; \quad \text{pe } S_2 \quad [4.57]$$

$$\lambda_r r \frac{dT}{dr} n_r + \lambda_z r \frac{dT}{dz} n_z + r\alpha(T - T_\infty) = 0; \quad \text{pe } S_3 \quad [4.58]$$

Se presupune ca $\lambda_r = \lambda_z = \lambda(r,z)$ si Q, q si α sunt cunoscute ca functii specificate de coordonate. In fig. 4.16 se prezinta sistemul de coordonate pentru corpul bidimensional si pentru cel axial simetric si tridimensional.

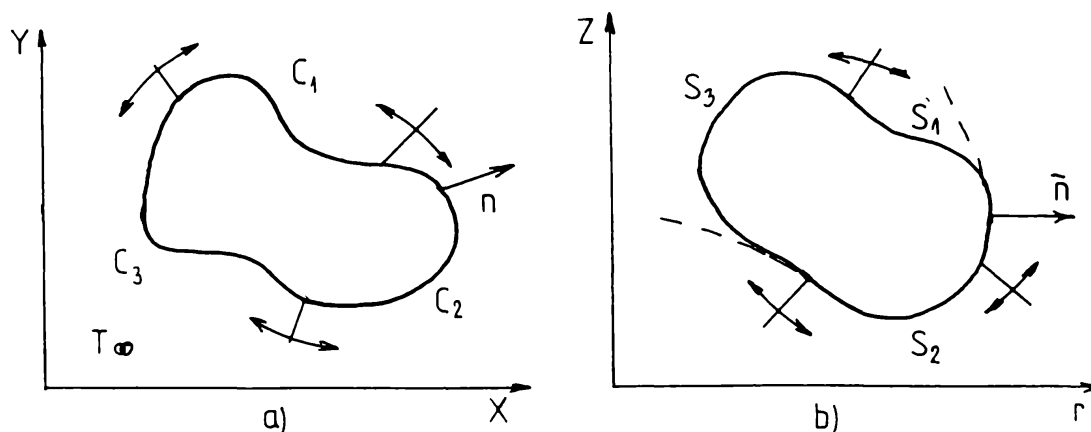


fig. 4.16

Sistemul de coordonate:

a - bidimensional

b - axial simetric tridimensional

Problema care trebuie solutionata poate fi rezumata in felul urmatoar:

- cunoscand geometria camerei de ardere cat si proprietatile fizice legate de transmiterea caldurii, respectiv conditiile de solicitare termica
- se cere: distributia temperaturii in camera de ardere, fluxurile de caldura pe peretele ce prezinta interes

Camera de ardere este impartita in elemente finite triunghiulare si se admite ca temperatura variaza liniar peste fiecare element. Ecuatiile elementului finit pentru campul de temperaturi scrise matricial sunt:

$$\begin{bmatrix} 3 \times 3 \\ K_T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3 \times 1 \\ T \end{bmatrix}^{(e)} = \begin{bmatrix} 3 \times 1 \\ K_Q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 3 \times 1 \\ K_q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 3 \times 3 \\ K_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3 \times 1 \\ T \end{bmatrix}^{(e)} + \begin{bmatrix} 3 \times 1 \\ K_{T_a} \end{bmatrix}; \quad [4.59]$$

unde

$$K_{T_i} = \frac{K}{4\Delta} (b_i b_j + c_i c_j); \quad [4.60]$$

i, j = 1, 2, 3 (acestia sunt termenii matricei de rezistenta termica)

$$[T]^{(e)} = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix}; \quad [4.61]$$

matricea temperaturilor

$$[K_Q] = \frac{\Delta}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{Q_1} \\ \overline{Q_2} \\ \overline{\theta_3} \end{bmatrix}; \quad [4.62]$$

matricea de influenta pentru generarea fluxului intern

$$[K_\alpha] = l_{ij} \alpha \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad [4.63]$$

matricea de influenta pentru conturul supus actiunii caldurii convective

$$[K_q] = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}; \quad [4.64]$$

matricea de influenta pentru fluxul de caldura specificat la nodurile interioare
 Q_i este fluxul de caldura alocat la nodul i al unui element

$$[K_q] = \frac{q}{2} \begin{bmatrix} l_{ij} \\ l_{ij} \\ 0 \end{bmatrix}; \quad [4.65]$$

matricea de influenta pt. fluxul de caldura extern, cand este specif. pe contur

$$[K_{T_a}] = \frac{\alpha T_\infty}{2} \begin{bmatrix} l_{ij} \\ l_{ij} \\ 0 \end{bmatrix}; \quad [4.66]$$

matricea de influenta pentru temperaturile ambiante langa limitele convective

Relatiile de calcul pentru schimbul de caldura pe partea gazului in prezenta lucrare s-a folosit relatia lui Woschni [92] care a dezvoltat si comunicat in anul 1970 trei relatii. El a pornit sistematic de la relatiile teoriei similitudinii gasite de Nusselt pentru schimbul de caldura intr-o teava parcursa de un fluid. Acest schimb de caldura a fost prezentat prin criteriile Nu, Re, Pr, precum si prin marimile geometrice diametrul tevii d si lungimea l $Nu = f(Re, Pr, d/l)$. In marimile caracteristice enumerate sunt continute, dupa cum se stie, proprietati ale fluidului, coeficientul de conductivitate termica λ , vascozitatea dinamica η , caldura specifica c_p si densitatea ρ , care pot fi aduse la forma unei functii de presiune p_g si temperatura T_g a gazului in camera de ardere, respectiv viteza efectiva a gazului W .

Astfel coeficientul de schimb de caldura convectiv in forma generala este folosit pentru partea de transmitere a caldurii pe partea gazului descris de [92].

$$\alpha_g = 110 \cdot D^{-0,214} \cdot W^{0,786} \cdot p_g^{0,786} \cdot T_g^{-0,525} \quad [4.67]$$

Cu cele prezentate, ecuatiile elementului finit sunt pregatite pentru codificare.

Calculul pentru gasirea distributiei de temperaturi si fluxului are urmatoarele faze: intocmirea setului necesar de matrice, descrierea retelei triunghiulare de elemente finite si acceptarea tuturor datelor de intrare, incluzand si proprietatile materialului si toate conditiile limita; evaluarea ecuatiilor matriciale pentru fiecare element si adaugarea lor la matricea principala; modificarea matricei principale, pentru a corespunde conditiilor la limita si solutionarea sistemului de ecuatii [30].

Programul de calcul (anexat) este scris in limbaj FORTRAN 77 sub Windows '95 avand ordinograma prezentata in fig. 4.17 pentru calculul cu elemente finite al transferului conductiv bidimensional de caldura in regim stationar pentru corpuri omogene, neomogene izotrope adaptat pentru camera de ardere a turbomotorului.

Problema s-a tratat pentru camera propusa de autor considerand ca fiind de domeniu axial simetric. Corpul poate avea surse interioare de caldura cu fluxul variind de la un element la altul, dar constant in timp. Programul foloseste elementul finit liniar in trei moduri. S-a luat in discutie zona presupusa cea mai puternic solicitata termic si s-a impartit in elemente finite, rezultand doua zone. Prima zona de elemente finite se refera la zona de transmitere a caldurii pe partea gazului, zona a doua se refera pe peretele camerei si curentul de aer care o spala la exterior.

Ca date de intrare se definesc 199 noduri si 339 elemente cu coordonatele lor, cunoscandu-se fluxul termic produs prin arderea combustibilului, conductivitatea **termica pentru material** $\lambda_m = 27,6$ W/m grad [73] iar α_g se calculeaza dupa [4.67] pe partea de gaz pe element finit (tab. 4.5. anexa)

Rezultatele ofera temperaturile in toate nodurile respectiv a fluxurilor de temperatura prin peretele camerei.

Ordinograma programului de calcul pentru determinarea campului de temperatura in camera de ardere prin metoda elementelor finite

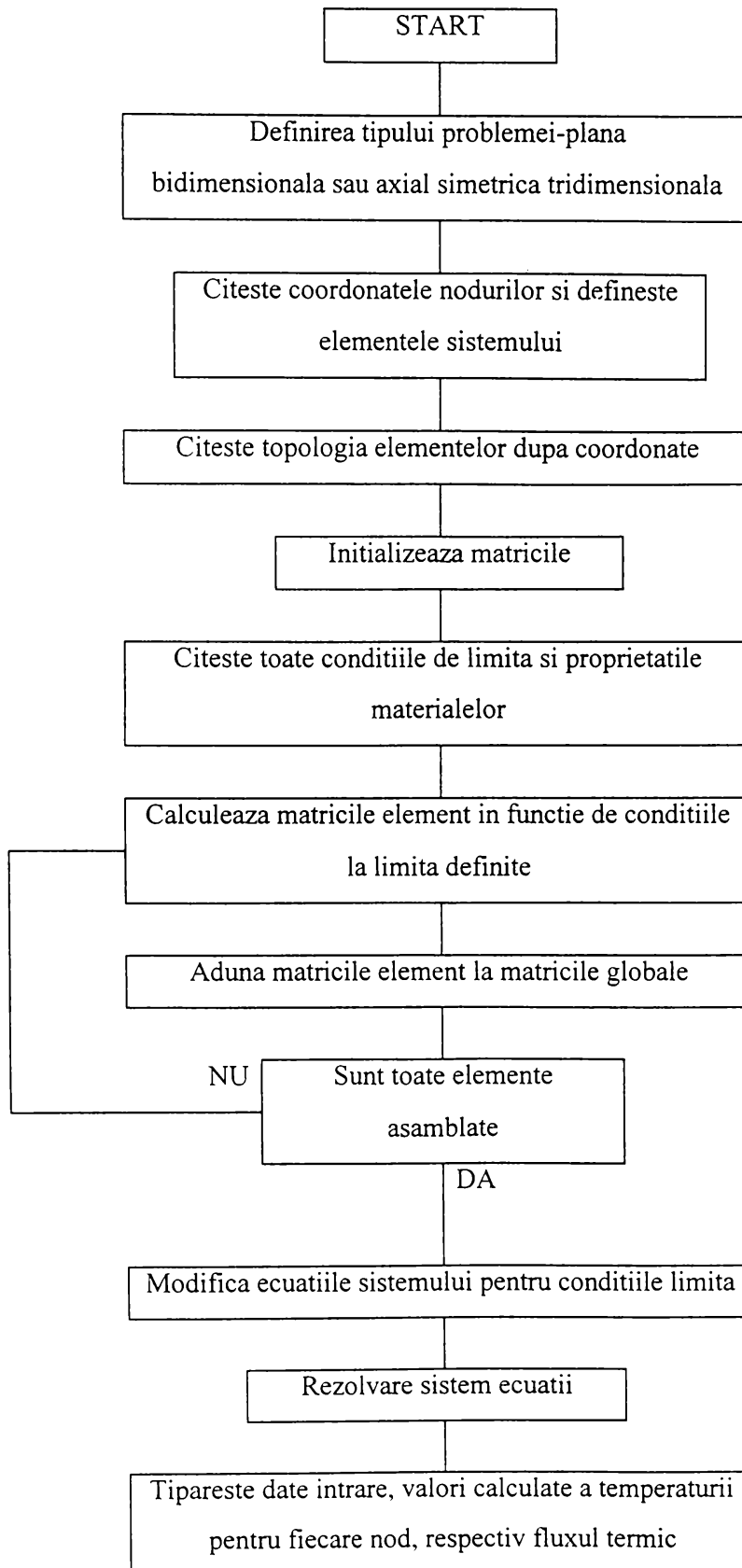


fig. 4.17

5. Cercetari experimentale

5.1. Camera de ardere tubulara experimentală

Cercetarea circulației aerului pentru camerele de ardere a turbomotoarelor s-a făcut plecând de la modelul de camera tubulară propus de autorul acestei lucrări (fig.5.3), de construcție miniaturizată pentru un debit de aer de $\approx 125 \text{ l/s}$.

Partile principale ale camerei de ardere sunt: confuzorul 1, difuzorul 2, aprinzător de flacăra 3, cilindrul camerei de ardere 4, stabilizatorul de flacăra 5, inel intermediar, efuzorul 7, tije de prindere 8.

Confuzorul 1 s-a construit cu rolul de a ridica viteza de curgere a aerului refulat de compresor la un debit constant de $0,2 \text{ kg/s}$, și un diametru de ieșire $D = 55 \text{ mm}$, putându-se obține o viteză maximă de 75 m/s la intrarea în camera de ardere.

Difuzorul 2, piesa de intrare a camerei cu aria secțiunii transversale crescând spre aval, având unghiul de divergență a conului $\beta = 14^\circ$, permite reducerea vitezei aerului, între cele două diametre $D_1 \rightarrow D_2$ (fig.5.2).

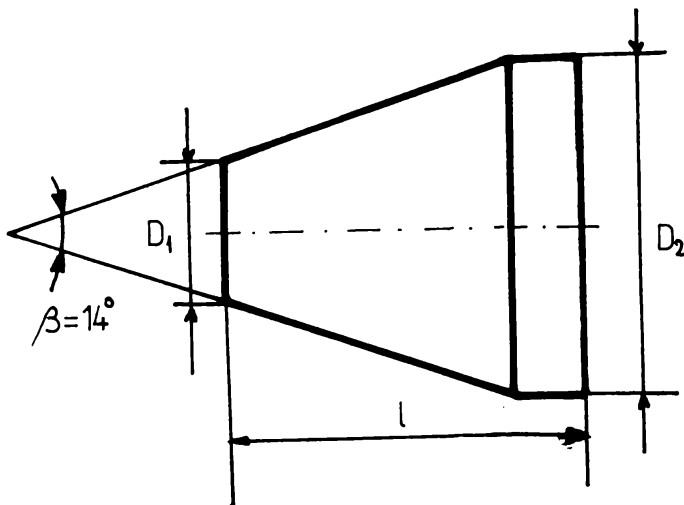


fig. 5.1
Difuzor

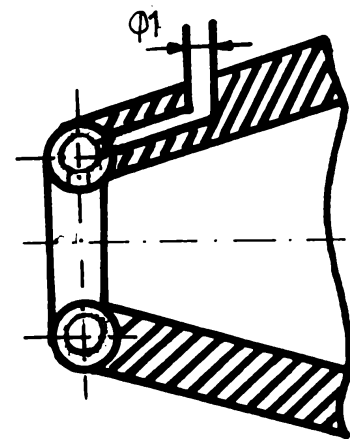


Fig. 5.2
Intrare în difuzor

Pentru a putea măsura depresiunea în secțiunea minimă a difuzorului, s-a montat în această secțiune o teavă de cupru cu diametrul tevei $\varnothing = 6 \text{ mm}$ sub forma unui inel de cerc. Aceasta teavă are patru găuri la 90° și este alămită de difuzor; în difuzor s-a găurit un canal, la care se poate măsura presiunea în secțiunea cea mai mică a difuzorului. Diametrul canalului este de 1 mm și are o lungime de 10 mm (fig.5.2).

Stabilizatorul de flacăra 5, cu rolul de asigurare a amestecului aer-combustibil (fig.5.4), este compus din două elemente: stabilizatorul principal (a) sub forma de inel profilat de forma torică și conul de imprastiere (b), primul având un diametru interior de $d = 35 \text{ mm}$ respectiv $D_{\text{ext}} = 65 \text{ mm}$ cu lungimea $L = 56 \text{ mm}$. Conul de imprastiere prins la o distanță de 5 mm de stabilizatorul principal are o lățime de 20 mm iar unghiul de deschidere a conului este 98° .

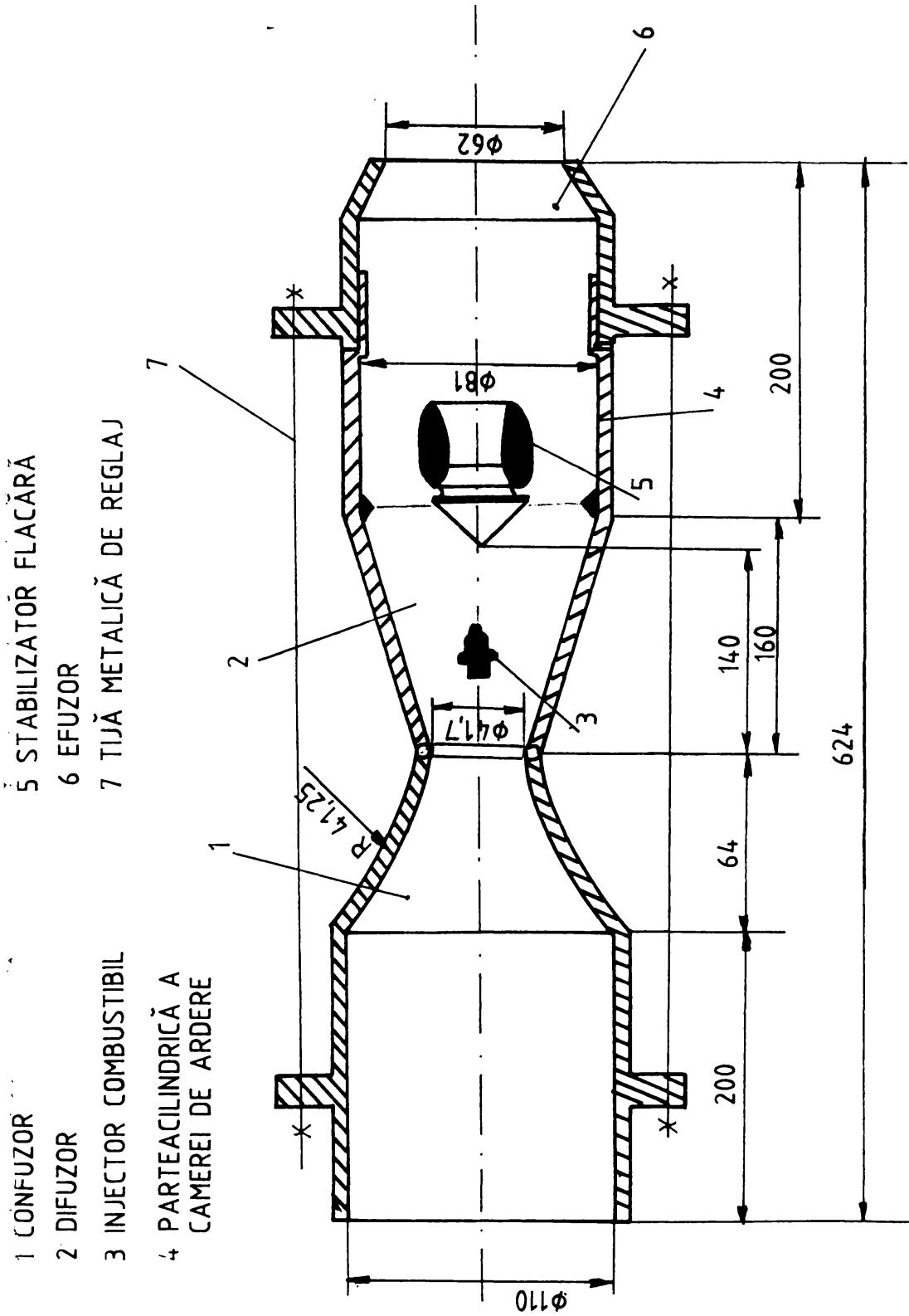


fig. 5.3
 Camera de ardere tubulara utilizata pentru incercarile prezentate in lucrare

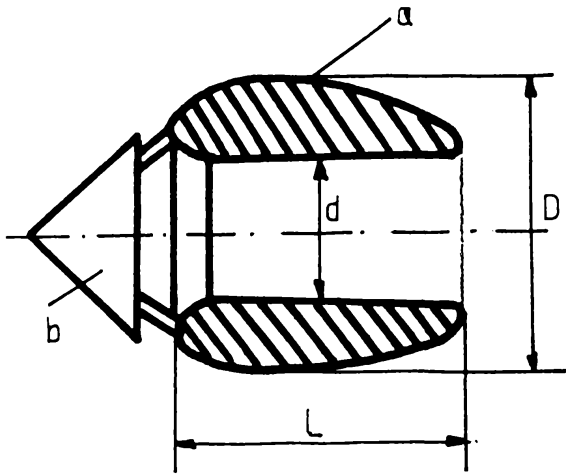


fig. 5.4.
Stabilizator de flacara

Partea cilindrica a camerei de ardere 4 are diametrul $d = 81\text{mm}$ fiind confectionata din stiplex pentru vizualizarea fenomenelor la cercetarile gazo-dinamice. La sfarsitul cilindrului exista un inel intermediar care impreuna cu efuzorul 6 da posibilitatea variatiei lungimii camerei. Cu cat lungimea camerei de ardere este mai mare cu atat gradul de incalzire in camera de ardere este mai mare in interior, respectiv debitul ce strabate camera scade. Lungimea camerei este de 801mm . Efuzorul cu o lungime de 105mm are partea de iesire un con ce se deschide sub un unghi de 35° .

Majoritatea dimensiunilor pentru camera au fost stabilite constructiv de catre autorul lucrarii.

In paralel cu aceasta camera a fost studiata si camera de ardere inelara a turbomotorului TURMO IV C. Forma acesteia prezentata in fig.5.5 confera o alta curgere si amestecare, partea stabilizatorului fiind preluata de forma camerei.

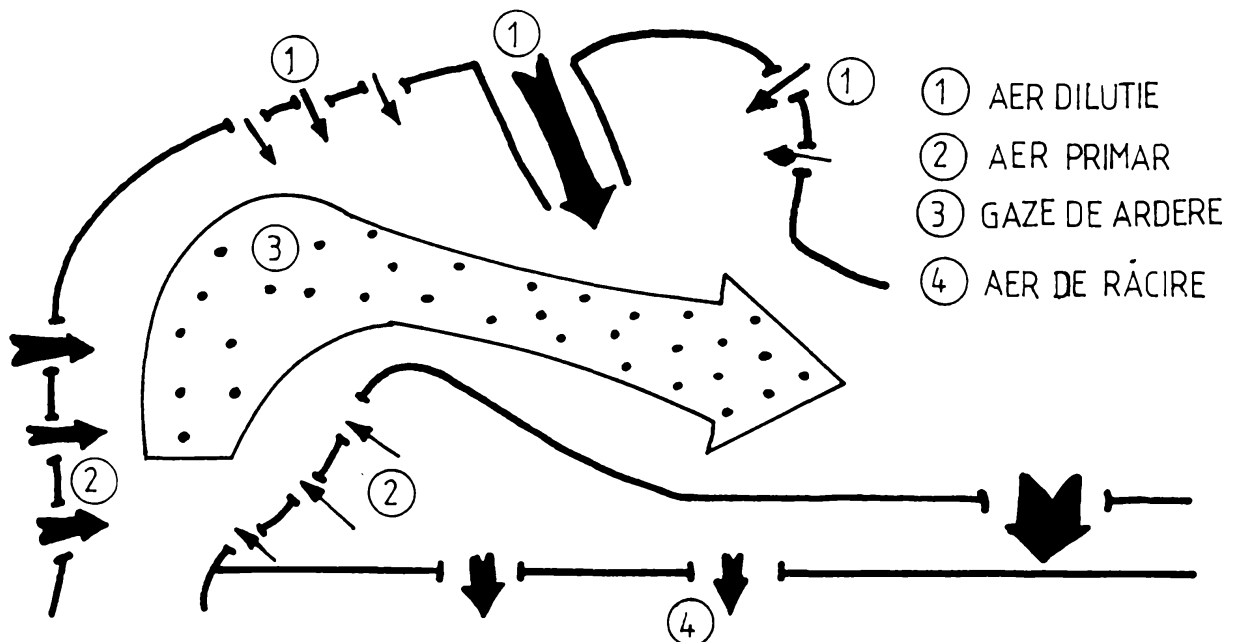


fig. 5.5.
Camera de ardere inelara

5.2. Instalatia de productie a curentului de aer folosita la incercari

Instalatia folosita pentru producerea curentului de aer este prezentata in fig. 5.6 si este compusa dintr-un electrocompresor (1) 2EC 10 antrenat de un motor trifazic

asincron, rezervorul tampon (2), regulatorul de presiune (3), manometrul (5), termometrul (4), diafragma (6), piezometrul diferential cu mercur (10), rezervorul de linistire aer (7).

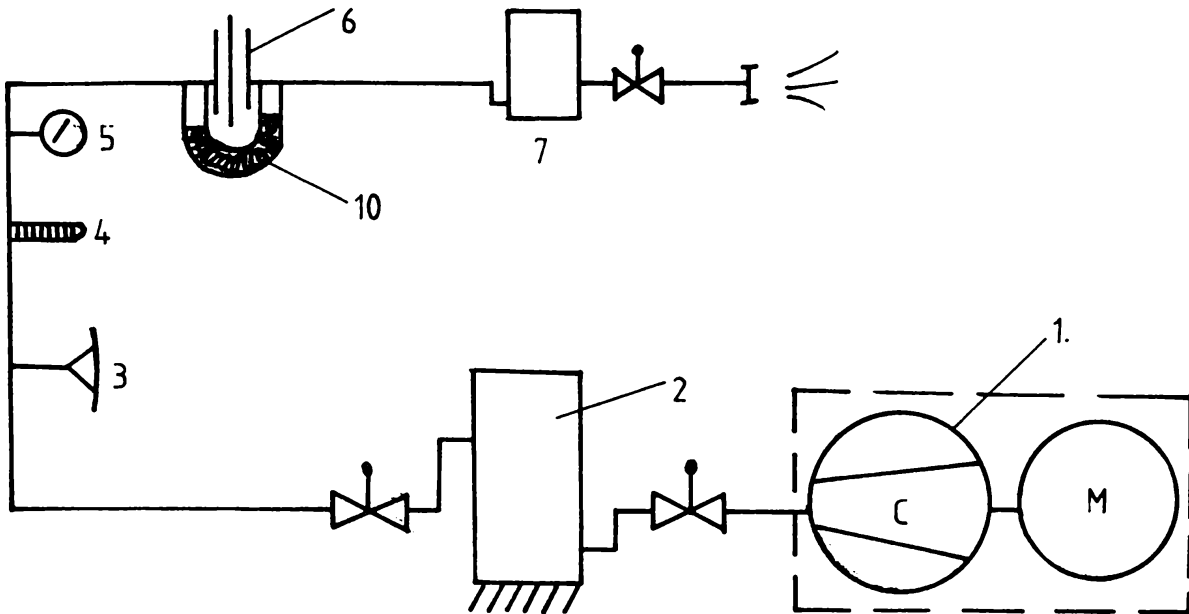


fig. 5.6 Schema instalatiei de producere aer utilizata

Aerul refulat de compresor este trecut printr-un separator de ulei, iar apoi, in rezervorul tampon (2). In continuare aerul intra in regulatorul de presiune (3), dupa care valorile de temperatura si presiune ale aerului sunt citite la termometrul (4) si manometrul (5). Debitul de aer este masurat cu diafragma (6). Pentru amortizarea oscilatiilor presiunii inaintea intrarii aerului in camera de ardere se foloseste un rezervor de linistire (7). Montarea camerei pe stand se face cu ajutorul unei flanse.

5.3. Determinarea vitezei la iesirea din confuzor si a presiunii statice pe lungimea camerei

Pentru aprecierea fenomenelor din camera de ardere se impune cunoasterea parametrilor de stare si a vitezei din sectiunea de iesire din confuzor. Determinarea acestor valori se face pe standul din fig. 5.6.

Valoarea debitului masic al compresorului. Avand montata pe conducta o diafragma se calculeaza debitul cu relatia :

$$\dot{m} = \alpha_d \cdot \epsilon_d \cdot k_t \cdot A_d \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{ul} \cdot \Delta p_d} ; \quad [5.1]$$

coeficientul de debit α_d se calculeaza:

$$\alpha_d = r_d \cdot f_d \cdot \alpha_{0d} ; \quad [5.2]$$

unde:

- α_{0d} - coeficientul de debit initial, se determina functie de raportul m_d

$$m_d = \left(\frac{d_s}{D_{hd}} \right)^2 ; \quad [5.3]$$

cu:

- d_d - diametrul minim al diafragmei

- D_{id} - diametrul conductei inaintea diafragmei
- r_d - coeficientul de corectie pentru rugozitatea conductei
- f_d - coeficientul de corectie care tine seama de neascutirea perfecta a muchiei orificiului diafragmei

coeficientul de compresibilitate a gazului ε_d este o functie

$$\varepsilon_d = f\left(\frac{\Delta p_d}{p_{id}}; m_0\right); \quad [5.4]$$

ce se scoate din [89]

- k_t - factor de corectie pentru dilatarea termica a diafragmei;

se calculeaza cu relatia:

$$k_t = 1 + \alpha_t (t_{id} - 20) \quad [5.5]$$

Celelalte marimi sunt determinate cu $A_d = \frac{\pi d_d^2}{4}$; $\rho_{id} = \frac{p_{id}}{RT}$

Masurand Δp_d si inlocuind in relatia (5.1) se obtine debitul masic al compresorului.

Determinarea vitezei la iesirea din confuzor; Viteza w_1 s-a determinat experimental cu ajutorul sondei Pitot - Prandl, masurandu-se presiunea Δp a curentului pentru sectiunea 1-1 iar apoi s-a calculat cu [5.6]

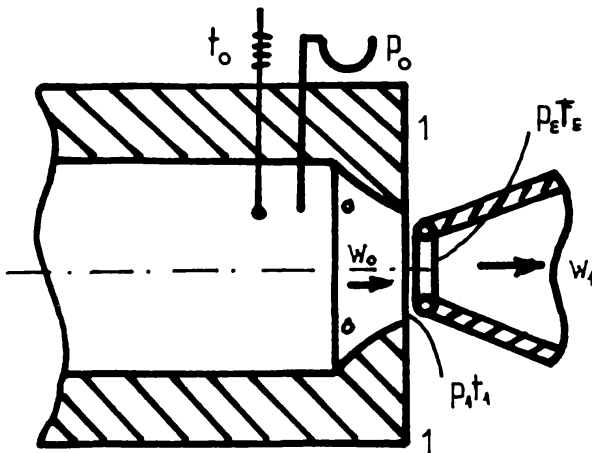


fig. 5.7

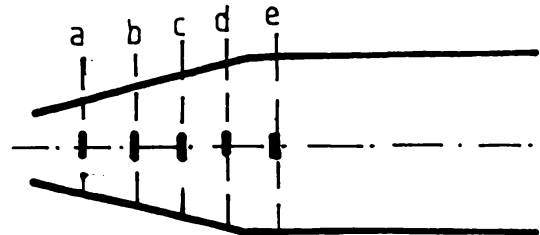


fig. 5.8

Sectiunile de masurare a vitezei

$$w_1 = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_b}} \quad [5.6]$$

$\rho_b = \frac{p_b}{RT_b}$ - unde Δp se determina cu sonda Pitot-Prandl

Prin varierea presiunii din rezervorul tampon cu ajutorul regulatorului se obtin diverse valori a debitului, respectiv a vitezei din confuzor.

Determinarea presiunii statice pe lungimea camerei de ardere fig.(5.10.b). Masurarea s-a facut pentru conditiile de intrare a camerei: presiunea $p_1 = 1\text{bar}$, viteza $w_1 = 100\text{m/s}$, temperatura $T_1 = 298\text{K}$, debitul de aer $\dot{m} = 0,159\text{kg/s}$. Punand standul in functie pe

lungimea camerei din 5mm in 5mm sunt prevazute orificii pentru masurarea presiunii statice. Sectiunile importante sunt (fig.5.8):

- a - sectiunea frontala a injectorului
- b - sectiunea finala a injectorului
- c - sectiunea frontala a stabilizatorului de aprindere
- d - sectiunea finala a conului de imprastiere
- e - sectiunea finala a stabilizatorului principal de flacara

5.4. Instalatia de vizualizare a liniilor de curent cu substante trasoare

Schema instalatiei de incercare prin metoda vizualizarii este prezentata in fig.5.9.

Standul de productie a aerului este cel prezentat anterior, la care s-a adaptat camera de ardere tubulara propusa, din care s-a confectionat o sectiune plana care contine arzatorul si stabilizatorul de flacara avand peretii transparenti din stiplex (fig. 5.10a).

Incarcarile s-au facut la o presiune de $p = 1\text{bar}$ si viteza de intrare in camera de $v = 50\text{m/s}$ cu un debit al aerului de $\dot{m} = 0,1\text{ kg/s}$.

Ca substanta trasoare s-a folosit pulbere colorata de REYLSAN. Pulberea s-a absorbit prin tubul 2 formand un amestec aer-particule care au fost antrenate in camera. Deasemenea pentru vizualizare pe acelasi model s-a folosit fumul ca substanta trasoare produs cu ajutorul instalatiei din fig.5.11 si introdus tot prin 2 in instalatie.

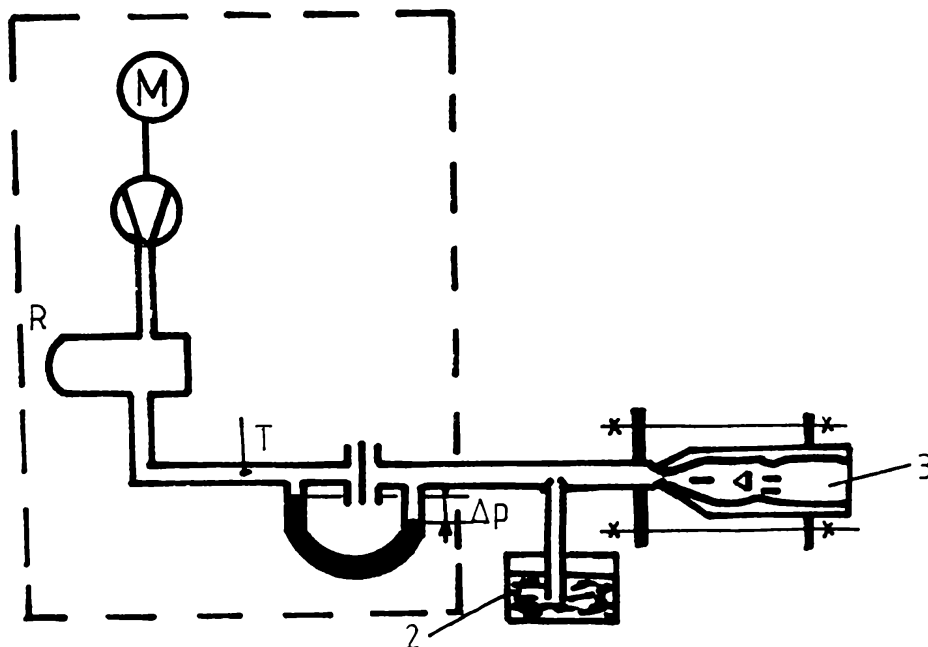


fig. 5.9

Schema instalatiei pentru vizualizarea liniilor de curent cu substante trasoare

Rezervorul R_1 in care este ulei, este tinut sub presiune cu ajutorul aerului introdus prin tubul T si impins inspre R_2 in stare de fum dupa ce a fost ars prin incalzire in tub cu ajutorul rezistentei electrice R_r , prin ajutorul aflat la capatul tubului, dupa care pentru a separa eventualele particule de ulei arse este trecut prin rezervorul R_2 .

In vederea realizarii imaginilor fotografice, in spatele peretelui de stipler a modelului camerei s-a aplicat o sursa de iluminat florescenta cu dispersor pentru a contura cat mai clar fenomenele de curgere (fig. 5.10a)

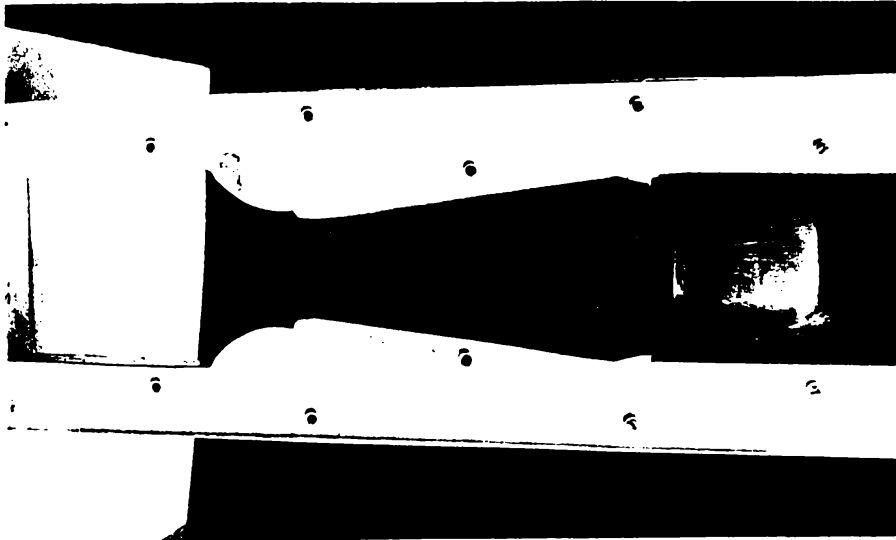


fig. 5.10a

Modelul camerei de ardere pentru vizualizarea liniilor de curent cu substante trasoare

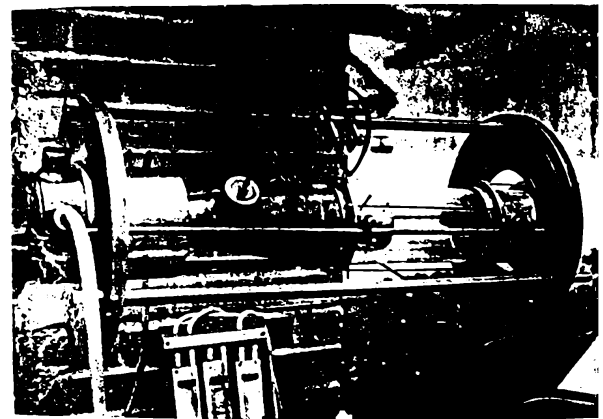
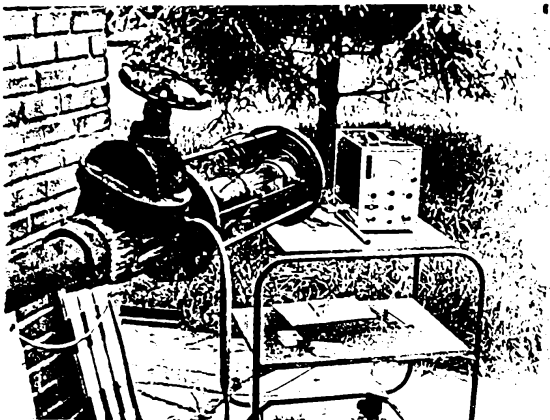


fig. 5.10b

Camera de ardere pentru care s-a facut masuratori de viteza si presiuni pe lungimea ei

5.5. Modelarea electrica a liniilor de curent cu ajutorul hartiei electroconducatoare

Curgerea ideala a aerului prin camera de ardere s-a stabilit cu ajutorul instalatiei din fig.5.12. Instalatia se compune dintr-un model de hartie electroconducatoare H, o sonda de masurare a liniilor echipotentiale s, o sonda de masurare a vitezelor relative

c_i / c și o punte Wheatstone-W, electrozi ce au forma exterioara a camerei de ardere E, respectiv stabilizatorul de flacara.

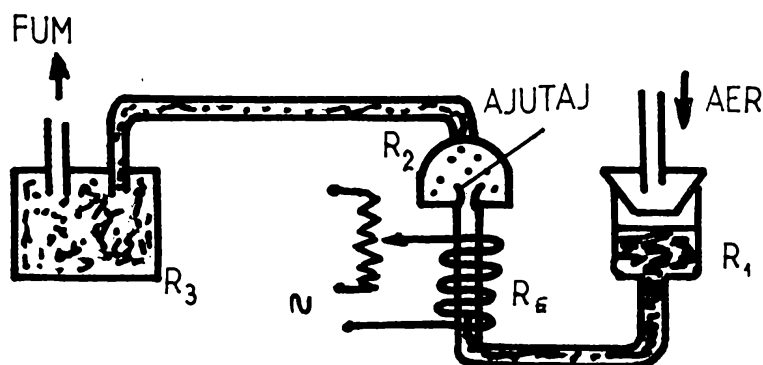


fig. 5.11

Instalatia de producerea fumului pentru vizualizare

Pentru masurari s-a utilizat o punte Wheatstone-Thomson tip RWTh 4.1 cu rezistenta etalon interioara, de curent continuu, pentru valori de rezistente cuprinse intre $10^{-4} \dots 10^{+7} \Omega$. Electrozii sunt din placa de circuit simplu placat cu cupru.

Puntea Wheatstone-Thomson este alimentata cu o tensiune stabila de 9 Vcc și foloseste ca indicator de zero un indicator electronic interior. La echilibrul puntii relatia dintre rezistentele componente permite determinarea valorii unei rezistente conectate la punte in functie de rezistentele cunoscute ale puntii.

Cu ajutorul sondei S fig. 5.12a se palpeaza hartia electroconducatoare. Toate punctele pentru care scala puntii Wheatstone-Thomson indica 0 sunt puncte ale liniei de curent cautate, vitezele se masoara cu o sonda dubla fig. 5.12b. Sonda dubla se aseaza astfel pe hartia electroconducatoare, ca linia de legatura a celor doua varfuri sa fie perpendiculara pe linia de curent.

Tensiunea intre varfuri este proportionala cu viteza din punctul mijlociu al distantei varfurilor.

Hartia electroconducatoare folosita este de tip H Safir de fabricatie germana produsa de firma Carl Schleichen & Schül din Kassel.

Sondele utilizate sunt din material plastic cu varf metalic argintat cu o greutate de $\approx 40\text{gf}$.

In fig. 5.13 sunt prezentate fotografiile ale modelelor și aparaturii utilizate pentru determinari.

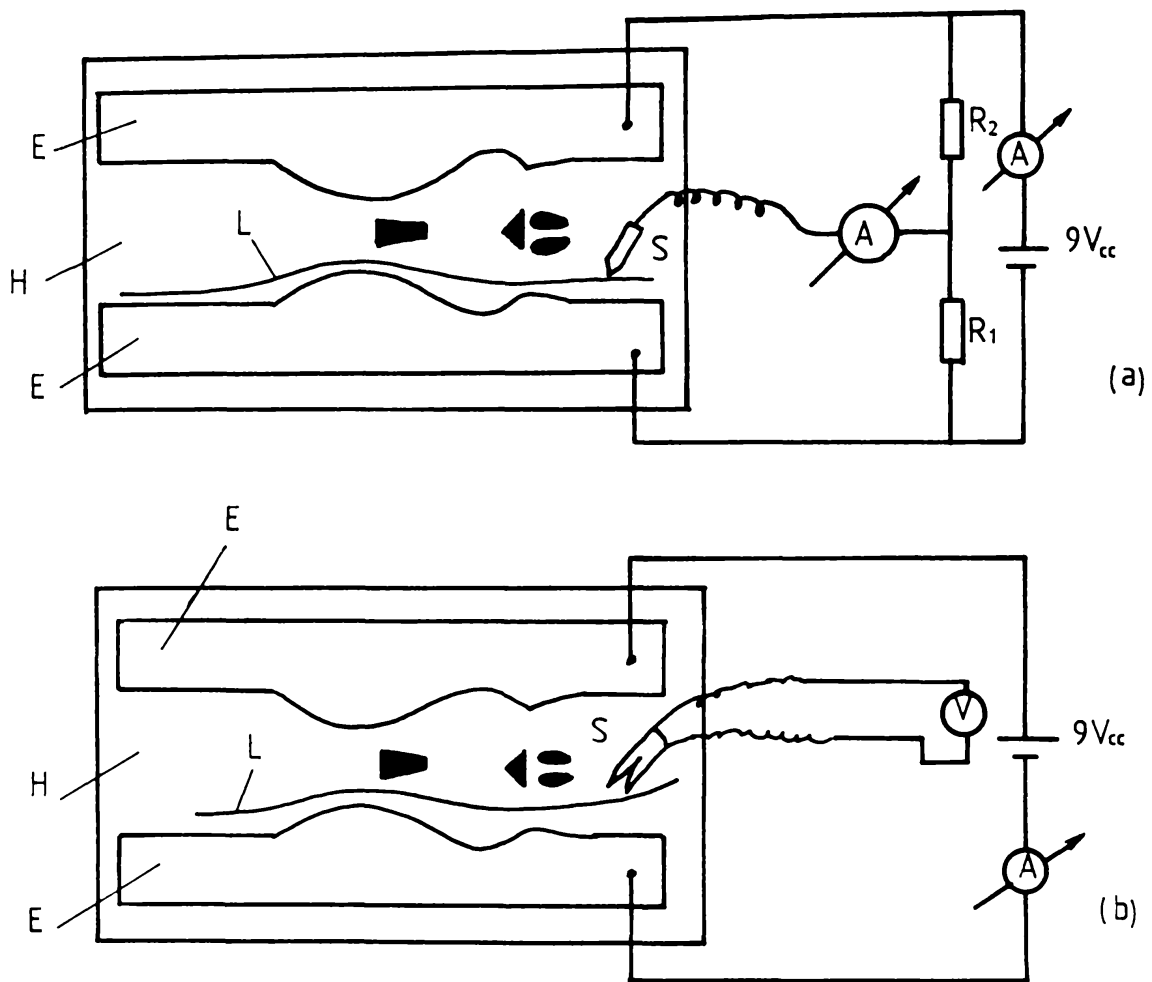


fig. 5.12
 Schema instalatiei modelari cu hartie electroconducatoare

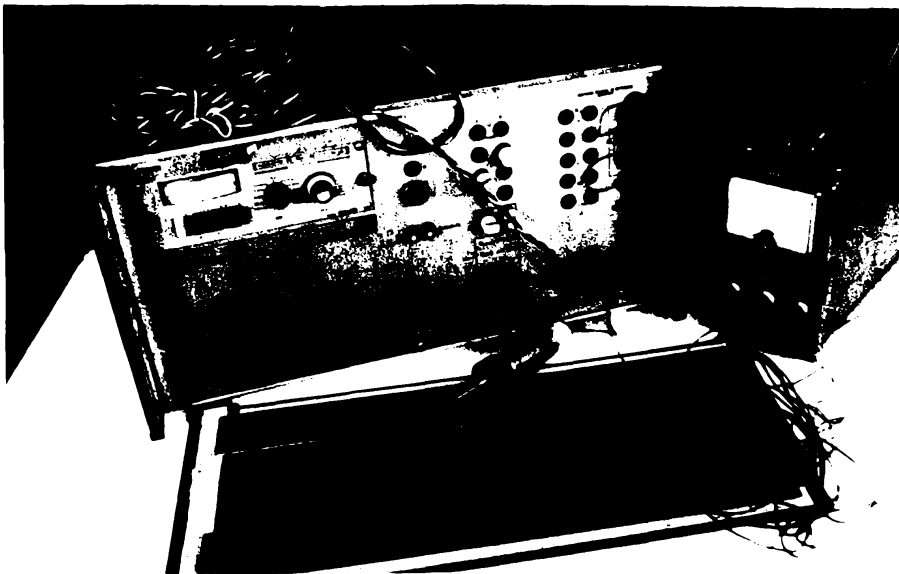
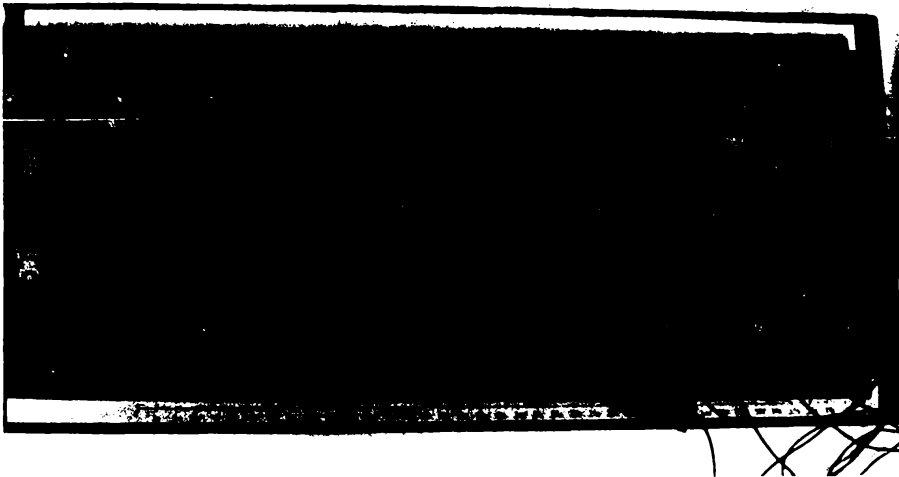
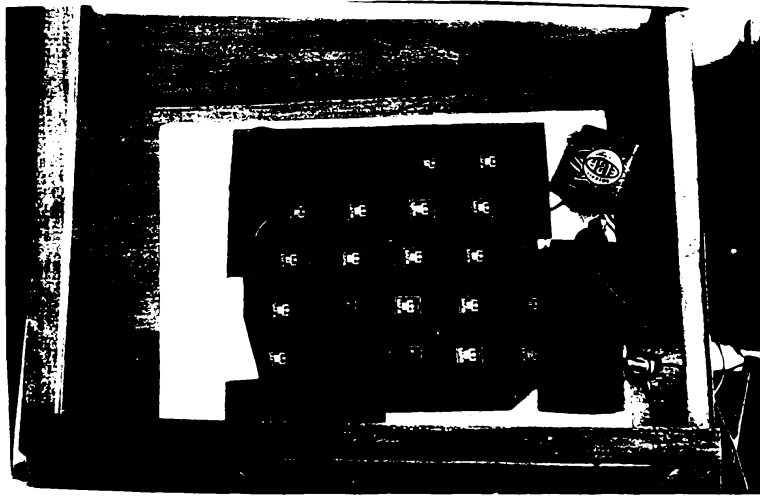


fig. 5.13

Stand de vizualizare a liniilor de curent cu ajutorul hartiei electroconductive

5.6. Instalatia pentru vizualizarea miscarii aerului prin descarcari electrice de frecventa si tensiune foarte inalta

Instalatia pentru incercari si vizualizarea miscarii aerului prin descarcari electrice este descrisa in fig.5.14.

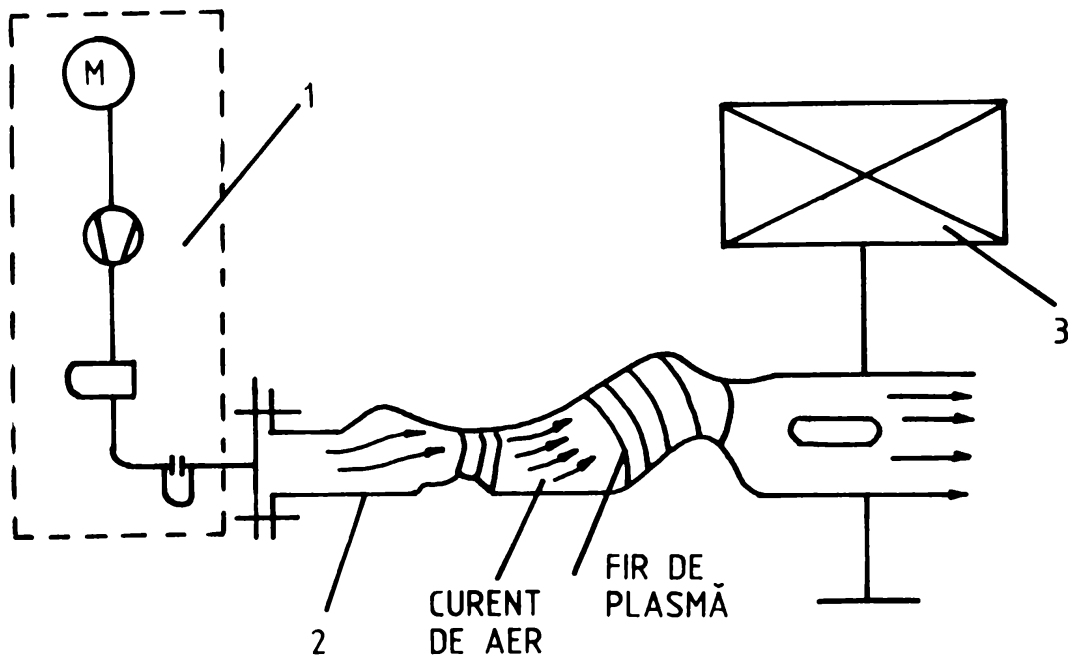
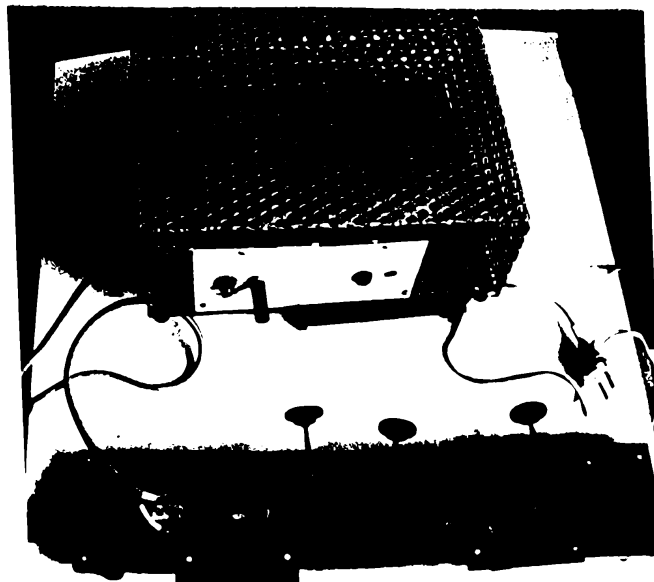


fig. 5.14

Instalatia pentru vizualizarea curgerii aerului in camera prin descarcari electrice de frecventa si tensiune foarte inalta

Aerul este produs prin standul 1 folosit anterior, stand la care s-a adaptat modelul de camera 2, instalatia de producere a impulsurilor de frecventa si tensiune 3. Pentru a putea avea descarcari puternice s-a luat in considerare stabilirea pe modelul de camera numai jumătate din camera, avand in vedere simetria camerei. Peretii s-au confectionat din platbanda de cupru, care descriu exact forma camerei, sectiunea aleasa pentru camera fiind plana, incadrarea conturului camerei s-a facut cu stiple transparent pentru a putea fotografia descarcările. Generatorul de impulsuri electrice de tensiune si frecventa utilizat are posibilitati de reglare a frecventei 10 - 20 KHz. Incercarile au fost facute pentru diverse valori a vitezei aerului $v = 10...50$ m/s variind tensiunea de descarcare cat si frecventa 10...20KHz.

În fig. 5.15 este prezentata fotografia instalatiei utilizate.



5.7. Aparatura folosita si precizia de masurare

Incarcarile pe modele au fost facute pentru diverse regimuri de curgere a aerului fiind efectuate cate trei seturi de masuratori, pentru fiecare regim s-au folosit:

- pentru masurarea presiunii aerului, manometru cu domeniul 0-12 bar clasa de precizie 0,6 respectiv piezometru diferential cu apa cu o precizie de 1%;
- pentru masurarea temperaturii, termometru cu mercur 0 ... 100°C cu precizia $\pm 0,5\%$;
- pentru masurarea debitului de aer, s-a utilizat diafragma cu precizia de masurare de 1,5%.

Pentru modelele analogice electrice s-au masurat:

- rezistente electrice in curent continuu cu puntea Wheatstone-Thomson, cu rezistenta etalon interioara de curent continuu tip RwTh 4.1 cu domeniul $10^{-4} \dots 10^7 \Omega$ avand clasa de precizie 0,1.
- sursa de alimentare stabilizata in curent continuu pentru valori de tensiune 0-24 Vcc cu clasa de precizie 0,1;
- aparat de masurare a tensiunii si curentului in clasa de precizie 0,1.

6. Interpretarea rezultatelor cercetării experimentale

Cu ajutorul instalațiilor de încercare descrise anterior s-au executat încercări aplicative asupra miscării organizate și a pierderilor gazodinamice a aerului în camera de ardere a turbomotorului ținând cont de aprinzătorul și stabilizatorul de flacără pentru camera de ardere utilizată de autor. Curgerea idealizată a aerului în camera s-a studiat cu modelarea electrică iar cea reală prin diverse metode de vizualizare. Aceste rezultate calitative au indicat acele porțiuni constructive ale camerei prin care se pot acționa asupra pierderilor gazodinamice și asupra miscării organizate aer + combustibil în camera.

6.1. Rezultatele experimentale prin modelarea electrică cu hartie electroconductive a curgerii.

Valorile încercărilor făcute pe camera de ardere utilizată de autor ținând cont de injectorul de combustibil și de stabilizatorul de ardere sunt prezentate în fig. 6.1.

Plecând de la secțiunea transversală a camerei de ardere s-au ales opt puncte (I.....VIII) echidistante față de axa de simetrie a camerei pentru care în urma încercărilor s-a trasat alura liniilor de curent pentru secțiunea longitudinală a camerei. De asemenea s-au stabilit de la secțiunea transversală A-A a confuzorului, 7 puncte de interes pentru măsurători A, B,F, G pentru care s-au determinat valorile vitezelor pentru o secțiune transversală pe axa camerei fig.6.1a. Profilul vitezelor și a presiunii statice în secțiune longitudinală este prezentat în fig. 6.1b și c. În secțiunea transversală A-A valoarea vitezei începe să crească, în secțiunea B-B valoarea rămâne constantă pe axa camerei, în schimb spre pereții camerei tinde spre o creștere astfel încât profilul vitezei în secțiunea C-C devine zero pe axa de simetrie. Secțiunea D-D conferă valori negative în zona axei de simetrie și valori mici de curgere spre pereții camerei. Valorile negative ale vitezei confirmă zone de întoarcere și curgere inversă. Acest fenomen se constată și în secțiunile E-E și F-F pentru profilul vitezelor.

Se poate concluziona că, în dreptul aprinzătorului de flacără apar desprinderi de curent, desprinderi care în dreptul conului de împrăștiere devine maximă creând zone de întoarcere a curentului cu viteze mici de circulație a aerului.

De asemenea în stabilizatorul principal sub formă de tor și în spatele lui se creează o zonă de depresiune care permite circulația aerului în sens invers.

Valoarea presiunii aerului crește de la intrarea în difuzor după care din zona stabilizatorului de flacără scade până la ieșirea din camera. S-a constatat că soluția utilizată pentru stabilizatorul de flacără mai ales conul de împrăștiere construit tangent la profilul stabilizatorului principal, alimentează zona turbionară din spatele lui dar nu permite intrarea aerului direct în tor, creând zonă de recirculație.

Determinările pentru camera inelară s-au făcut pentru trei orificii de intrare a aerului, determinându-se liniile de curgere și profilul vitezelor fig. 6.2, 6.3, 6.4.

Pentru liniile de curent în număr de șase notate de la (I.....VI) s-au stabilit șapte plane transversale (a, b,f, g).

Din analiza valorilor vitezei se constată că, liniile din curent cu intrare în camera cât mai aproape de injector (A) au o creștere de viteză până în planul de secțiune b după care urmează o scădere de viteză cu zone de întoarcere aproximativ până la planul d

dupa care urmeaza o crestere a vitezei. Liniile de curent cu intrare la mijlocul peretelui frontal (B) conduc la o turbionare intre planurile de sectiune a si b. Intrarea aerului prin orificiile c produc o puternica turbionare intre planurile d-f. Pentru camera de ardere inelara compacta a turbomotorului TURMO IVC intre planurile transversale b.....f pe toata sectiunea de intrare apare o puternica zona turbionara cu viteze mici de curgere, viteza incepand sa creasca abia la iesirea din camera.

6.2. Rezultatele experimentale obtinute prin vizualizarea curentilor cu substante trasoare

Din analiza fig. 6.5 obtinute la vizualizarea miscarii aerului in camera prin urmele lasate de substanta trasoare Rylsan si fum, se constata o indesare a liniilor de curent in punctul A fig. 6.6a ducand la o crestere semnificativa a vitezei curentului in punctul B si creand o depresiune in interiorul torului fapt ce produce o circulatie aproximativ de elipsa in jurul stabilizatorului. La inceputul curgerii apare linia Karman, intrucat fluidul are tendinta sa ia forma curgerii fara frecare (fig. 6.6b,c), abia dupa formarea stratului limita turbionul se mareste. La o continua marire, turbionul care se formeaza, va fi impins de curgerea principala spre interiorul stabilizatorului. Interesant este faptul ca un alt turbion ii ia locul in spatele stabilizatorului. Miscarea ordonata de formare a turbioanelor inceteaza in momentul in care stratul limita laminar se transforma intr-un strat limita turbulent. In urma incercarilor cu particole trasoare s-a determinat punctul de stagnare din spatele stabilizatorului, masurat la 30mm pe axa de simetrie a camerei fata de stabilizator.

6.3. Rezultatele vizualizarii curentilor de curgere prin descarcari electrice de frecventa si tensiune foarte inalta

Incercarile au fost facute numai pentru zona stabilizator de flacara si peretele unde are loc o circulatie intensa si la o viteza ridicata. Determinarea vitezei de curgere a aerului pentru aceasta zona, avand cunoscut timpul dintre doua scantei si spatiul de deplasare a plamei se face pe baza fotografiilor fig. 6.7.

6.4. Valorile masuratorilor presiunii statice de-a lungul camerei de ardere

Valorile presiunii statice masurate pentru camera tubulara (cap. 5.1) sunt reprezentate in fig. 6.8 impreuna cu sectiunile transversale din camera de ardere pentru care s-au facut determinarile.

Se constata o crestere brusca a presiunii de la valoarea 942 N/m^2 cat are in sectiunea de intrare a difuzorului pana la nivelul sectiunii "a", dupa care cresterea este mai lina atingand valoarea maxima de 4316 N/m^2 in zona cuprinsa intre injector si conul de imprastiere a stabilizatorului de flacara.

Valorile presiunii intre sectiunile b, c, d, e prezinta crestere si descresteri datorita constructiei stabilizatorului de flacara, dupa care are loc o scadere continua de presiune in spatele stabilizatorului de flacara, aproximativ dupa alura unei drepte. De-a lungul diuzei de destindere D suprapresiunea scade dupa alura unei parabole. Lungimea dintre diuza de descarcare si spatele stabilizatorului poate fi modificata.

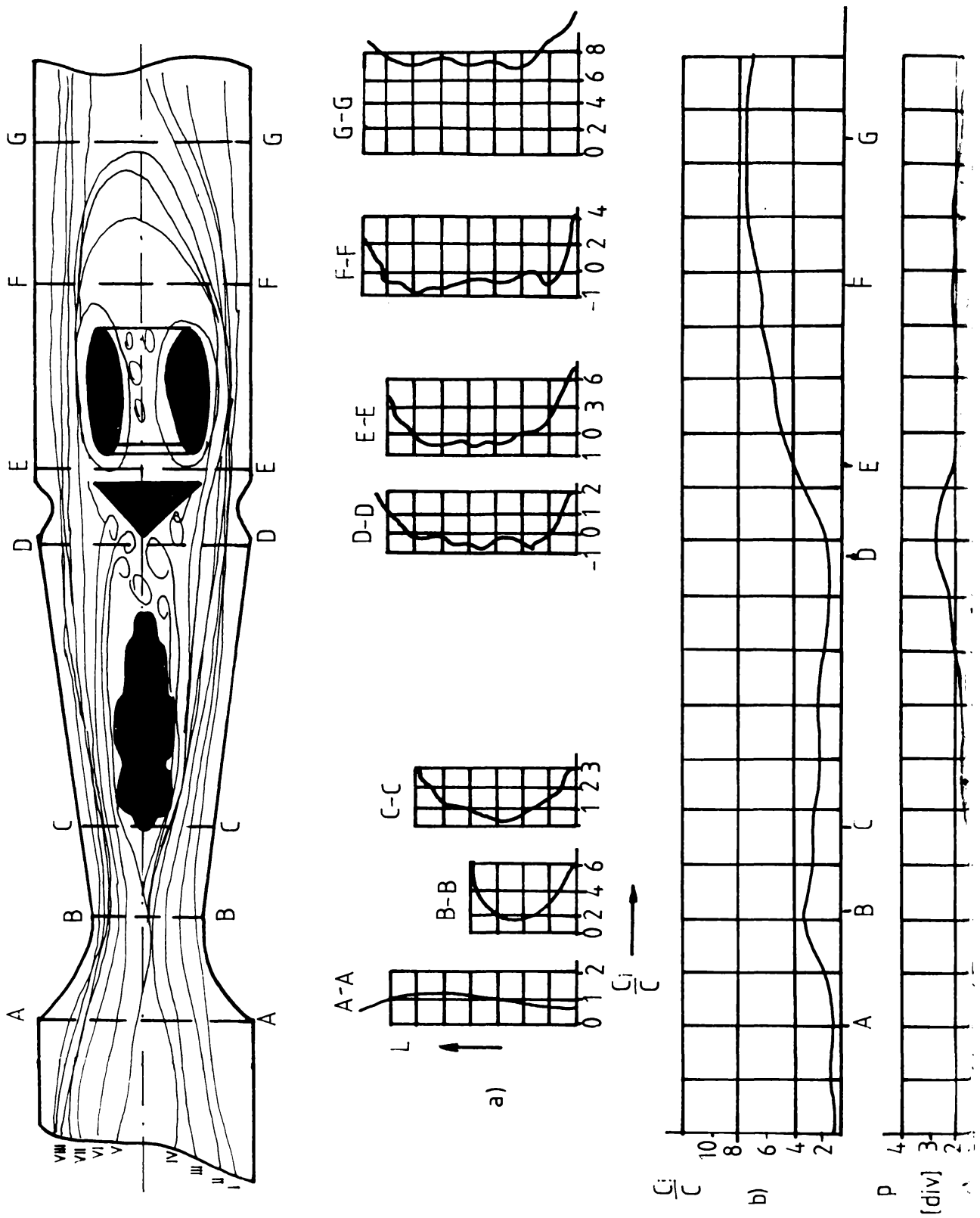


fig. 6.1

Profilul vitezei și a presiunii statice pentru camera de ardere tubulară cu stabilizator de flacără și aprinzător

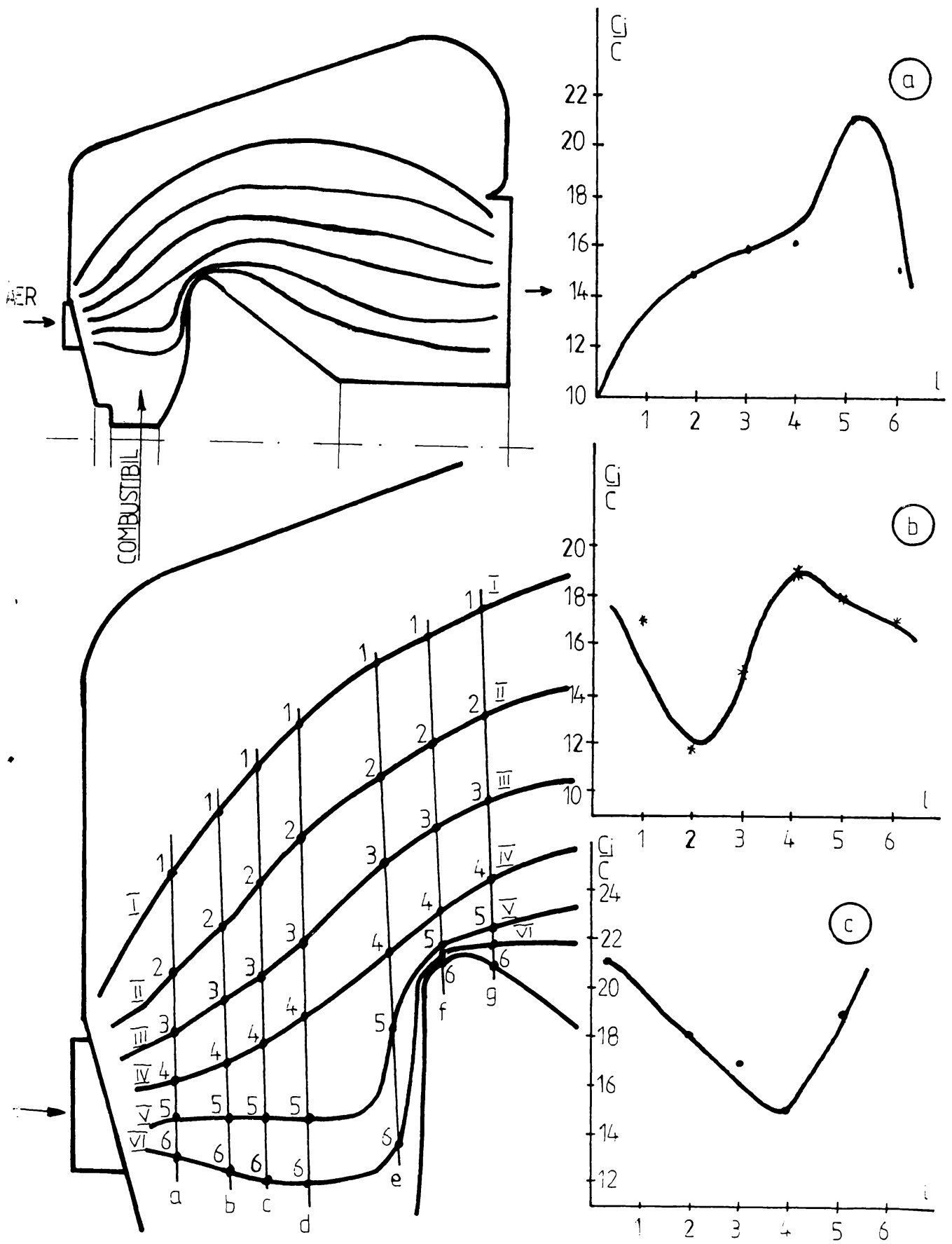


fig. 6.2.a
 Profilul vitezelor si a liniilor de curgere pentru camera de ardere inelara

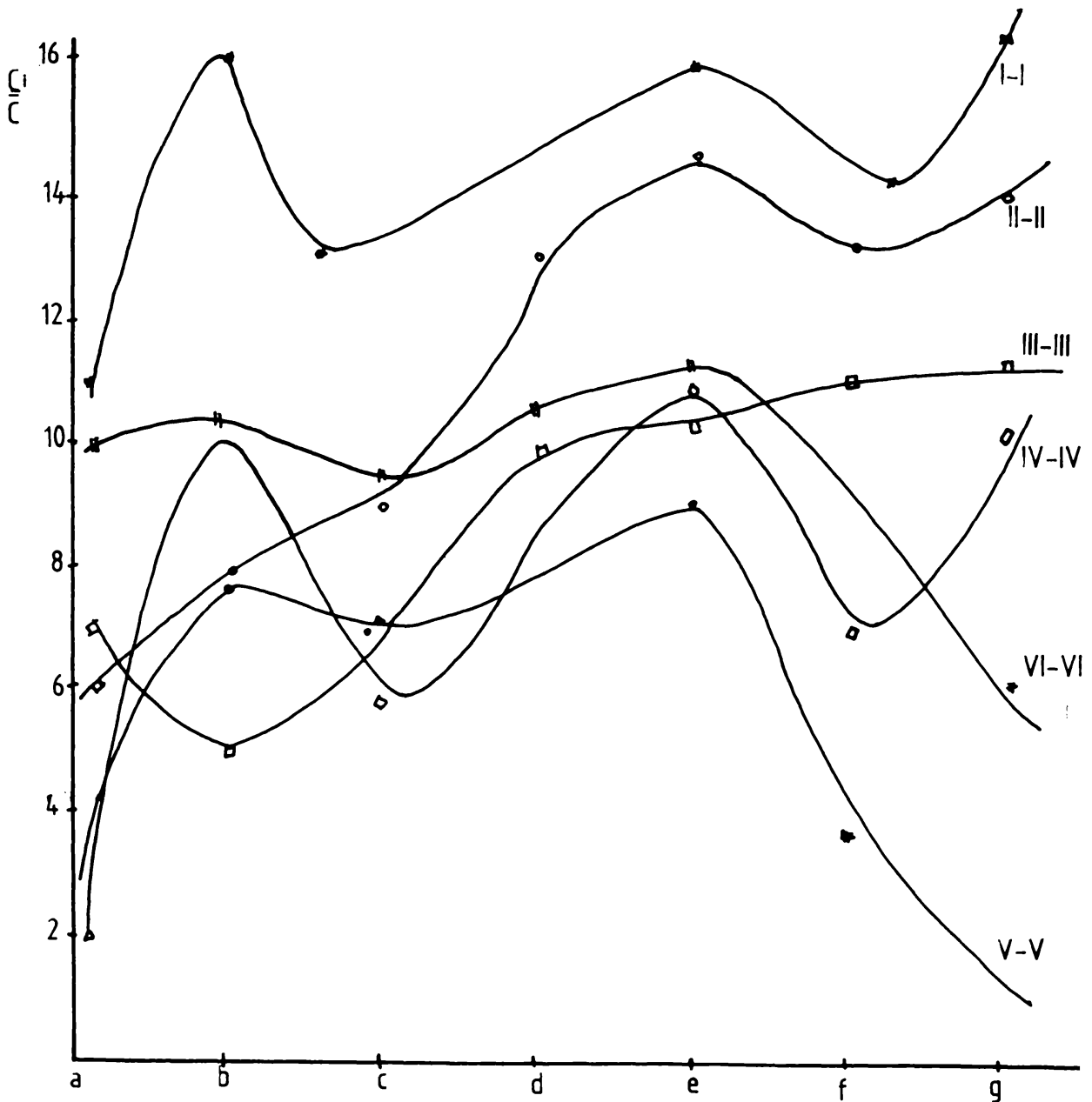
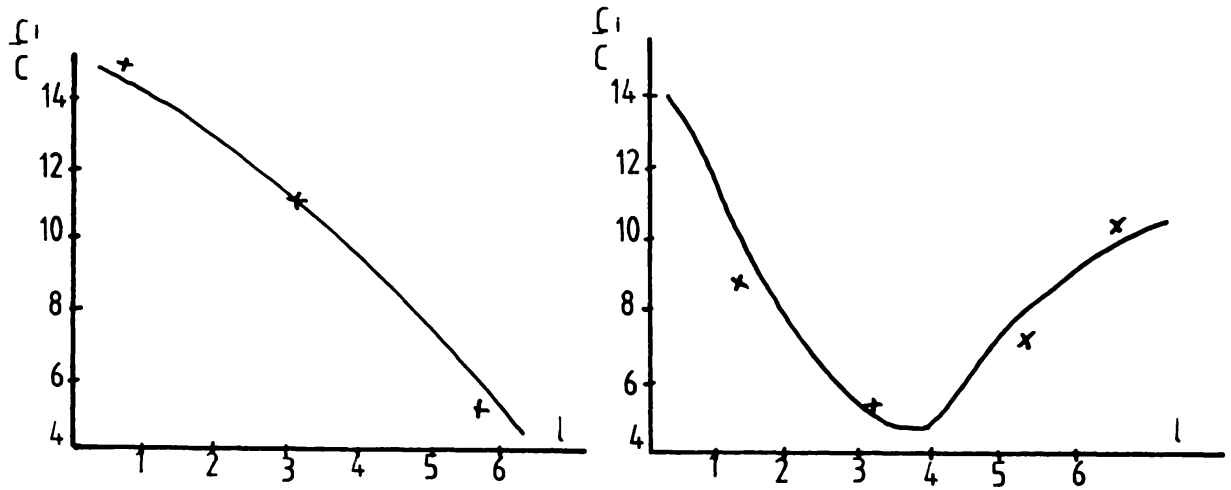


fig. 6.2.b

Profilul vitezelor si a liniilor de curgere pentru camera de ardere inelara

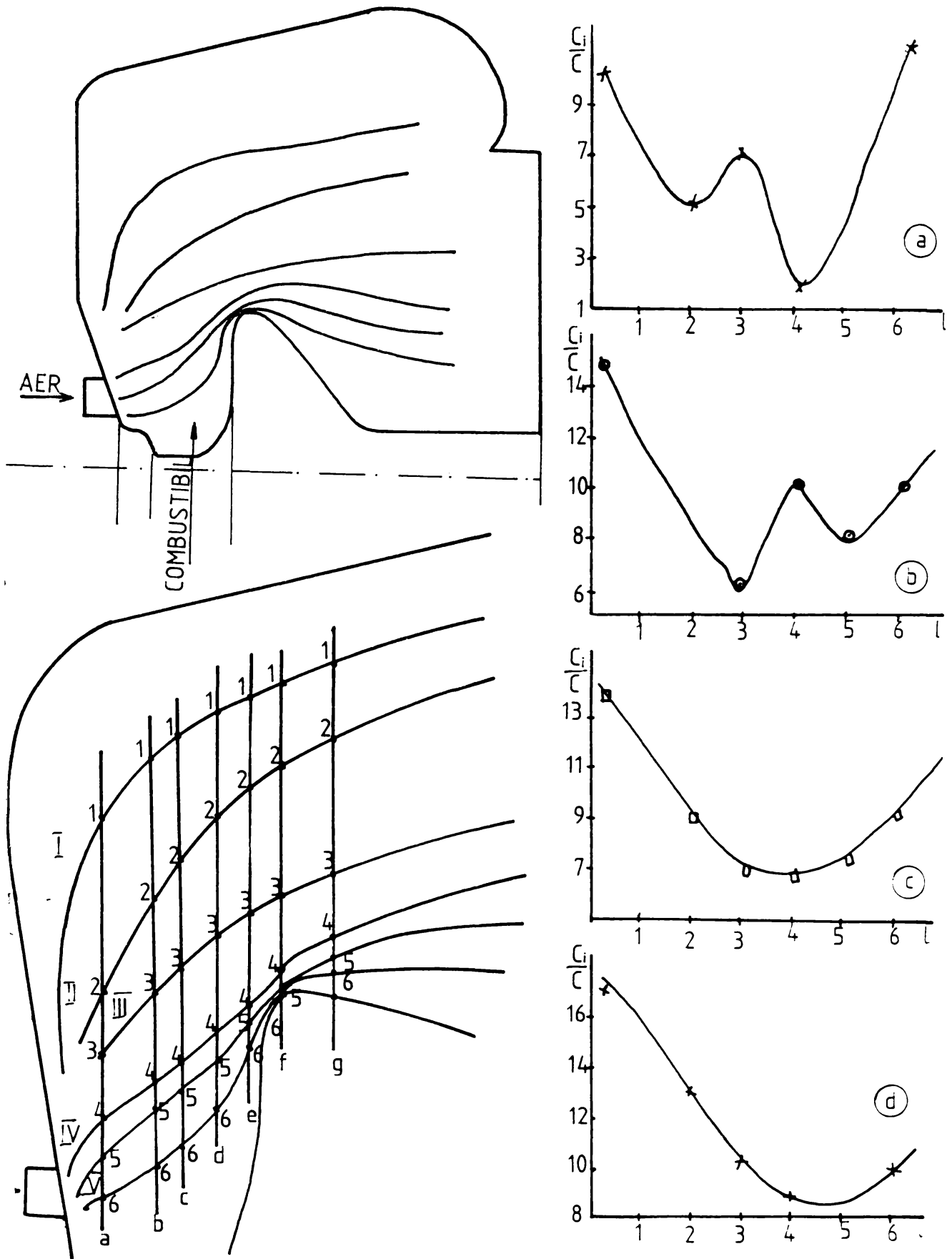


fig. 6.3.a

Profilul vitezelor si a liniilor de curent pentru camera de ardere inelara

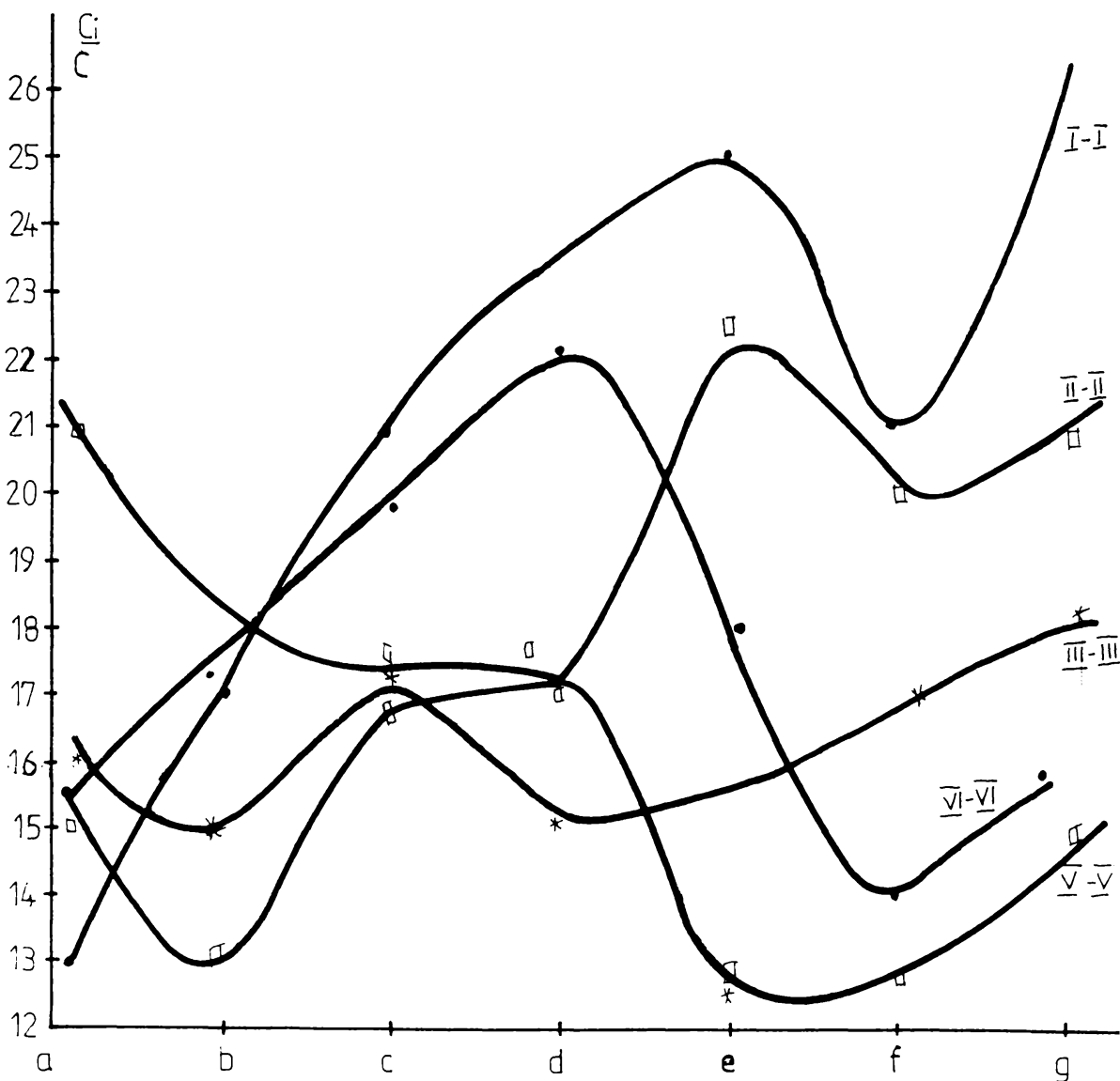
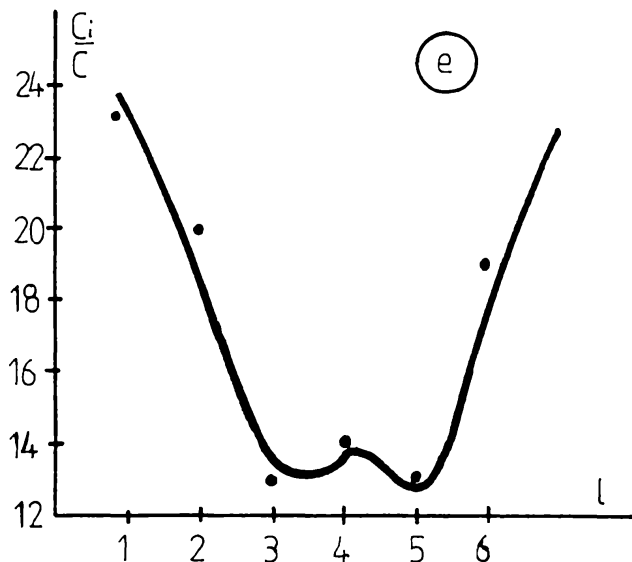
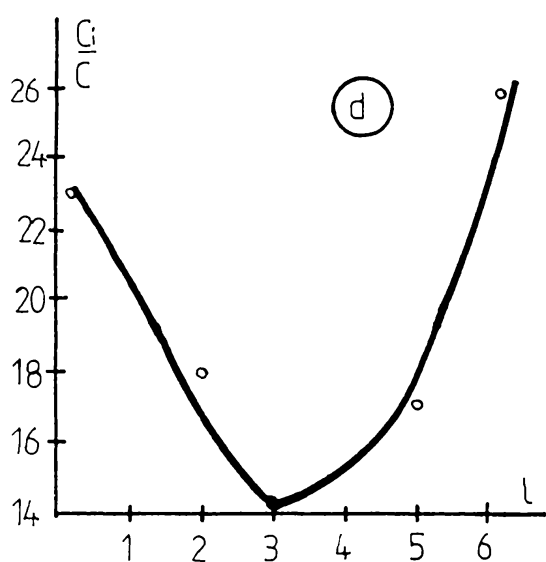


fig. 6.3.b

Profilul vitezelor si a liniilor de curent pentru camera de ardere inelara

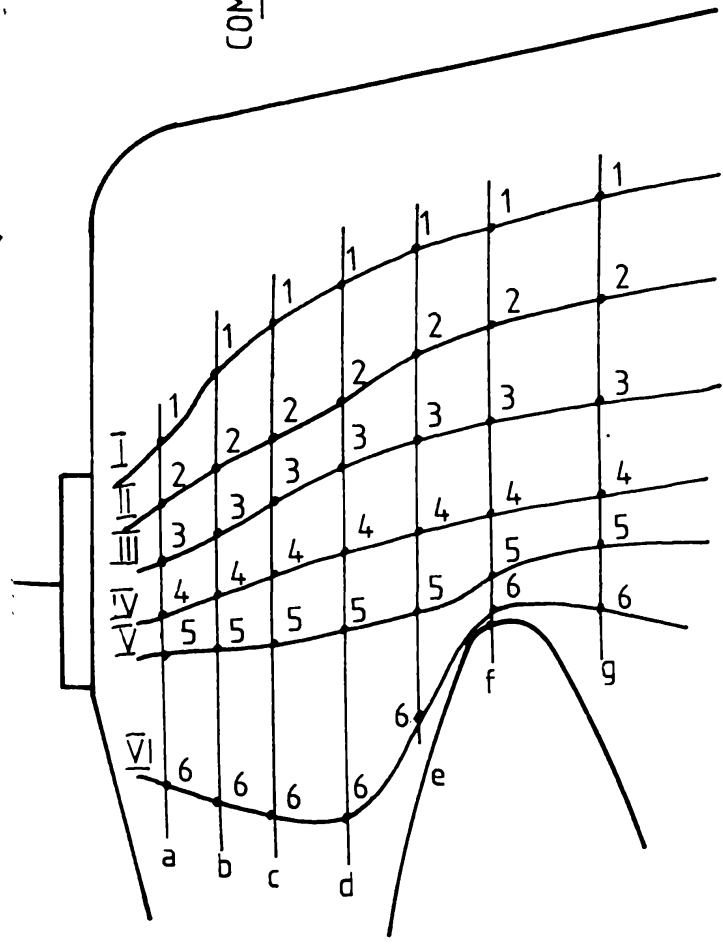
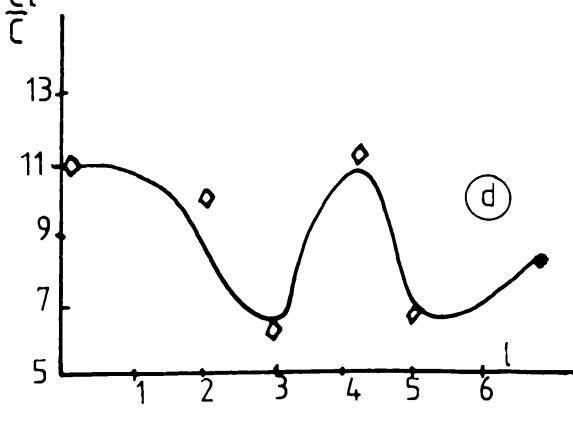
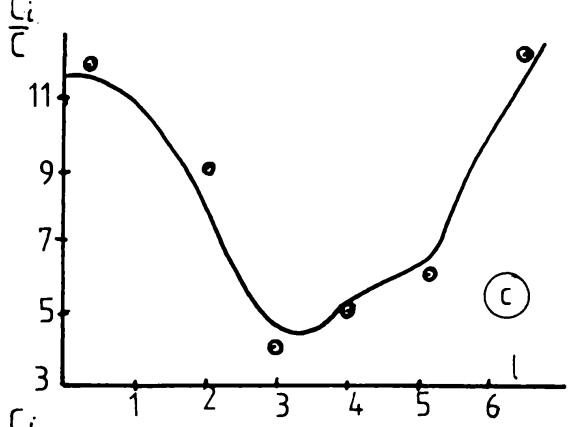
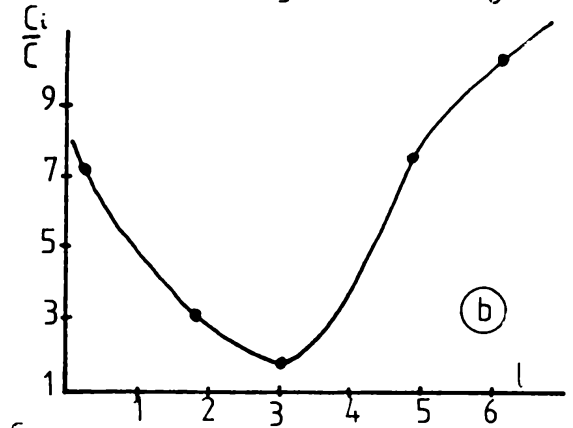
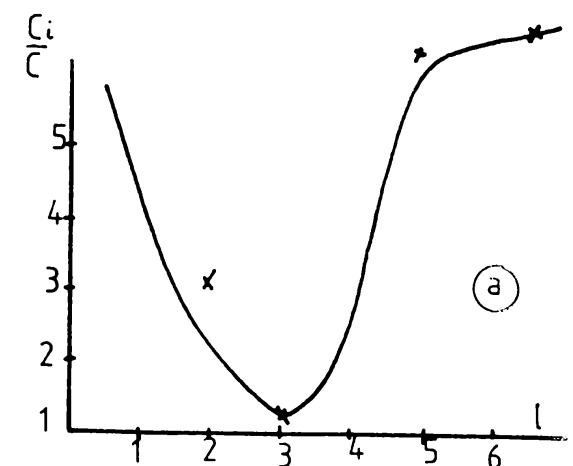
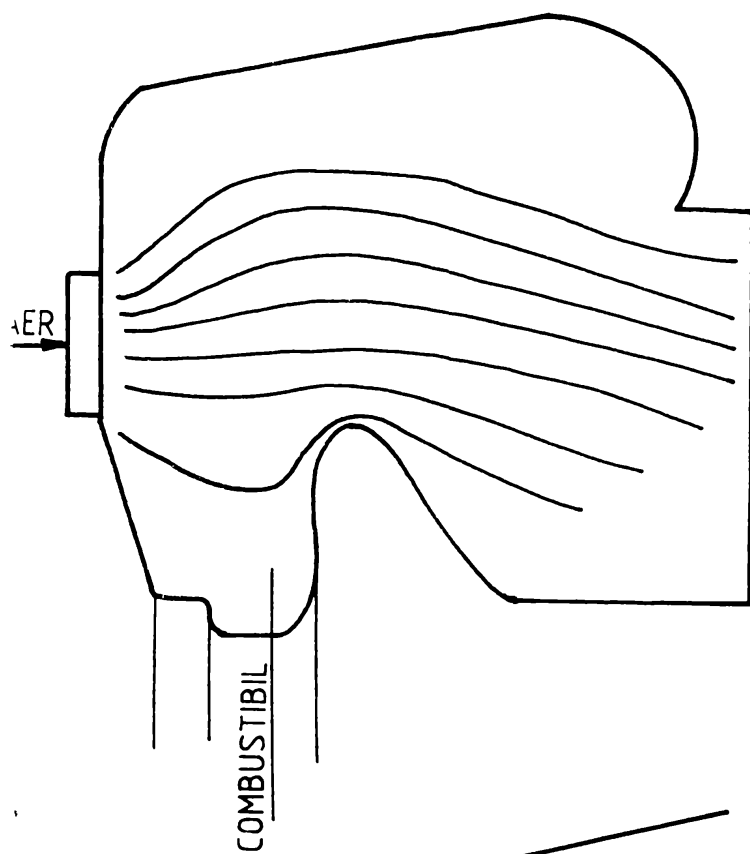


fig. 6.4.a
 Profilul vitezelor si a liniilor de curent pentru camera de ardere inelara

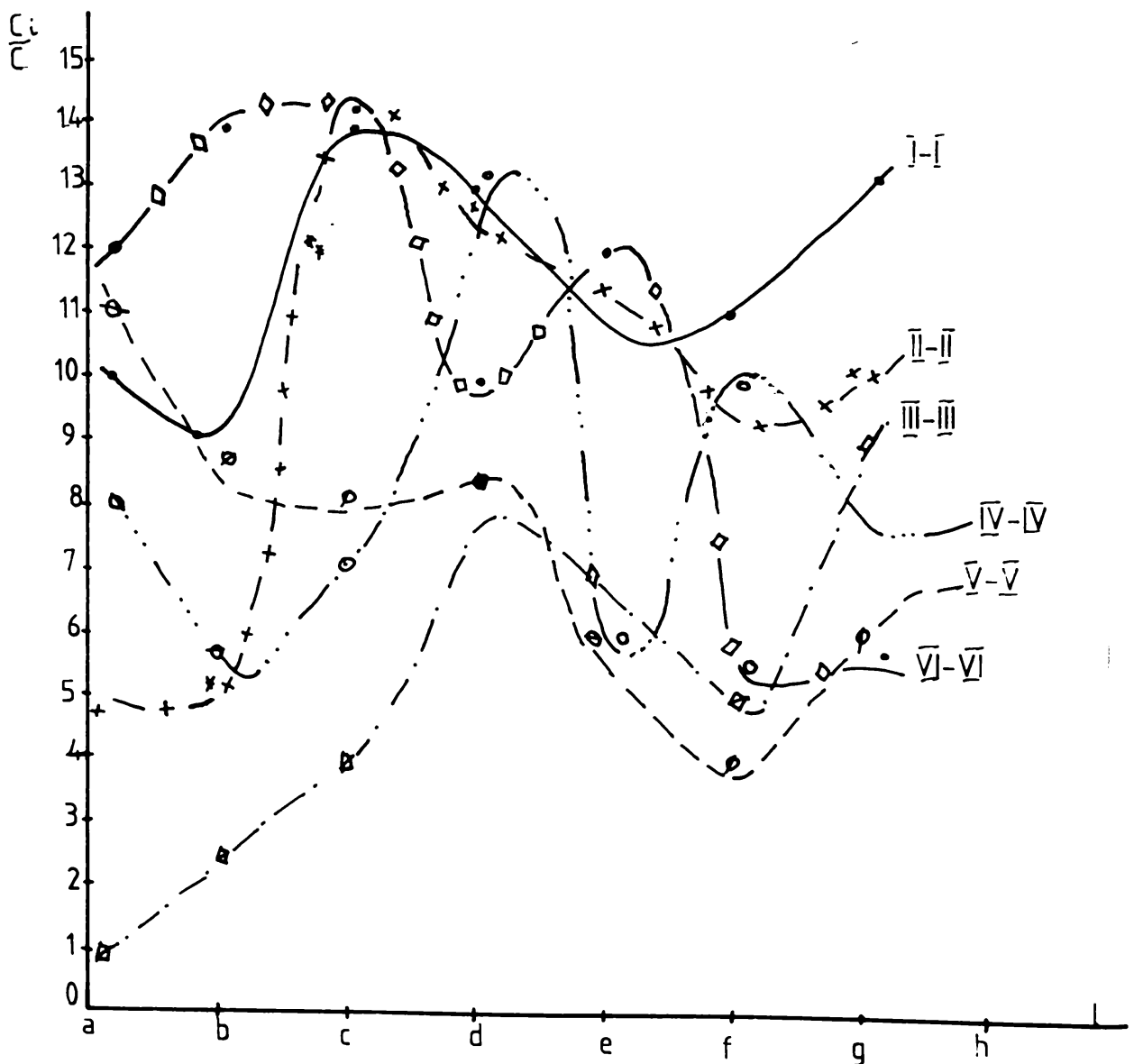
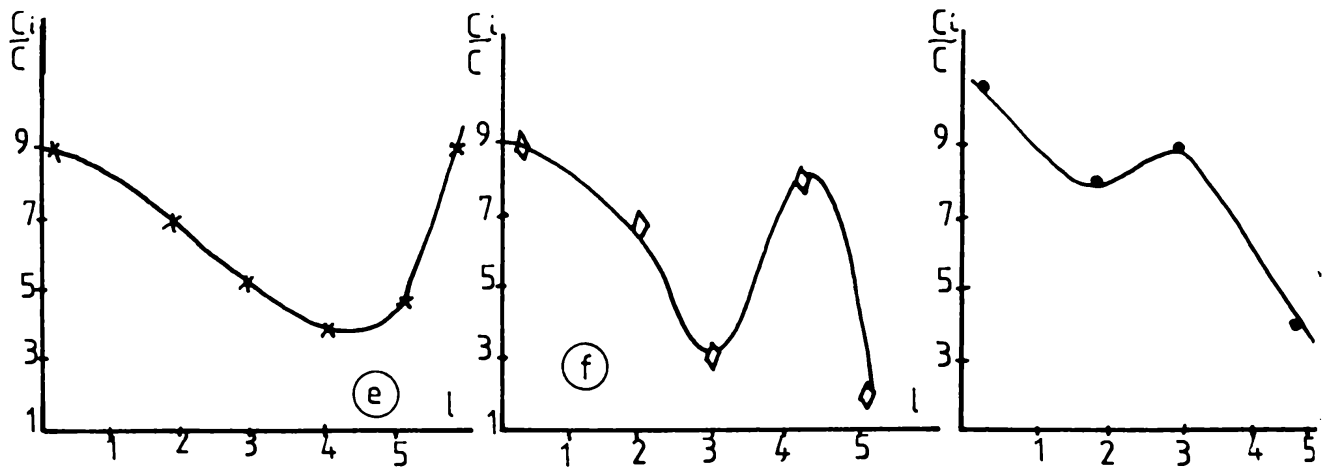


fig. 6.4.b
 Profilul vitezelor si a liniilor de curent pentru camera de ardere inelara

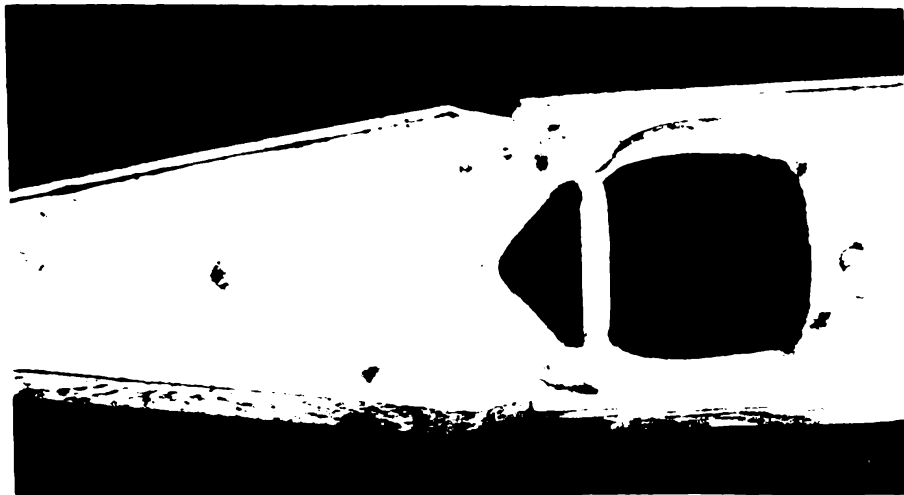
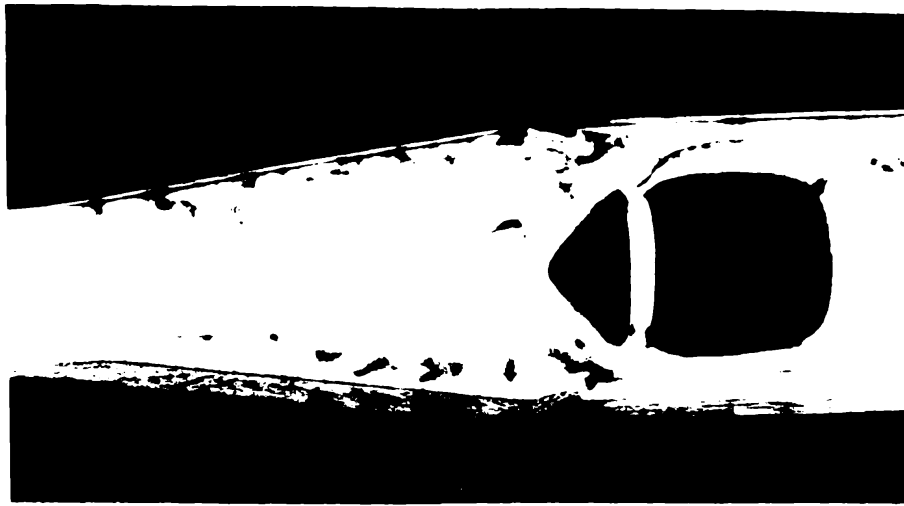


fig. 6.5

Miscarea aerului in camera de ardere studiata prin urmele lasate de substante trasoare

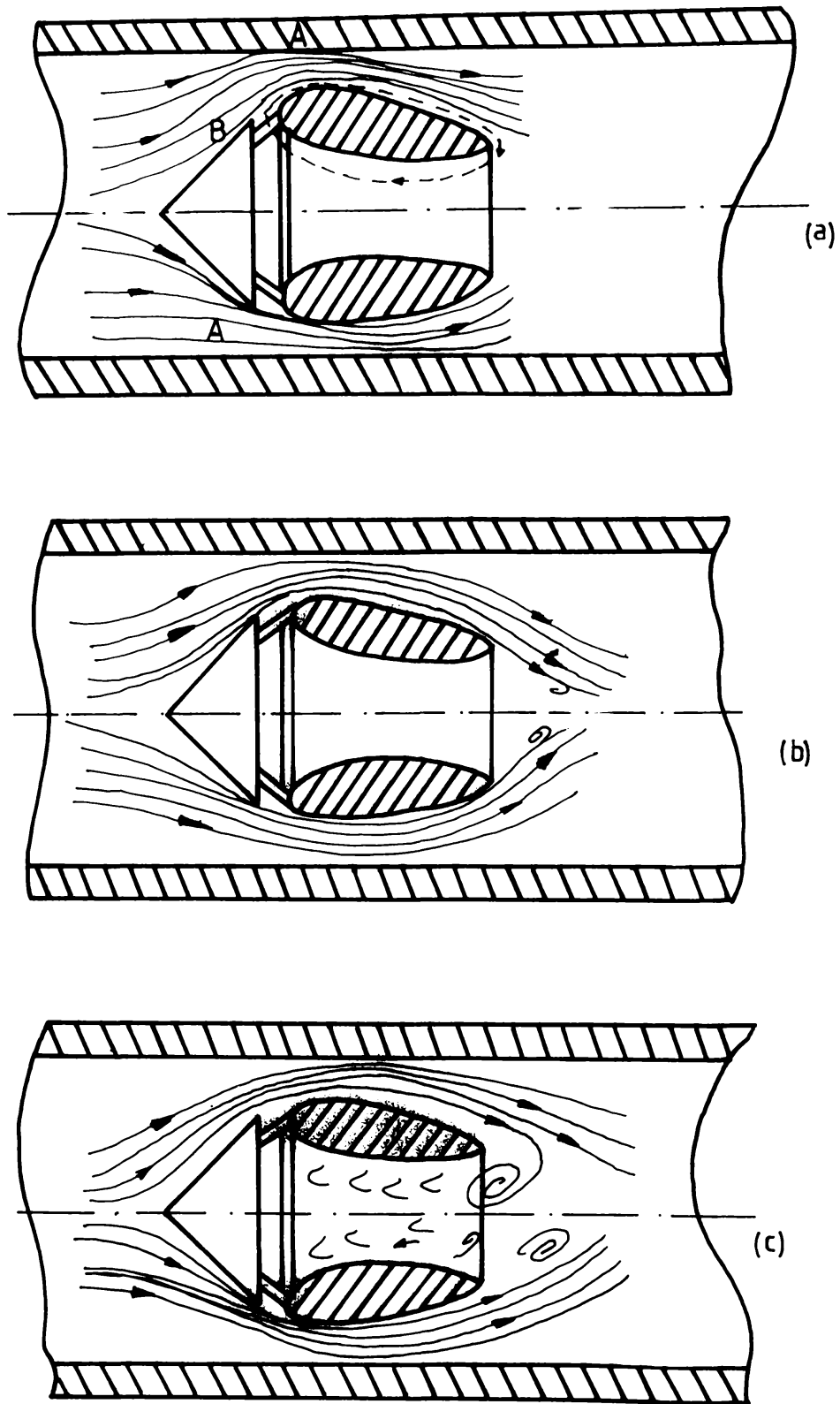


fig. 6.6
 Profilul liniilor de curent in jurul stabilizatorului de flacara

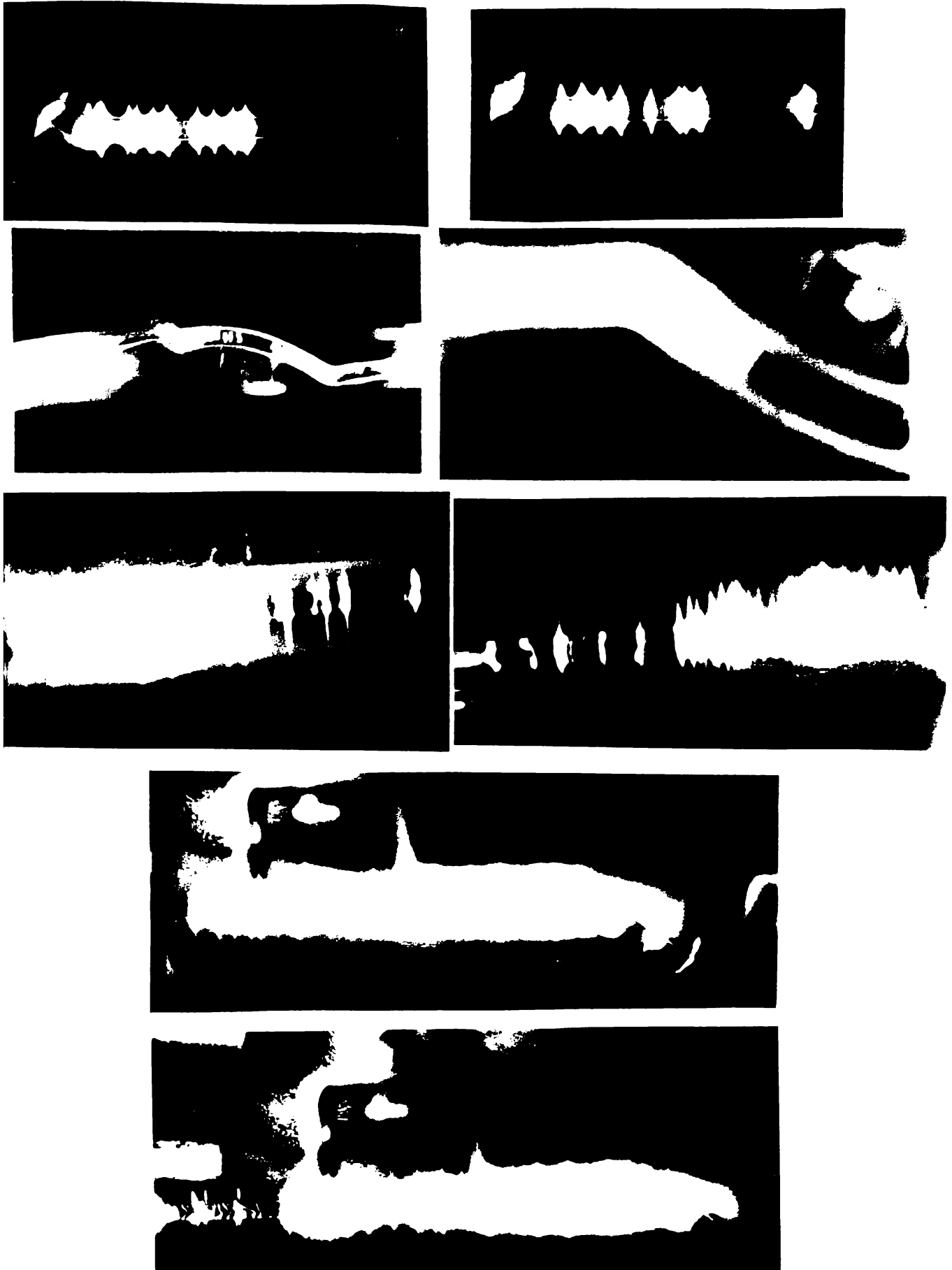
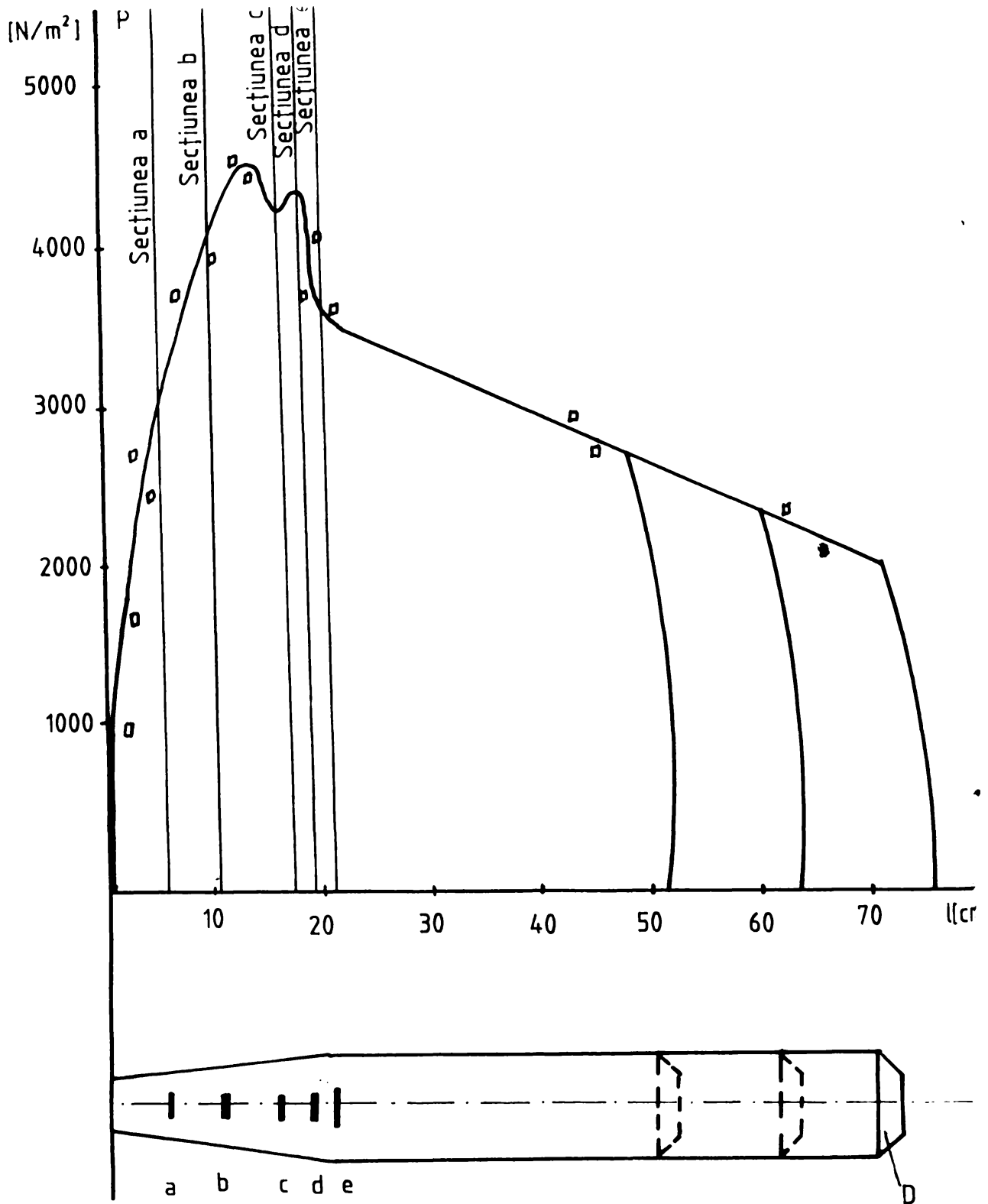


fig. 6.7

Vizualizarea curgerii prin descarcari electrice de frecventa si tensiune foarte inalta



- a - secțiune transversală prin camera de ardere situată la 1 mm în fața injectorului de combustibil
- b - secțiune transversală prin camera de ardere situată la 1 mm după injectorul de combustibil
- c - secțiune transversală prin camera de ardere situată la 1 mm în fața stabilizatorului de flacără
- d - secțiune transversală prin camera de ardere situată la baza conului de împrăștiere a stabilizatorului de flacără
- e - secțiune transversală prin camera de ardere situată la 1 mm după stabilizatorul de flacără

fig. 6.8

Valorile presiunii statice de-a lungul camerei de ardere utilizată

7. Rezultatele obtinute prin simulare numerica pe calculator

7.1. Interpretarea rezultatelor numerice privind lungimea minima a camerei de ardere

Solutia lui ξ (4.49) calculata prin programul de calcul (cap. 4.2.) a fost reprezentata grafic $\xi(\varphi)$ fig. 7.1 si $\xi(S)$ fig. 7.2 (valorile marimilor calculate sunt date in anexe).

Interpretand rezultatele obtinute se remarca urmatoarele cazuri:

Valoarea lui S_c "parametru de frecare" care tine cont de proprietatile combustibilului cand $S_c \rightarrow 0$ frecarea neglijabila $\xi \rightarrow \frac{1}{2} z_0 (1 - \varphi^2)$ sau $\xi_b \rightarrow \frac{1}{2} z_0$, altfel spus lungimea minima de ardere este numeric jumătate din viteza de injectie a combustibilului.

Cazul frecarilor foarte mari $S_c \rightarrow \infty$ conduce la cazul $\xi \rightarrow 0,3$ indiferent de valoarea vitezei de injectie a combustibilului. De asemenea pentru $Z_0 = 1,9$, S_c are o mica influenta asupra lui ξ_b (fig.7.2). Intrucat S_c este de obicei de ordinul lui 0,5 valoarea lui Z_0 are o mare influenta asupra lungimii camerei de ardere. Pentru orice valoare a lui S_c si Z_0 , lungimea minima a camerei este intotdeauna proportionala cu patratul razei picaturii la injectie, asa cum rezulta din ecuatiile (4.29).

Importanta vitezei de injectie - viteza volumica a arderii este egala cu G/y_b .

Rearanjarea ecuatiei (4.29) ne dezvaluie $\frac{G}{y_b} = \frac{1}{\xi_b} \frac{r_0^2 \rho_{lichid}}{\Gamma l u (1+B)}$. Intrucat se doreste o

lungime mica a camerei ξ_b trebuie sa fie cat mai mic. Urmeaza ca Z_0 sa fie cat mai mic, sau se poate afirma ca viteza picaturii trebuie sa fie mai mica in comparatie cu viteza gazului. Se mai poate afirma ca valori mai mari a lui Z_0 decat 2 conduce la valori a lui ξ_b negative care conduc la concluzia imposibilitatii desfasurarii arderii.

In realitate marimea picaturilor la injectie variaza ca diametru. O regula simpla este: picaturile cele mai mari hotarasc lungimea minima a camerei de ardere. Luarea in considerare numai a acestor picaturi nu creaza erori prea mari.

Intrucat picaturile nu sunt de regula injectate la temperatura de echilibru pentru vaporizare, si intrucat acolo poate fi un numar Reynolds insemnat care are efect asupra frecarii si vitezei de vaporizare, perfectionarile sunt necesare in analize.

7.2. Compararea marimilor determinate cu valorile obtinute experimental

Lucrarea [41] a cercetatorului german W.E. Klausmann trateaza miscarea particulelor de combustibil lichid si evaporarea in conditiile de curgere specifice camerelor de ardere. In urma incercarilor experimentate pe care le-a facut cercetatorul german valorile obtinute de acesta au fost comparate cu valorile calculate cu modelul matematic propus de subsemnatul pentru aceleasi conditii ca si autorul lucrarii [41].

In fig. 7.3 se reda variatia diametrului picaturii de combustibil in urma miscarii in camera de ardere pentru diverse regimuri de curgere si injectie de combustibil.

Scaderea diametrului picaturii pana la un diametru de 3-4 μm este premergatoare fazei de evaporare. Colaborata cu concentratia campului de picaturi se poate aprecia lungimea optima a camerei.

Calculand prin metoda simularii numerice pe calculator lungimea optima pentru aceleasi valori ca si incercarile practice a cercetatorului german [41], s-au obtinut valori

care s-au reprezentat tot pe fig. 7.3 confirmand corelatia valorilor calculate cu valorile masurate.

Abaterile intre valorile calculate si masurate [41] se datoreaza imposibilitatii stabilirii cu exactitate a campului de picaturi pentru care diametrul picaturilor $D \rightarrow 0$ in cazul incercarilor experimentale.

Abaterile care apare poate fi neglijata, aceasta nu va conduce la niste decizii de proiectare necorespunzatoare.

7.3. Distributia temperaturilor in camera de ardere obtinuta prin simularea numerica

Programul de calcul avand ordinograma prezentata in cap.4.3 este scris in limbaj Fortran 77 sub Windows 95 - prezentat in anexa - a fost rulat pe un PC486 cu ME 8MB.

Zona aleasa pentru calcul este cea delimitata intre injectorul de combustibil si stabilizatorul de flacara asa cum este prezentat in fig. 7.4. Impartirea in elemente finite s-a facut prin descompunerea dupa doua directii x si y intrucat forma geometrica si incarcarea termica a structurii prezinta simetrie axiala problema se studiaza ca un caz bidimensional. Structura obtinuta este formata din 338 elemente finite si 199 de noduri. Valorile lui α coeficientul de convecție si λ coeficientul de conductie sunt prezentate in anexa.

Fluxul termic pentru care s-a studiat transmiterea caldurii este cuprins intre $Q = 320 \dots 40 \text{KW}$ caracteristic camerelor de ardere [13]. Valorile temperaturilor pentru peretele camerei de ardere pentru diferite valori ale fluxului sunt prezentate in fig. 7.6.....7.10. Zonele cele mai calde fiind zonele din spatele stabilizatorului unde temperaturile ating valori foarte ridicate.

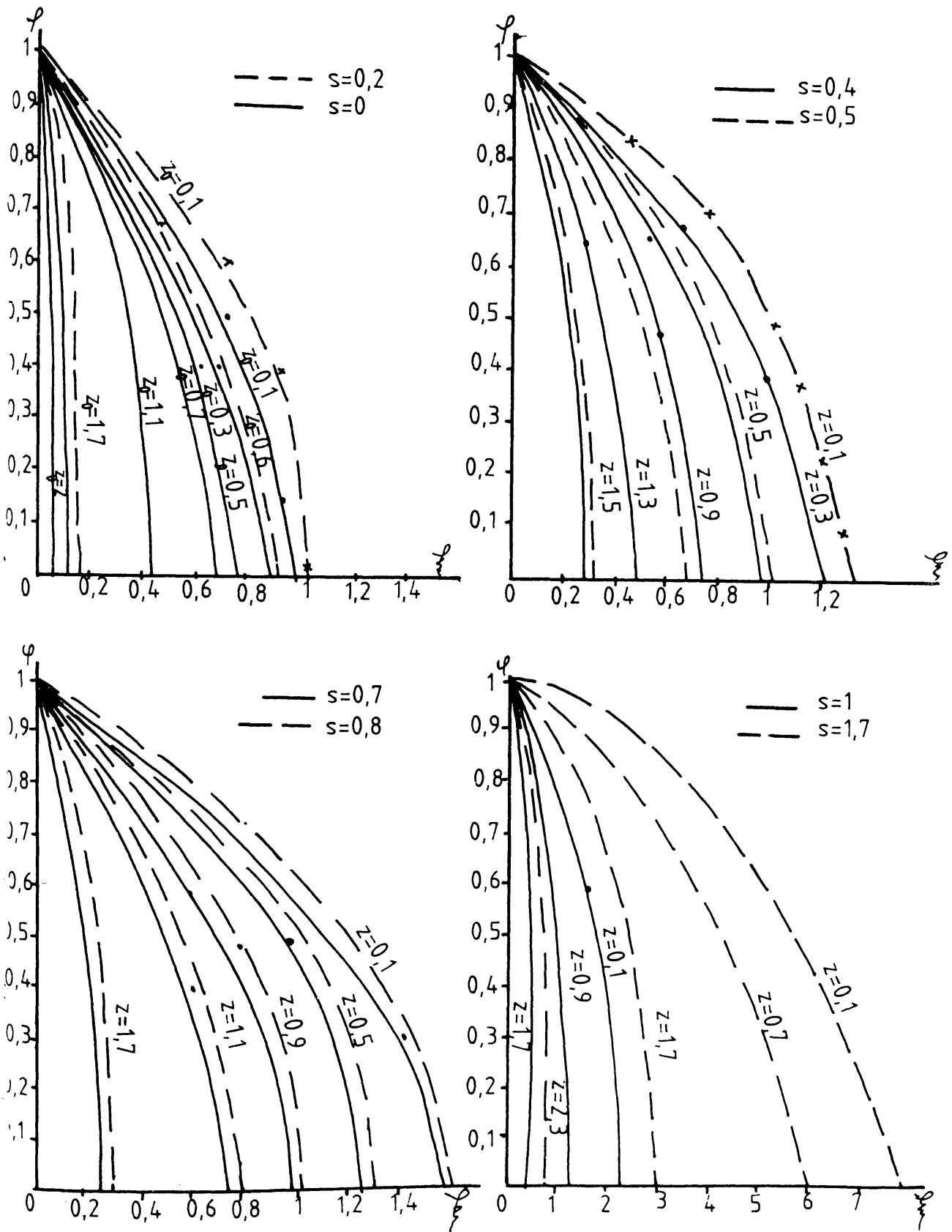


fig. 7.1.

Valorile calculate a lungimii minime ξ a camerei de ardere tinand cont de viteza de injectie a comb. z_0 si parametrului de frecare S_c

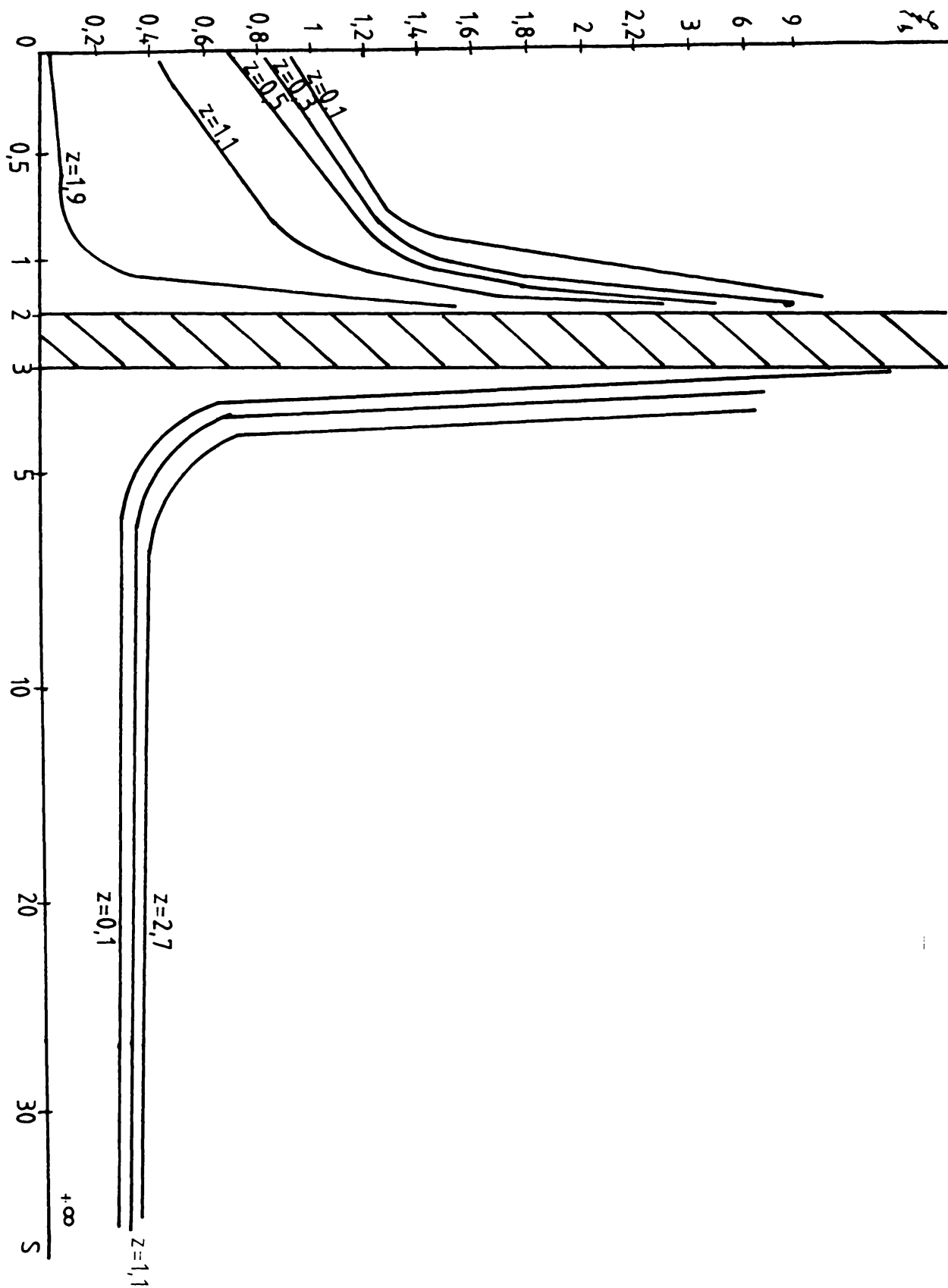


fig. 7.2.
 Valorile calculate a lui ξ_c pentru diverse valori al lui S_c si z_0

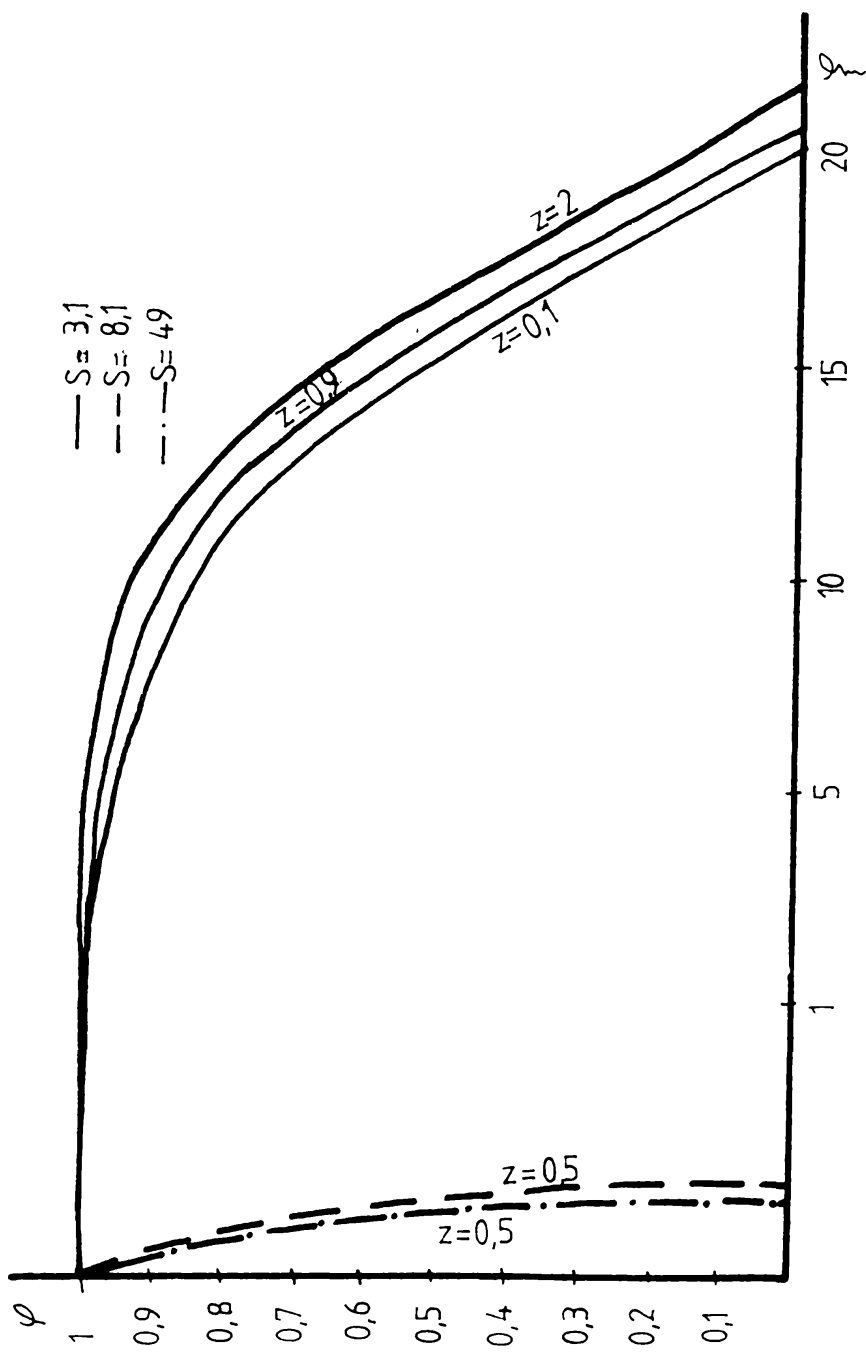
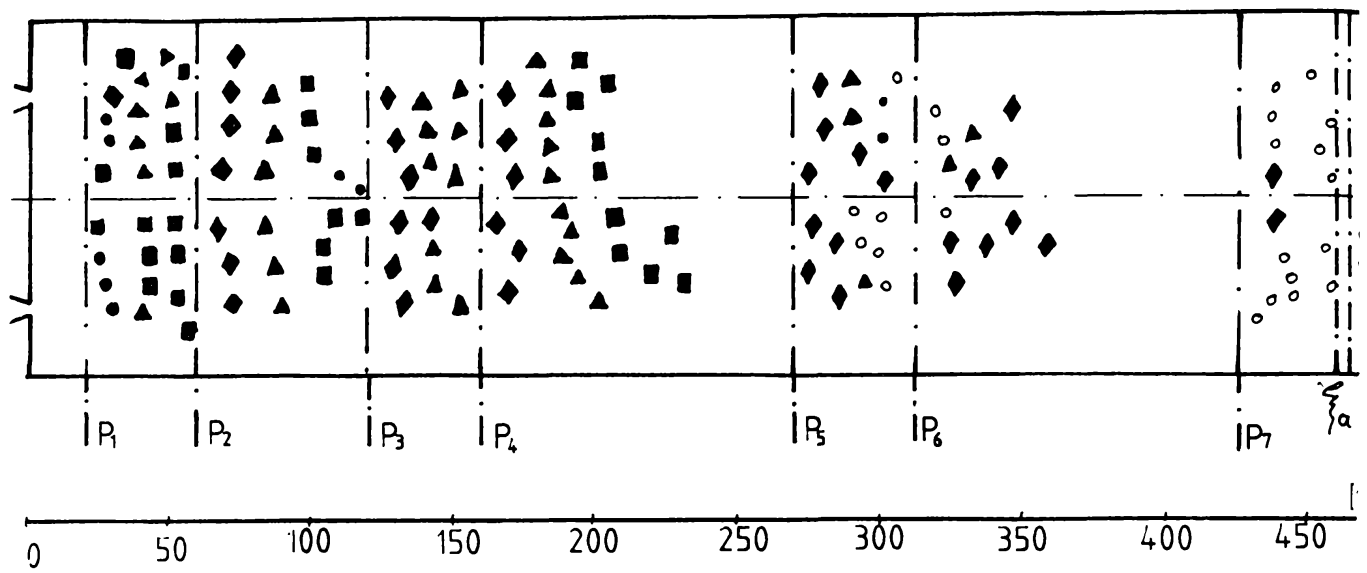


fig. 7.3.

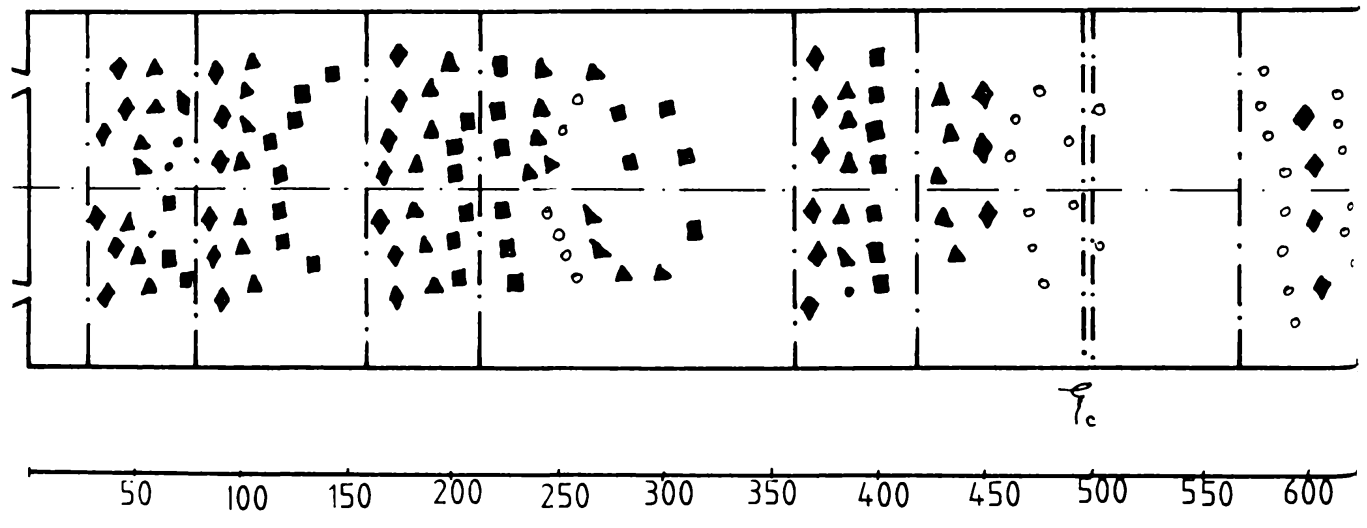
Valorile calculate a lui ξ_c pentru diverse valori al lui S_c si z_0

- $D_{5\mu m}$
- $D_{90\mu m}$
- ◆ $D_{10\mu m}$
- $D_{180\mu m}$
- ▲ $D_{80\mu m}$

$l_{b, opt}$ lungimea optimă determinată -
 P-Puncte de observare, măsurare
 $l_{c, opt}$ lungimea optimă calculată
 U=60m/s V=15m/s $T_{\alpha}=320^{\circ}K$



U=90m/s V=5m/s $T_{\alpha}=320^{\circ}K$



U=60m/s V=2m/s $T_{\alpha}=520^{\circ}K$

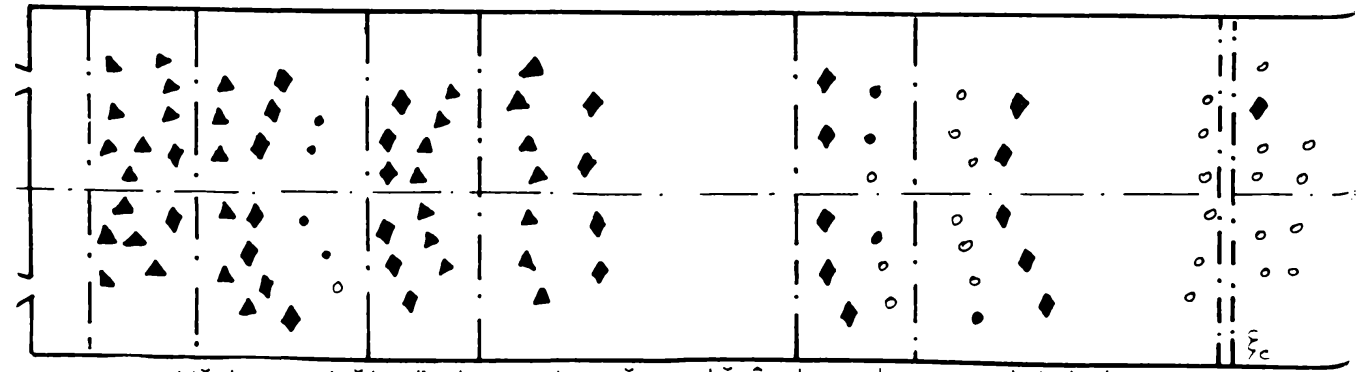


fig. 7.4

Marimea picaturii de comb. masurata in lungul camerei de ardere

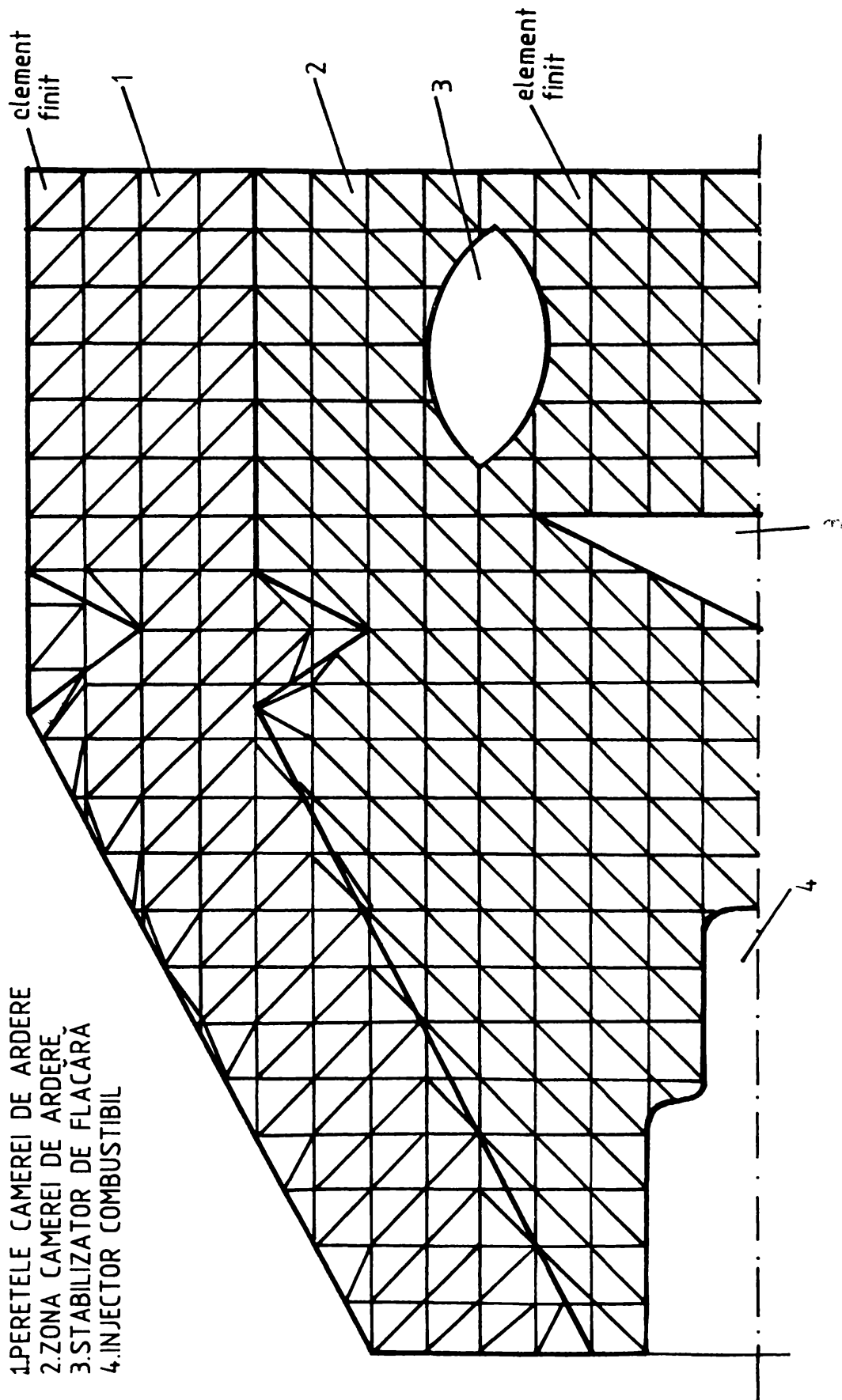


fig. 7.5
 Impartirea camerei de ardere utilizata in elemente finite

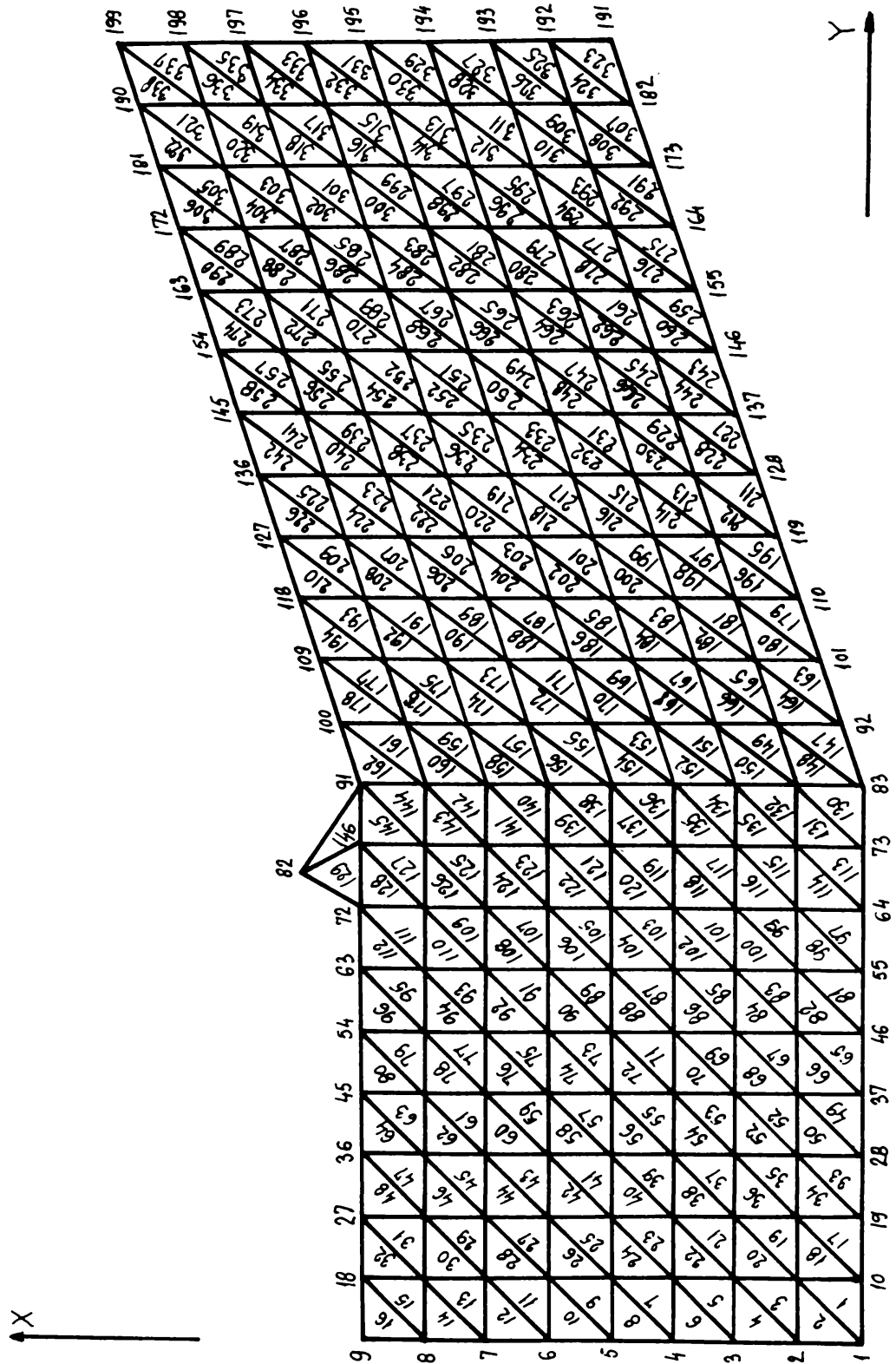


fig. 7.6
 Numerotarea elementelor finite si a nodurilor pentru o zona din camera de ardere utilizata

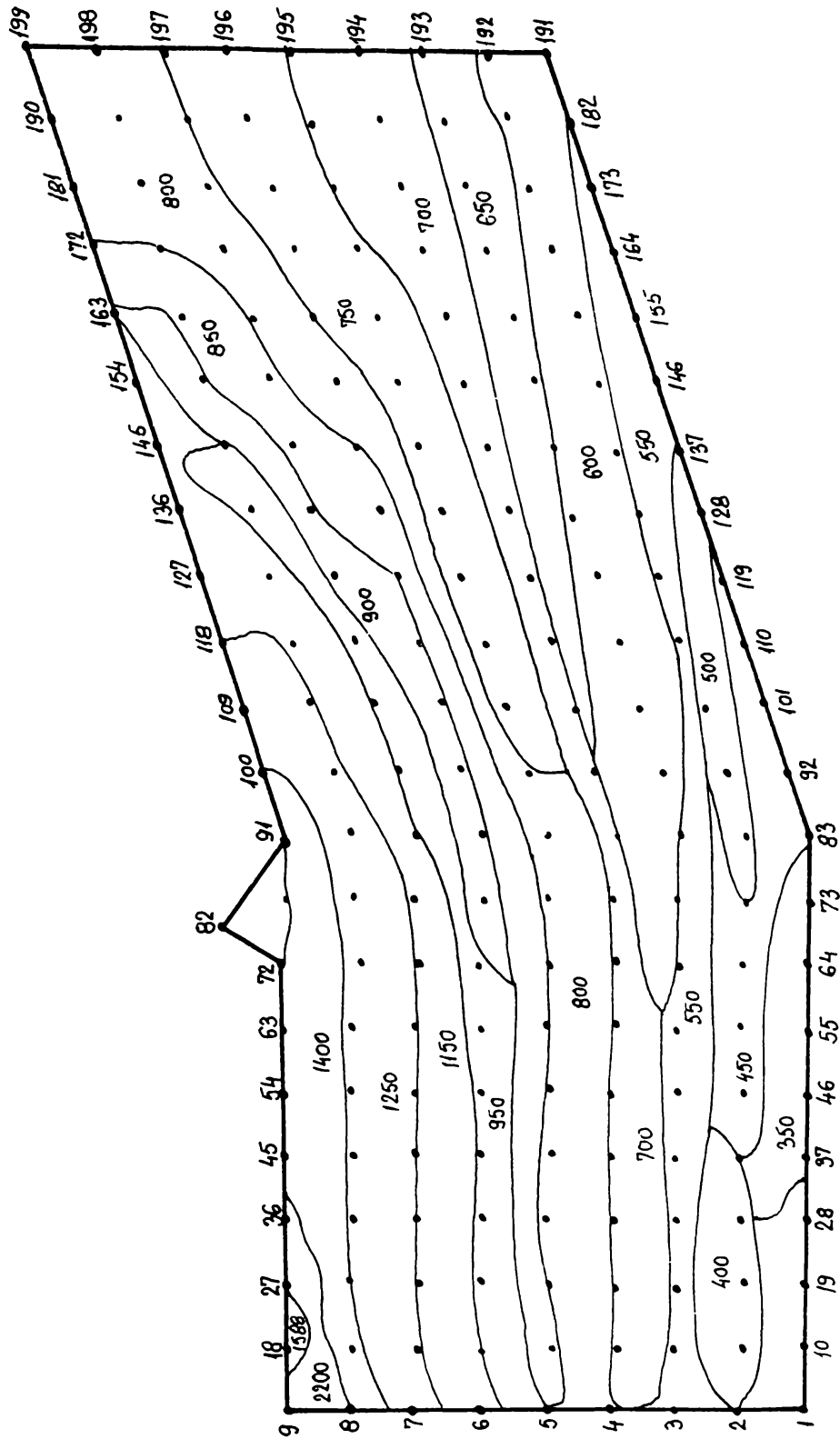


fig. 7.7

alorile campului de temperatura calculata cu metoda elementelor finite pentru camera de ardere utilizata pentru $Q = 343 \text{ KW}$

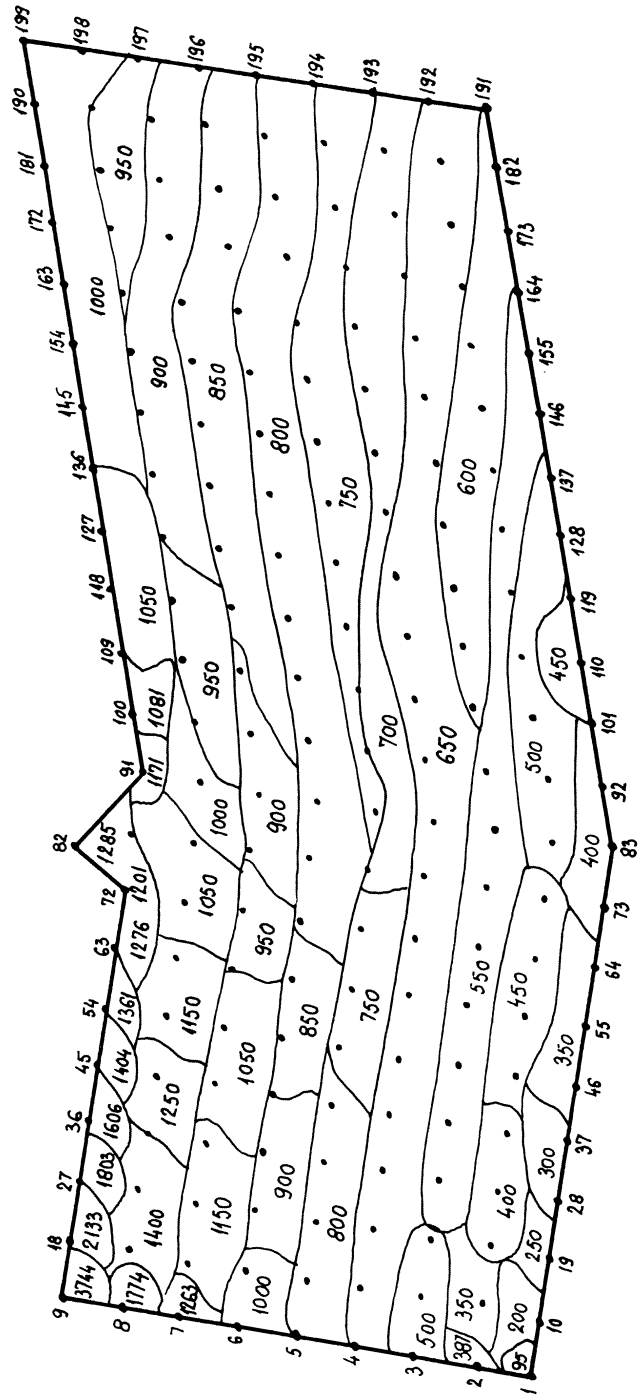


fig. 7.8
 Valorile campului de temperatura calculata cu metoda elementelor finite pentru camera
 de ardere utilizata pentru $Q = 334 \text{ KW}$

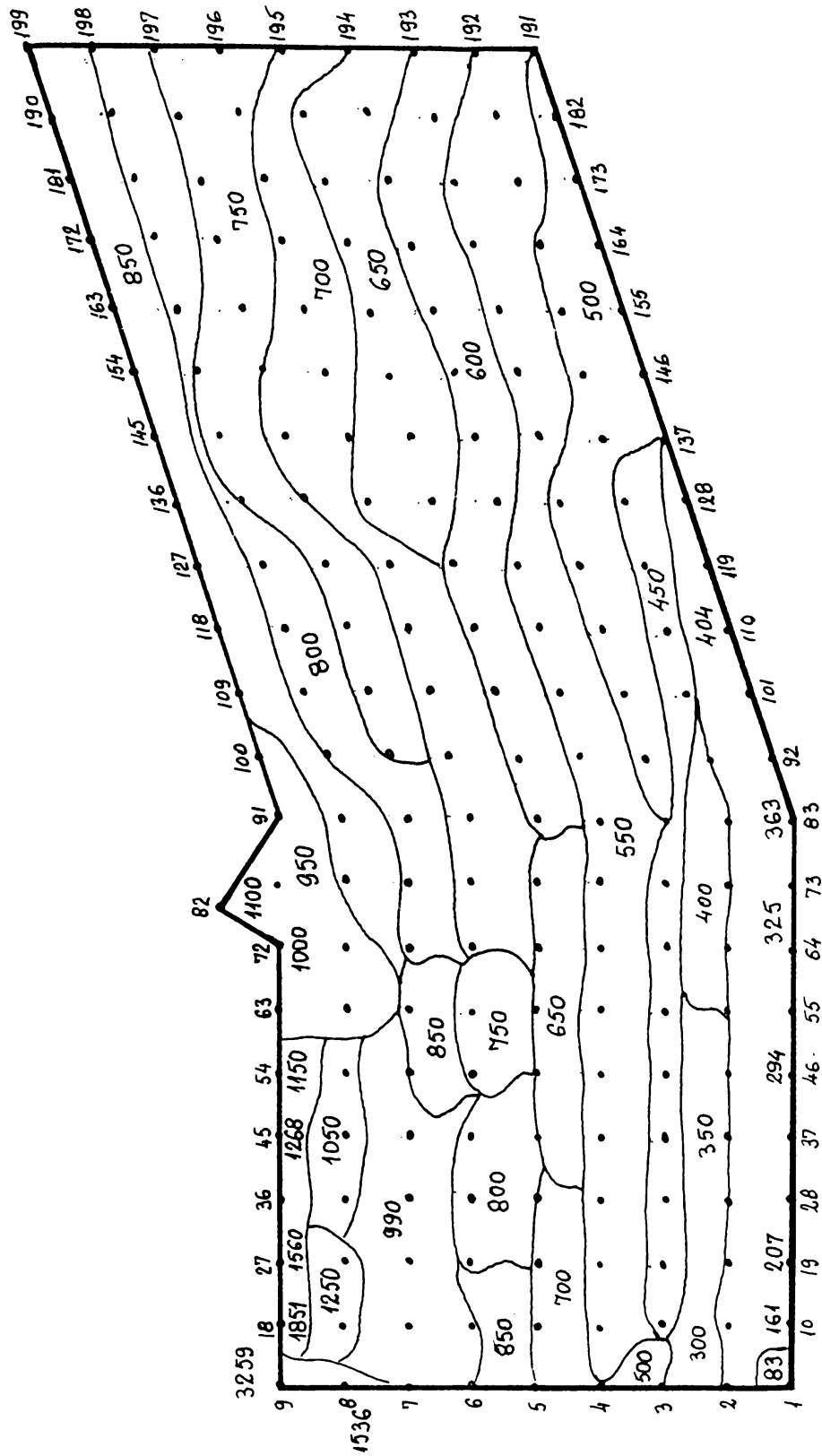


fig. 7.9

Valorile campului de temperatura calculata cu metoda elementelor finite pentru camera de ardere utilizata pentru $Q = 293 \text{ KW}$

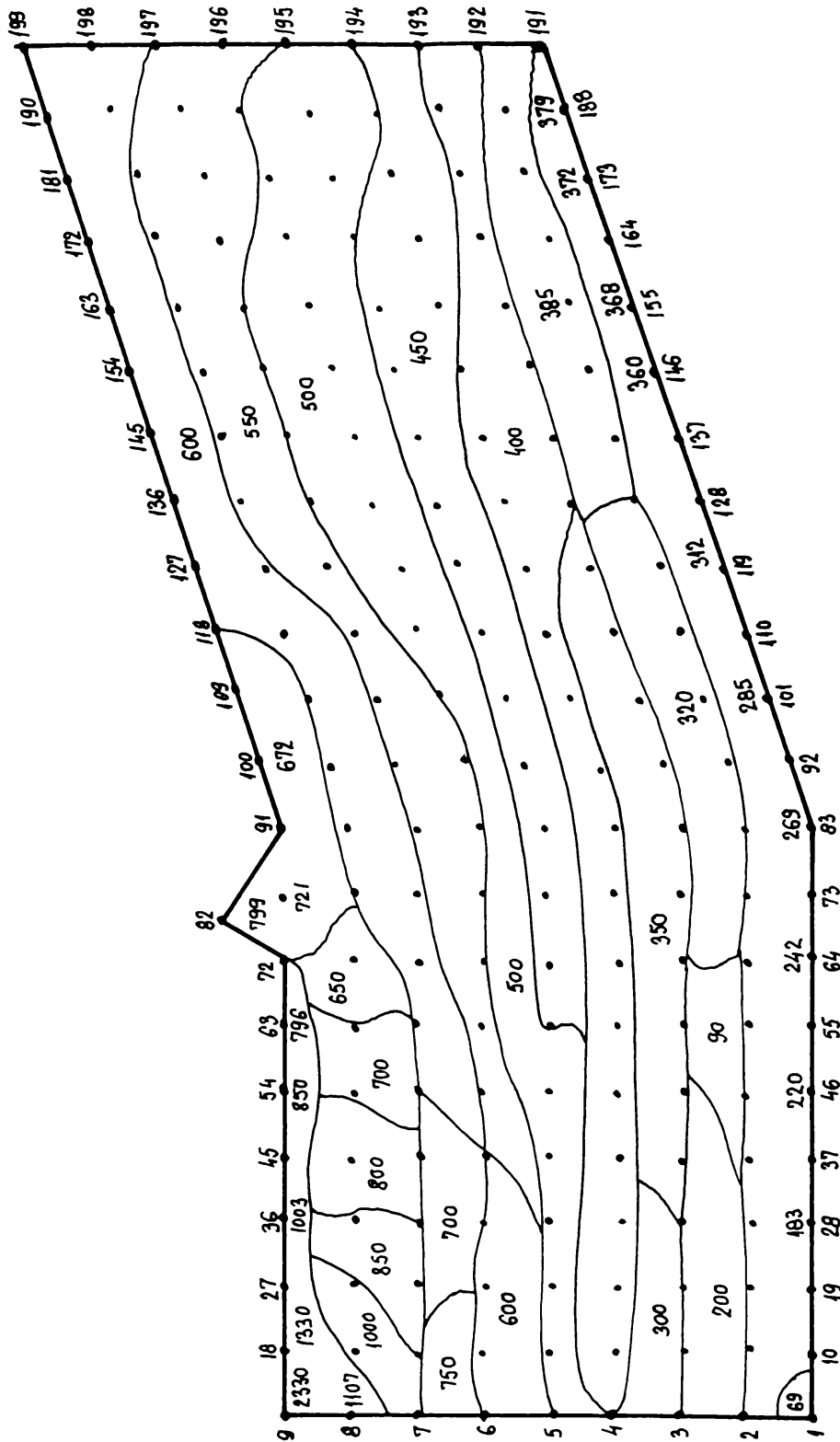


fig. 7.10

Valorile campului de temperatura calculata cu metoda elementelor finite pentru camera de ardere utilizata pentru $Q = 209 \text{ KW}$

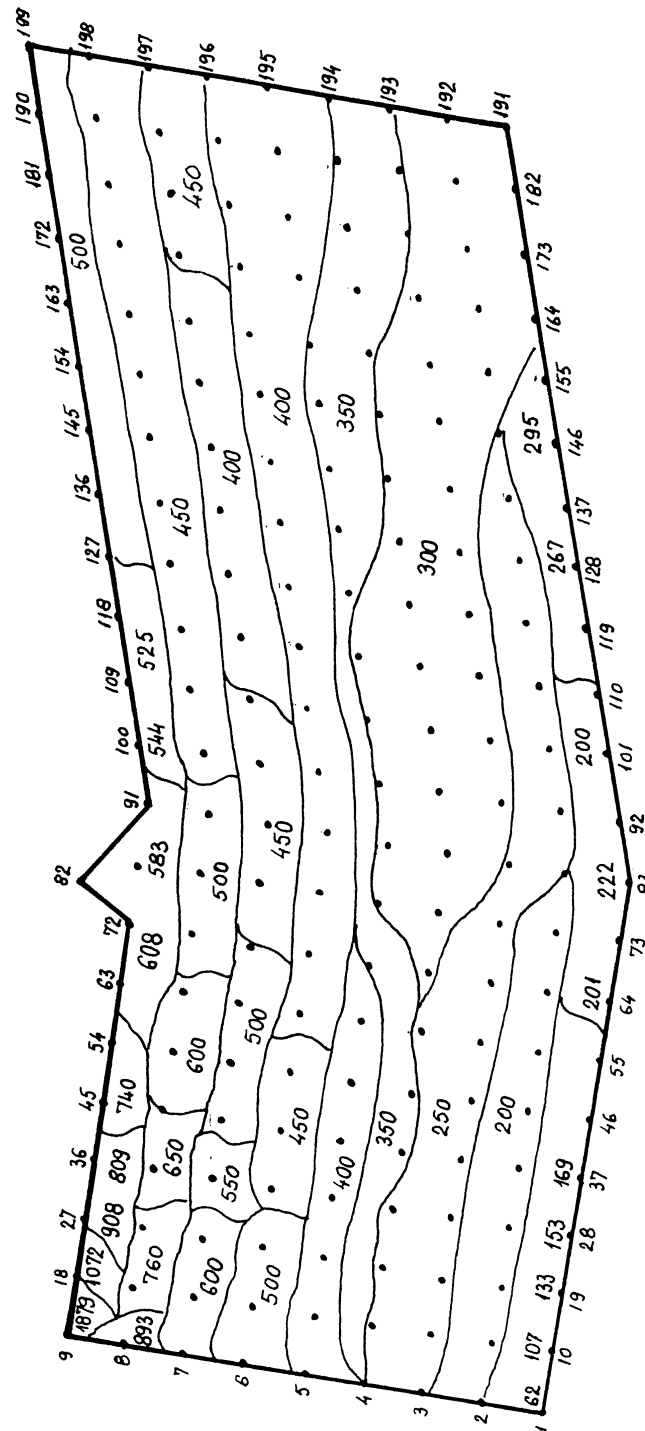


fig. 7.11
 Valorile campului de temperatura calculata cu metoda elementelor finite pentru camera
 de ardere utilizata pentru $Q = 167 \text{ KW}$

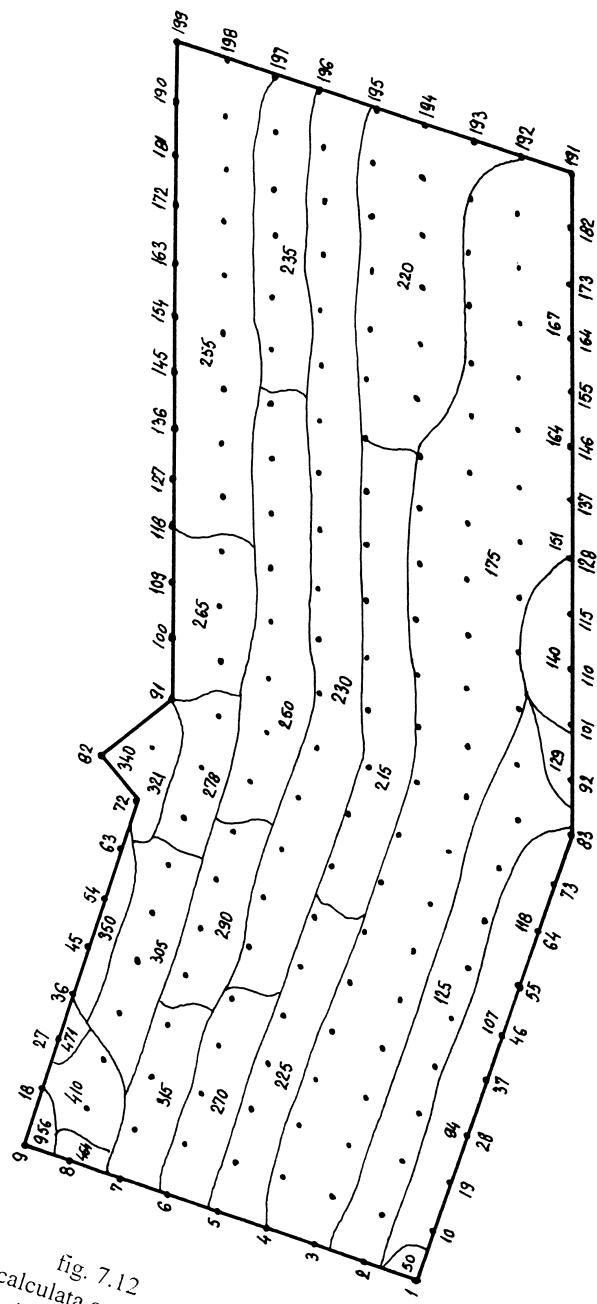


fig. 7.12
 Valorile campului de temperatura calculata cu metoda elementelor finite pentru camera
 de ardere utilizata pentru $Q = 84 \text{ KW}$

8. Influenta camerei de ardere a turbomotorului aeronautic asupra mediului

Dezvoltarea rapida a transporturilor aeriene pentru serviciile comerciale si pasageri in ultimii treizeci de ani a determinat folosirea pe scara larga pentru propulsie a turbomotoarelor cu ardere interna.

Odata cu dezvoltarea turbomotoarelor au aparut si probleme de poluare.

Pentru anul 1992 graficele arata ca poluarea fonica si chimica data de turbomotoarele aeronautice este mica, din totalul poluarii dintr-o metropola, dar in schimb in jurul aeroporturilor pe o anumita zona poluarea este comparabila cu zonele puternic industrializate.

Daca pentru poluarea fonica, camera de ardere joaca un rol mai putin important, poluarea chimica este generata in principal de arderea combustibilului in camerele de ardere. Poluarea chimica se dovedeste a fi mult mai agresiva decat cea sonora intrucat afecteaza zone mult mai intinse, emisiile poluante genereaza smog, cu reducerea vizibilitatii, murdarirea solului (fungine), distrugerea straturilor de mare altitudine a atmosferei.

Emisiile poluante din turbomotoare au fost identificate cel mai adesea ca fiind: particolele de carbon, oxizi de azot, oxid de carbon, oxizi de sulf si hidrocarburi.

Studiile si masuratorile facute au pus in evidenta valorile emisiilor pentru turbomotoare in functie de tipul motorului.

Tabela 8.1.

Tip motor	Regim functionare	Raport aer/comb	Emisiile (1kg/1000 kg combustibil)			
			CO	NOx	Particule	SO ₂
LONG-RANGE JET	Rulare	133	174	2	0,3	1
	Apropiere	103	8,7	2,7	1,1	1
	Dec.-ateriz	75	0,7	4,3	0,6	1
MEDIUM-RANGE JET	Rulare	132	50	2	0,6	1
	Apropiere	108	6,6	2,7	2,7	1
	Dec.-ateriz	69	1,2	4,3	0,5	1
Turbine pt.elicoptere	Croaziera	111	118	2	1	1
	Apropiere	75	11	2,7	1,5	1
	Decolare	63	4	4,3	1,5	1

8.1. Influenta parametrilor functionali si a proceselor din camera de ardere a turbomotoarelor asupra poluarii chimice

Combustibilii utilizati pentru turbomotoare sunt in gama Kerosen - petrol lampant, obtinuti prin distilare fractionata la temp.intre 163...302°C [40].

Emisiile poluante a turbomotoarelor includ oxizi de sulf care provin din sulful continut in combustibil, hidrocarburi, particole grele, oxid de carbon. Efectele tipice ale conditiilor functionale asupra emisiilor poluante ale unui turbomotor JT 80 redate in fig.8.1 arata scaderea CO si hidrocarburilor pe masura imbunatatirii conditiilor de

ardere și creșterea oxizilor de azot pe măsura creșterii temperaturii. Raportul combustibil/aer și gradul de finete al pulverizării influențează direct eficiența procesului de combustie, deci cantitatea de produse specifice arderii incomplete (fig.8.2).

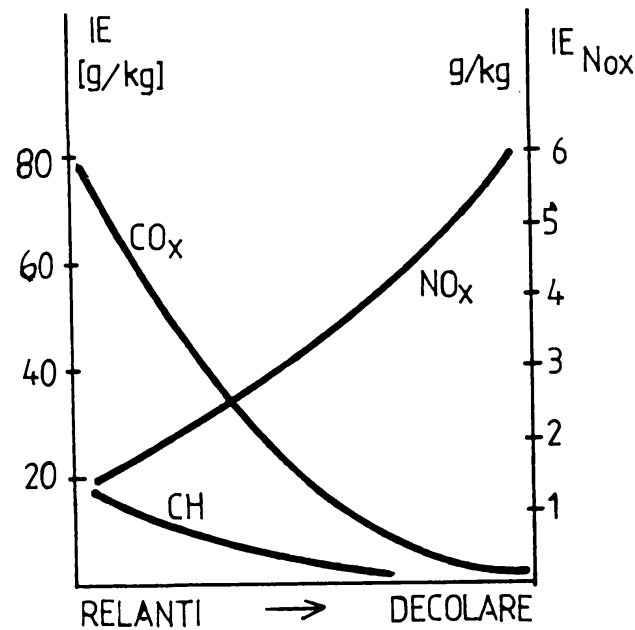


fig. 8.1.

Valorile CO, NO, CH pentru regim relanti-decolare

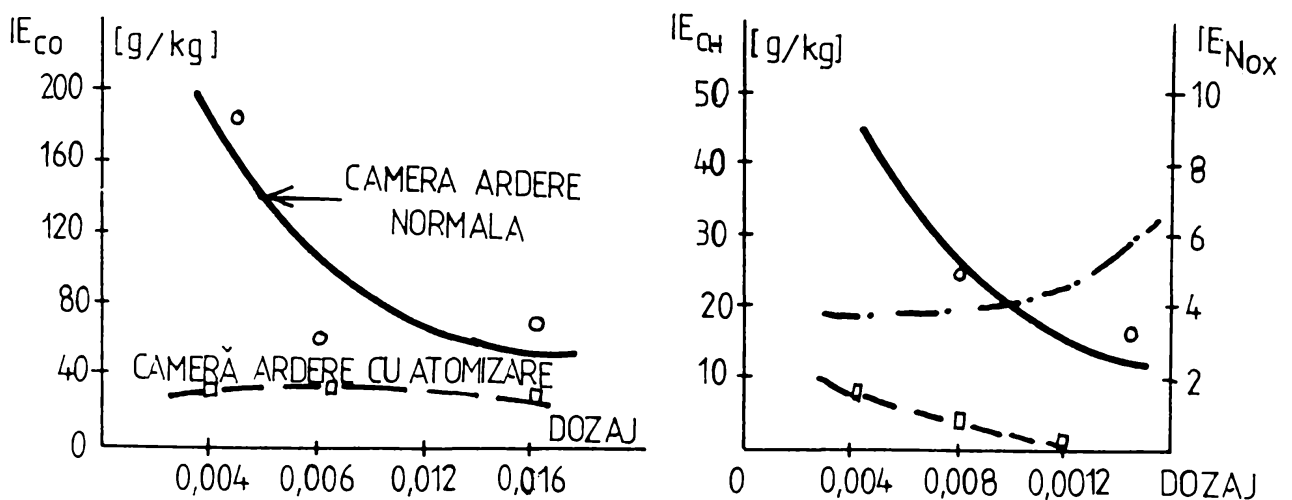


fig. 8.2.

Influenta dozajului și a pulverizării combustibilului asupra emisiilor poluante

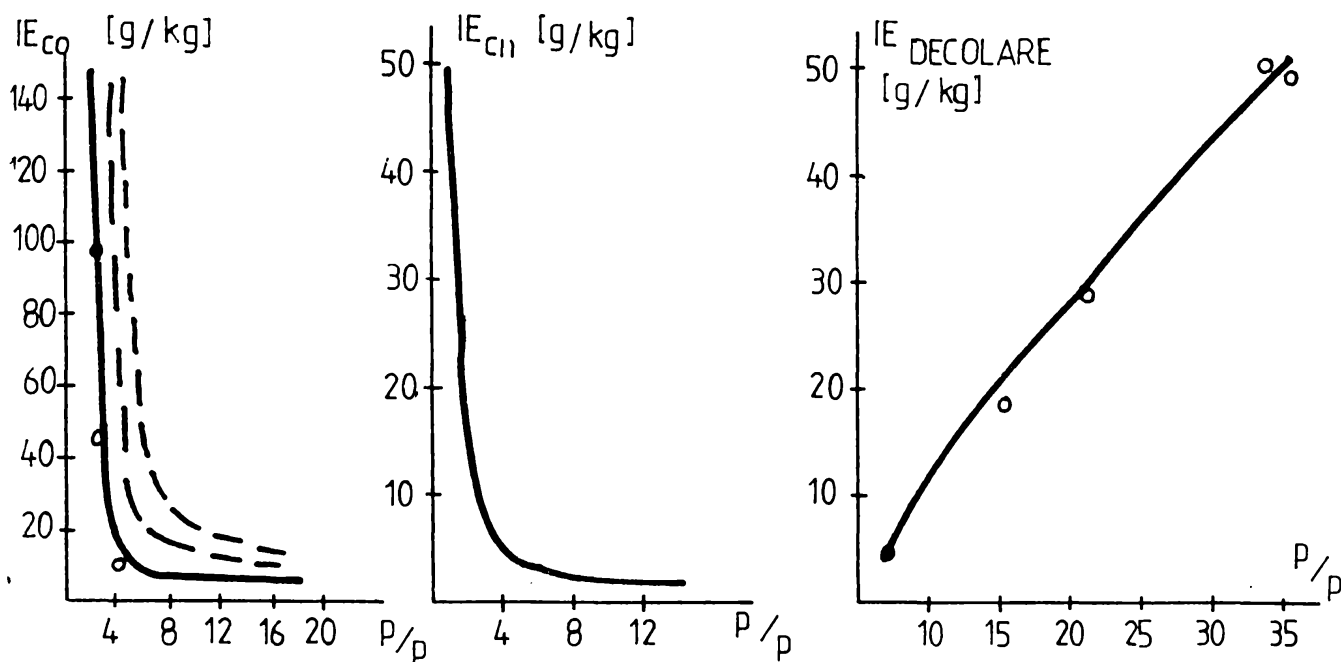


fig. 8.3.

Influenta gradului de comprimare asupra emisiilor poluante

Pulverizarea combustibilului prin atomizare cu jet de aer sub presiune, reduce CO, in schimb No_x nu sunt influentati de gradul de pulverizare a combustibilului, dar tinde sa creasca cu cantitatea de combustibil din amestec [40].

Presiunea aerului la intrare in camera cu cat are valoare ridicata, tinde sa scada CO si hidrocarburile, in schimb No_x creste (fig.8.3.).

Viteza gazelor din camera de ardere influenteaza formarea hidrocarburilor si CO la o crestere a acesteia, in schimb generarea de oxizi de azot scade deoarece procesul de formare a lor pe langa temperatura si presiune are nevoie de timp mai indelungat.

Cresterea temperaturii aerului la intrarea in camera de ardere imbunatateste conditiile de ardere ducand la o scadere a CO si C_xH_y si a emisiilor de fum respectiv o crestere a randamentului, in schimb emisiile de oxizi de azot se dubleaza (fig.8.4.).

Se poate concluziona ca emisiile de CO sunt produse in proportie de 90% in faza de rulaj si decolare, cand indicele I_E variaza intre 40 si 120 in functie de tipul motorului si are valori de 5 - 0,3 pentru regim de croaziera.

Emisiile de hidrocarburi si particule de C sunt la fel ridicate pentru regim de rulare si decolare a turbomotorului $I_E=20...120$ si scad $I_E=1...0,2$ pentru regim de croaziera, in ceea ce priveste emisiile oxizilor de azot acestea sunt preponderente pentru toate regimurile mai ales cand temperatura si presiunea de intrare in camera sunt mari.

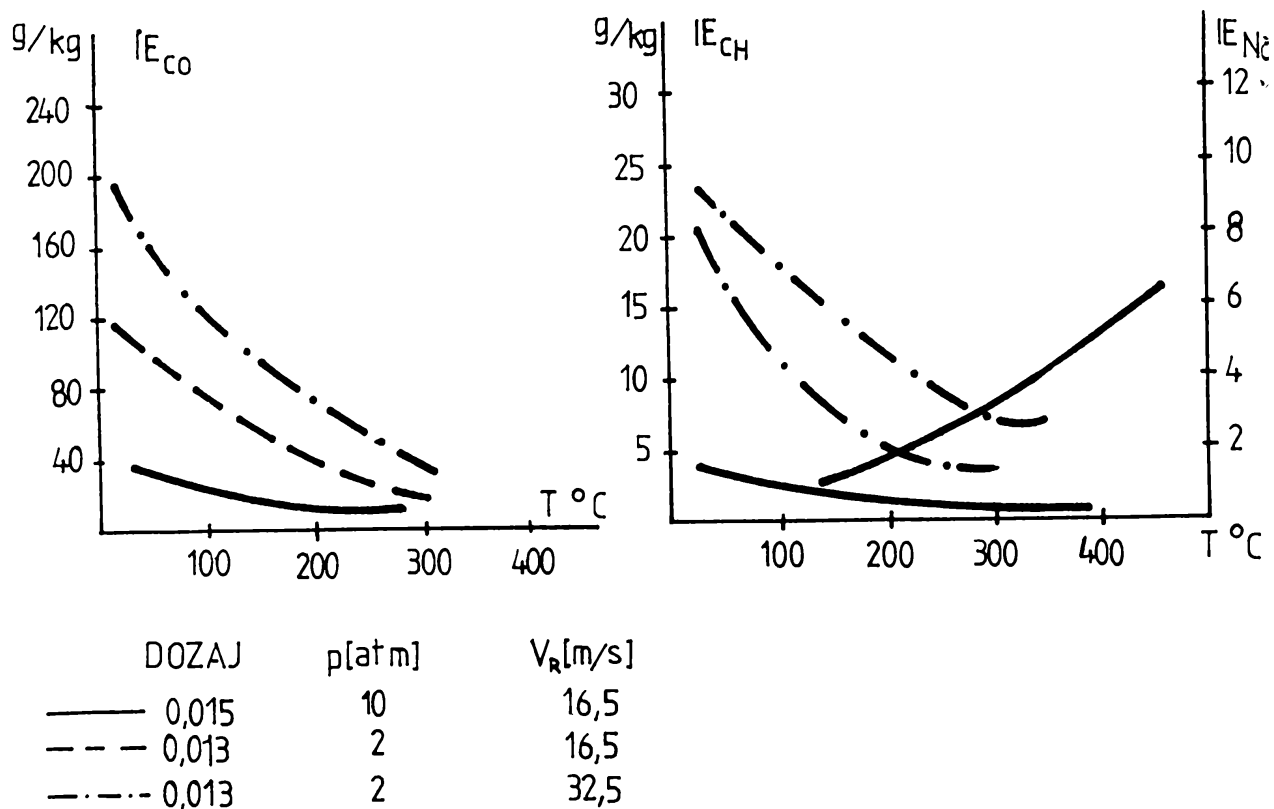


fig. 8.4.
Influenta temperaturii aerului asupra CO, NO, CH

8.2. Metode de reducere a poluarii produse de turbomotoare.

Emisiile poluante prezentate anterior arata ca formarea oxizilor de azot este crescuta atunci cand randamentul motorului creste (temp., presiunea creste). Utilizarea atomizarii si vaporizarii combustibilului duce la o scurtare a timpului de stationare in camera de ardere , respectiv reducerea No_x . Intrucat cresterea temperaturii si presiunii **pentru turbomotoare este** o conditie de crestere a randamentului , a dus la utilizarea injectiei de apa in camera de ardere cu efecte semnificative privind scaderea No_x (fig.8.5). CO si hidrocarburile au inregistrat nivele mai scazute prin injectia combustibilului in camera de ardere iar prin injectia combustibilului la o presiune scazuta impreuna cu utilizarea camerelor de preamestec a dus la o scadere a emisiilor de particole de C (fum, funingine). Cantitatea emisiilor de fum, particolelor de C, este data si de pozitia combustibilului raport C/H astfel incat utilizarea unor aditivi (compusi organo - metalici pe baza de mangan, bariu sau calciu) conduce la rezultate deosebit de bune (fig.8.6.).

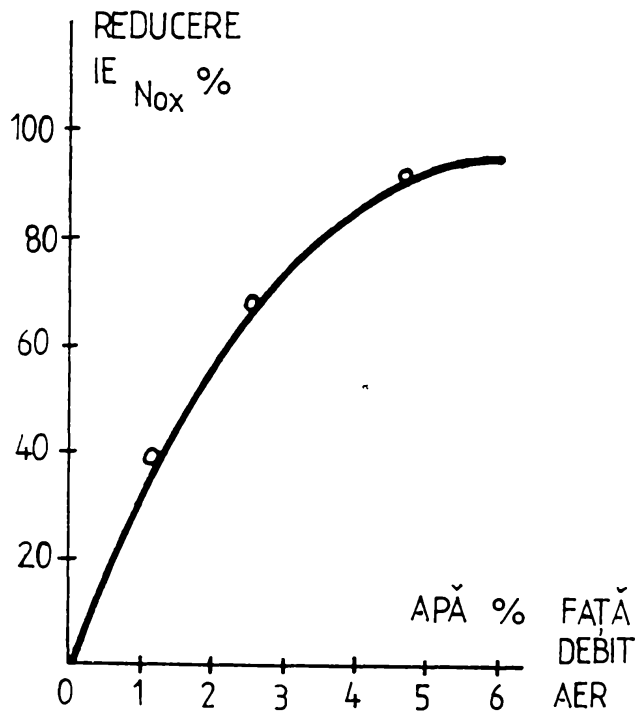


fig. 8.5.

Influenta injectiei de apa asupra emisiilor de NO_x
 TEMP. AER LA ÎNTRARE C.A. °C

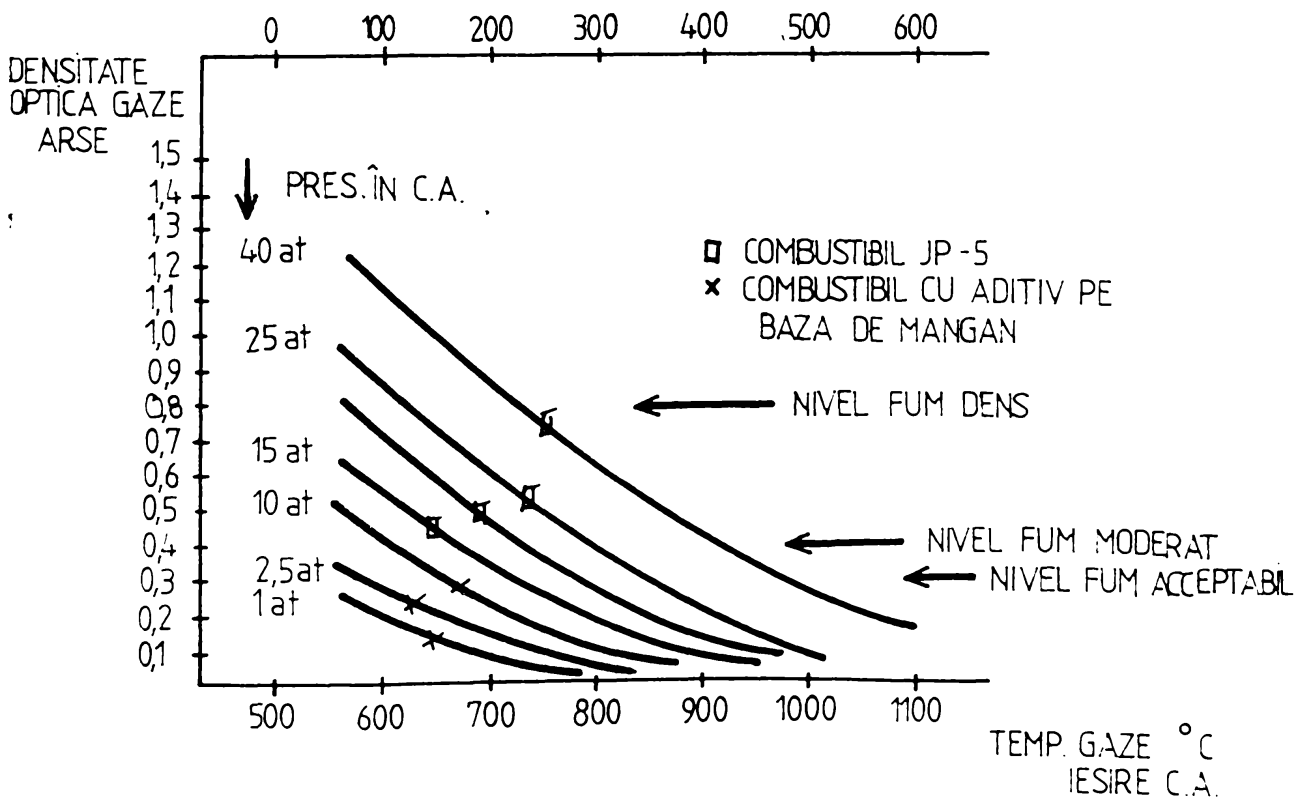


fig. 8.6.

Influenta aditivilor asupra reducerii nivelului emisiilor de fum

Perfectionarea camerelor de ardere are in vedere doua directii : utilizarea tehnicilor avansate si ameliorarea tehnicilor clasice. Camerele de ardere in conceptie clasica cu un etaj de injectie si geometrie fixa a camerei are emisii reduse de CO si hidrocarburi, dar No_x au valori mari. Astfel conceptiile noi de constructie a camerelor au condus la injectia combustibilului in trepte si geometria camerei variabile (utilizarea sau obturarea unui set de orificii suplimentare, in functie de conditiile functionale in vederea optimizarii dozajului, vitezei de circulatie a gazelor etc.) toate conducand la o reducere a produselor nearse si a oxizilor de azot. In ceea ce priveste ameliorarea tehnicilor clasice, reducerea cantitatii particulelor nearse de CO si fum, se face prin imbunatatirea randamentului arderii prin:

- optimizarea reducerii vitezei de curgere - o reducere prea mare nu e favorabila rapiditatii prepararii amestecului aer-combustibil si impune o anumita lungime a camerei pentru racirea peretilor;

- evitarea incetarii precoce a reactiilor chimice, fie prin aer de dilutie, fie prin filme de racire;

- cresterea nivelului turbulentei, dar in anumite limite, pentru a nu se produce pierderi de sarcina si pentru a nu se inrautatii racirea peretilor camerei;

- evitarea fumului prin amestecarea rapida a combustibilului cu o parte din aerul destinat arderii, inaintea amestecarii cu gazele arse necirculate in zona primara.

9. Efecte economice

Utilizarea turbomotoarelor în ultima perioadă de timp și pentru transportul feroviar ridică probleme de poluare. Turbomotoarele utilizate pentru tractiunea feroviara sunt din gama celor ce echipează elicoptere cu adaptare pentru funcționarea terestră.

Regimurile cele mai critice de poluare sunt la regim de relanț și demarare pentru care emansiile poluante de CO și NO_x sunt de 5 kg/1000 kg combustibil respectiv particole de CH de 1,5-2 kg combustibil, regim care se derulează în general în stații. Modificările turbomotoarelor pentru transportul feroviar conferă avantajul reducerii emisiilor poluante cu aproape 15% ținând cont de influența parametrilor funcționale în dezavantajul scaderii raportului putere/greutate (pentru construcții aeronautice raportul putere/greutate este de ordinul zecilor pe când pentru motor diesel este subunitar).

Cu toate avantajele conferite de turbomotoare, utilizarea pentru tractiunea feroviara nu a cunoscut o dezvoltare foarte mare în ultimii ani comparativ cu tractiunea electrică mult mai nepoluantă.

Conceptia noilor camere de ardere pentru turbomotoare a revigorat în schimb sistemul de încălzire casnic cu microcentrale pe baza arzătoarelor cu combustibili lichizi.

Telul dezvoltării arzătoarelor a fost criteriu economicității și asigurarea condițiilor de nepoluare. Toate acestea sunt conferite de pregătirea amestecării aer-combustibil și de dirijarea aerului. Utilizarea stabilizatorului de flacără cu tor de împrăștiere studiat în această lucrare conferă avantajul unei amestecări picătura combustibil-aer într-un timp scurt, organizarea arderii prin utilizarea gazelor arse, toate desfășurându-se într-un spațiu destul de compact.

Injectarea combustibilului la o presiune de 11 bar, cu un defazaj de 10-15s întârziere față de începutul curgerii aerului în arzător conferă un regim de funcționare staționar și cu un grad de poluare foarte redus.

Încercările au demonstrat că pentru un raport stoichiometric $\lambda = 1,07$ se obține un randament max. al arderii cu efecte de poluare minime, fig. 8.6.

Astfel particolele de carbon năse sunt zero, valoarea CO pentru un raport de aer-combustibil 1,07 tinde spre zero.

Valorile pentru CO₂ se situează între 14,5.....15%. În ceea ce privește NO_x acestia se găsesc în limite normale acceptate 1,5-2%.

În ceea ce privește consumul de combustibil se remarcă o scădere cu 10% față de vechile arzătoare ceea ce pentru un consum mediu anual de 2000 l combustibil ar însemna o economie de 200l [50].

Trebuie amintit că dezvoltarea arzătoarelor cu combustibili lichizi folosind tehnologia turbomotoarelor aeronautice, pentru sistemele de încălzire cu microcentrale pentru locuințe conferă o serie de avantaje și constituie o alternativă pentru actualul sistem de încălzire în România.

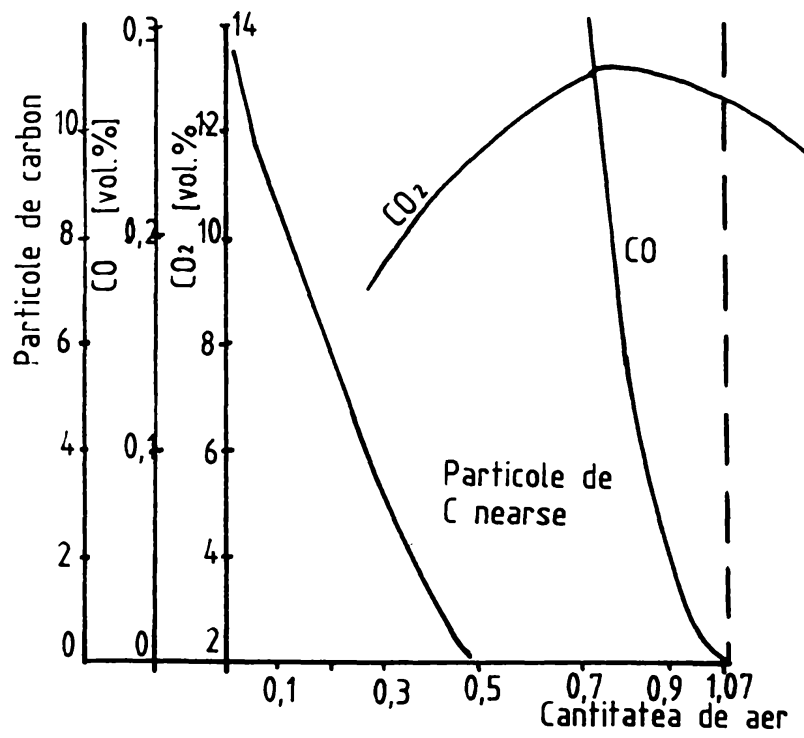


fig. 8.6.
 Valorile emisiilor poluante pentru arzatori cu combustibili lichizi

10. Concluzii

1. La turbomotoarele cu ardere internă functionand cu combustibili lichizi, camerele de ardere au un rol important în functionarea la parametrii optimi a turbomotorului, consumul specific de combustibil, poluarea mediului. Toate acestea depind într-o mare măsură de mișcarea organizată a aerului în camera de ardere cunoașterea legilor care guvernează această mișcare este una din premisele necesare pentru a se putea influența favorabil procesul de formare al amestecului și procesul de ardere.

2. La începutul elaborării prezentei teze s-a constatat că materialul documentar asupra tratării unitare a proceselor din camera de ardere a turbomotoarelor cu ardere internă functionand cu combustibili lichizi este insuficient tratat.

3. În lucrarea de față s-a căutat să se rezolve sistematic modelarea principalelor procese din camera de ardere a turbomotorului, pornind de la cazul idealizat și ajungând la cel real pentru camera de ardere utilizată de autor, parcurgând următoarele faze:

- studiul teoretic al parametrilor termogazodinamici din camera de ardere cu considerarea pierderilor datorită stabilizatorului de flacără și a debitului de combustibil cu ajutorul unui model de calcul;

- determinarea lungimii minime a camerei de ardere pentru o ardere completă;

- determinarea câmpului de temperaturi la pereții camerei;

- cercetarea experimentală prin diverse metode a circulației organizate a aerului prin camera de ardere ținând cont de elemente constructive a camerei, determinarea curgerilor staționare și cvasistaționare, determinarea presiunii statice și a vitezei aerului de-a lungul camerei de ardere.

4. În cadrul fiecărei metode de cercetare experimentală utilizată în lucrare, s-au efectuat cercetările fundamentale și aplicative, prezentând soluții constructive perfecționabile din punct de vedere al mișcării organizate a aerului și al pierderilor gazodinamice în comparație cu camerele de ardere a turbomotoarelor aeronautice.

I. Rezultatele obținute prin simulare numerică pe calculator pentru lungimea minimă a camerei de ardere respectiv distribuția temperaturii la pereții camerei evidențiază următoarele:

5. Relația 4.13 conduce la concluzia că viteza gazului în camera de ardere care se apropie de cifra Mach egală cu 1 prezintă o cădere egală cu zero. Având în vedere că viteza de curgere a aerului în compresorul turbomotorului depășește de multe ori cifra Mach egală cu 1 conduce la soluții de micșorare a vitezei aerului la intrarea în camera de ardere.

6. Se constată că la încălziri din ce în ce mai mari, are loc o scădere a vitezei datorită înrăutățirii raportului de presiuni p_4/p_3 . Astfel spus încălzirile gazului sunt posibile la viteze mici.

8. Pentru cazul ideal când parametrul de frecare S_c dat de proprietățile combustibilului $\rightarrow 0$ lungimea minimă de ardere a camerei este numeric jumătate din viteza de injecție a combustibilului în camera.

9. Cazul frecărilor foarte mari pentru picătura $S_c \rightarrow \infty$ stabilește lungimea de ardere la 0,3m indiferent de valoarea vitezei de injecție a combustibilului.

10. Intrucat S_c este de obicei de ordinul 0,5, valoarea vitezei relative de injectie a combustibilului z_0 , are o mare influenta asupra lungimii camerei de ardere.

11. Pentru orice valoare a lui S_c si z_0 , lungimea minima a camerei ξ_b este intotdeauna proportionala cu patratul razei picaturii la injectie conform (4.4b).

12. Valoarea vitezei de injectie a combustibilului nu poate depasi dublul valorii vitezei de curgere a aerului, intrucat s-ar ajunge la imposibilitatea desfasurarii arderii.

13. In realitate marimea picaturilor la injectie variaza ca diametru. O regula simpla este: picaturile cele mai mari influenteaza lungimea minima a camerei de ardere. O atentie numai asupra acestor picaturi nu creaza erori prea mari.

14. Intrucat picaturile nu sunt de regula injectate la temperatura de echilibru pentru vaporizare si intrucat acolo poate fi un numar Reynolds insemnat care are efect asupra frecarii si vitezei de vaporizare, perfectionarile sunt necesare.

15. Abaterile intre valorile calculate de autor si masurate de [41] a lungimii minime a camerei de ardere se datoreaza imposibilitatii stabilirii cu exactitate a campului de picaturi pentru care diametrul picaturilor $D \rightarrow 0$, in cazul incercarilor experimentale. Abaterea care apare poate fi neglijata fiind sub valori de 2%.

16. Utilizarea modelului de calcul pentru stabilirea lungimii optime a camerei de ardere poate fi utilizat cu succes in proiectarea camerelor de ardere.

17. Metoda elementelor finite pentru determinarea campului de temperatura la peretele camerei asigura determinari destul de precise cu eforturi materiale minime.

18. Camerele de ardere a turbomotoarelor sunt corpuri axial simetrice. Programul de calcul utilizat pentru calculul campurilor de temperatura satisfac camerele de ardere axial simetrice de forma complexa din materiale omogene si neomogene si regimuri stationare, pentru un numar de 1500 elemente finite.

19. Pentru regimurile tranzitorii programul suporta perfectionari.

20. Programul are posibilitatea de calcul pentru un numar de 10.000 de elemente finite in functie de optiunile operatorului si posibilitatile calculatorului utilizat.

21. Zona de incalzire excesiva a peretelui camerei de ardere tubulara este pe portiunea stabilizatorului de flacara unde temperaturile ating valori intre 1800 - 2200°C.

II. Determinand influentele unor factori constructivi prin incercari experimentale asupra miscarii organizate a aerului in procesul desfasurarii arderii in camera s-a constatat urmatoarele:

22.1 Profilul vitezei aerului spre peretele camerei este in crestere de la intrare spre iesire, exceptie facand zona stabilizatorului de flacara, crestere care influenteaza transmiterea caldurii la peretele camerei.

22.2 Pe axa de simetrie profilul vitezelor are valori mici in zone de stagnare care favorizeaza formarea amestecului, aprinderea si ardere.

22.3 Valoarea presiunii creste de la intrarea in camera pana in dreptul stabilizatorului dupa care are loc o scadere lina pana la iesirea din camera.

22.4 In zona dintre injectorul de combustibil si conul de stabilizare presiunea scade brusc datorita punctelor de stagnare si zone de curgere invers dupa care apare un salt de presiune pana la sectiunea initiala a torului de imprastiere, urmand in continuare scaderea presiunii pana la iesirea din camera.

22.5 Solutia utilizata pentru stabilizatorul de flacara cu torul de imprastiere alimenteaza zona turbionara din spatele lui, nepermitand intrarea aerului direct in tor, creand zone de recirculatie.

22.6 Circulatia aerului in jurul torului, parte a stabilizatorului de flacara, este aproximativ de elipsa.

22.7 In fata aprinzatorului de flacara apar desprinderi de curent care in dreptul conului de imprastiere devin maxime creand zone de intoarcere a curentului cu viteze mici de circulatie a aerului.

22.8 La inceputul curgerii in spatele turului de recirculatie apar liniile Karaman, intrucat fluidul are tendinta sa ia forma curgerii fara frecare.

22.9 Dupa formarea stratului limita apare formarea turbionului care se mareste si este impins de curgerea principala in sensul curentului.

22.10 Se remarca faptul ca in momentul in care se formeaza un turbion un altul de aceeaasi marime care se roteste in sens invers ramane in spatele stabilizatorului.

22.11 Formarea ordonata a turbioanelor inceteaza in momentul in care stratul limita laminar se transforma intr-un strat limita turbulent.

22.12. Pentru a reduce campul de temperatura din corpul camerei de ardere, peretele exterior al camerei trebuie sa fie spalat de un curent de aer, care in acelasi timp poate fi utilizat si ca aer secundar in procesul de ardere si dilutie.

23. Executand cercetari aplicative asupra profilelor liniilor de curgere, a vitezelor, pentru camera tubulara utilizata si o camera inelara de forma complexa fara stabilizator de flacara utilizata la turbomotorul TURMO IV-C de fabricatie romaneasca s-a constatat ca:

23.1 Pentru camera inelara la care admisia aerului se face prin orificii dispuse pe peretele camerei se remarca din analiza valorilor vitezei ca liniile de curent cu intrare in camera cat mai aproape de injector au o crestere de viteza pana in planul de sectiune b dupa care urmeaza o descrestere de viteza cu zone de intoarcere aproximativ pana la planul d, dupa care urmeaza o crestere a vitezei.

23.2 Liniile de curent cu intrare la mijlocul peretelui frontal (b) cat si cele situate in zona (c) conduc la o puternica turbionare intre planurile de sectiune a-b si d-f.

23.3 Zona intre planurile transversale b...f se remarca ca zona puternic turbionata cu viteze mici de curgere.

III. Concluzii cu efecte practice:

24. Forma geometrica a camerei cat si introducerea aerului in diverse planuri a camerei creaza efectul stabilizatorului de flacara dar cu viteze de curgere mult mai mici ca la o camera inelara cu stabilizator de flacara.

25. Ca o consecinta a regimurilor tranzitorii, la inceputul curgerii aerului in camera pana la formarea turbioanelor nu se recomanda injectarea combustibilului decat dupa o perioada de minim 10 secunde.

26. Avantajele pe care le confera utilizarea stabilizatorului de flacara cu torul de imprastiere constau in amestecarea picatura combustibil aer intr-un timp scurt, organizarea arderii prin utilizarea recircularii gazelor arse toate desfasurandu-se intr-un spatiu compact, cu o reducere a noxelor de poluare.

27. Camera de ardere utilizata in lucrarea de fata este o ameliorare a tehnicilor clasice permitand o reducere per ansamblu a poluarii particole C, CO, CO₂, optimizarea reducerii vitezei de curgere, evitarea incetarii precoce a reactiilor chimice fie prin aer de dilutie fie prin filme de racire, cresterea nivelului turbulentei, evitarea fumului prin amestecarea rapida a combustibilului cu o parte din aerul destinat arderii, inaintea amestecarii cu gaze arse recirculate in zona primara.

28. Posibilitatea aplicarii camerei de ardere tubulare cu stabilizatorul de flacara propus ca arzator cu flacara pentru microcentrale in sistemul de incalzire casnic.

In incheiere se poate rezuma ca rezultatele obtinute in prezenta lucrare permit urmatoarele:

29. Explicarea mai exacta a fenomenelor legate organizarea miscarii aerului in camera de ardere.

30. Utilizarea modelului de calcul pentru parametrii termogazodinamici din camera de ardere contribuie la imbunatatirea proiectarii camerelor de ardere.

31. Optimizarea miscarii aerului cu efecte directe asupra arderii respectiv a reducerii poluarii.

11. Bibliografie

1. Abbas, A.S.; Koussa, S.S.; Lockwood, C.F. "The Prediction of the Particle Laden Gas Flows", A.I.C.h.E. Jurnal, (1981) vol. 20 pp 85-95
2. Alheim, M. (1981) "Reaktionsstruktur einer turbulenten Diffusionsflamme hergeleitet aus Ionisationsmessungen", Dissertation, (1981), Universität Karlsruhe pp 29-45
3. Apostolescu, N.; Taraza, D. "Bazele cercetarii experimentale a masinilor termice", Editura didactica si pedagogica, (1979), Bucuresti
4. Bammert, M.; Brütt, A. "Berechnung und Messung der Kennfelder von mehrstufigen Axialturbinen", V.D.I., (1967), Heft 549 pp 101-109
5. Bartlmä, F. "Gasdynamik der Verbrennung", Springer - Verlag, (1977), Wien pp 50-100
6. Berg, H.P. "A finite element method for the calculation of transient and stationary temperature field in two dimensional cartesian and axisymmetric geometry", Bericht, Inst. of Internal Combustion Engines, (1975), Trondheim
7. Betz, A. "Einführung in der Theorie der Strömungsmaschinen", Vogel - Verlag, (1958), Würzburg
8. Bohl, W. "Strömungsmaschinen - kurz und bündig", Vogel-Verlag, (1977), Würzburg
9. Bonney, E.A.; Zucrow, M.J.; Besserer, C.W. "Principles of guided missile design: aerodynamics, propulsion, structures and design practice", Van Nostrand Comp., (1956), New-York, London
10. Boulouchos, A; Hanoschök, M. "Der Wärmetransport Zwischen Arbeitsmedium und Brennraumwand", MTZ 47, (1986), Stuttgart pp 85-91
11. Brown, D.J.; Hutchinson, P. "The Interaction of Solid or Liquid Particles and Turbulent Fluid Flow Fields A Numerical Simulation", Jurnal Fluids Engeneering 5, (1979) pp 29-38
12. Carafoli, E. "Aerodinamica", Editura Tehnica, (1981), Bucuresti
13. Ciobotea, V. "Teoria motoarelor de avion", Academia Militara, (1971), Bucuresti pp 81-122

14. Chambadal, P. "Thermodynamique de turbine à gaz", MTZ 56, (1950), Stuttgart pp 40-54
15. Cordes, G. "Strömungstechnik der gasbeaufschlagten Axialturbine unter besonderer Berücksichtigung der Strahltriebwerksturbine", MTZ 110, (1964), Stuttgart pp 131-148
16. Creta, G. "Turbine cu abur si gaze", Litografia Institutului Politehnic, (1974), Timisoara Vol. I si II
17. Chen, C.P.; Wood, P.E. "Turbulence Closure Modelling of the Dilute Gas - Particle, Axisymmetric Jet", Aiche Jurnal, (1986) Vol.24, pp 163-166
18. David, O. "Auslegungsdiagramme für Axialturbinstufen", MTZ 136, (1970), Stuttgart pp 101-120
19. Dejc, A.; Trojanowskij, C. "Untersuchung und Berechnung axialer Turbinenstufen", Technik-Verlag, (1974), Berlin
20. Dietzel, F. "Gasturbinen-kurz und bündig", Vogel-Verlag, (1974), Würzburg
21. xxx "Diesel und gas turbine worldwide catalog", Published by Diesel und gas turbine progress, (1981), Milwaukee, WI Vol 46
22. Dusinberre, G.M.; Lester, J.C. "Gas turbine power", Int. Textbook Comp., Scranton, (1958), Pensilvany
23. El-Banhawy; Whitelaw, Y. "Calculation of the Flow Properties of a Confined Kerosene - Spray Flame" A.I.Ch.E Jurnal, (1985) Vol.18 pp 110-125
24. Elbaber, O. "Zum Einfluss von Kuhluftrahten und Mischzonengeometrie auf die Temperatur Profile und - Wicklung in Gasturbinen Brennkammera", Dissertation, (1982), Universität Karlsruhe
25. Frötschel, J. "Flugzeugturbinen", Ed.2, Leuchtturm-Verlag, (1979), Alsbach
26. Fuchs, R. "Kreisprozesse der Gasturbinen und die Versuche zu ihrer Verwirklichung", MTZ 312, (1940), Stuttgart pp 291-294
27. Gazarin, A. "Graphische Behandlung der kompressiblen und inkompressiblen Strömung durch Turbomaschinenschaufeln", MTZ 64, (1956), Stuttgart pp 103-123
28. Gebers, F. "Das Scaufelrad im Modellversuch", MTZ 164, (1952), Stuttgart pp 301-309

29. Gericke, E.; Dietrich, F. "Triebwerke für Flugzeuge und Flugkörper", Stephan - Verlagsgesellschaft, (1961), Düsseldorf
30. Girbea, D. "Analiza cu elemente finite", Editura Tehnica, (1990), Bucuresti pp 124-157
31. Graf, K. "Vergleich von Gleichdruck und Verpuffungs Gasturbien", MTZ 132, (1959), Stuttgart pp 201-231
32. Hackeschmidt, M. "Stand und perspektive der mathematischen Modellierung von Raumströmungen", Energietechnik 4, (1979), Leipzig pp 122-126
33. Hausenblas, H. "Vorausberechnung des Teillastverhaltens von Gasturbinen", Springer - Verlag, (1962), Berlin
34. Horlock, J.H. "Axial flow turbines", Butterworths & Co., (1966), London pp 197-209
35. Horlock, J.H. "Axialkompressoren", Braun - Verlag, (1967), Karlsruhe pp 250-287
36. Hallet, W.L.H. "Vapour Pressure Relation for Droplet Combustion Models", Combustion and Flame Nr. 65, (1987) pp 117-119
37. Hieb, Ch. "Betrachtungen zur Tropfenbewegung im turbulenten Strömungsfelotern", Dissertation, (1988), Universität Karlsruhe pp 60-70
38. Himmelsbach, J. "Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Ausbreitung und Verdampfung flüssiger Brennstofftropfen in einer Heißgasströmung", Dissertation, (1987), Universität Karlsruhe pp 101-129
39. Iten, O. "Regeldynamik von Gasturbinen mit verstellbaren Leitapparaten", Juris - Verlag, (1968), Zürich
40. Ispas, S. "Motorul turboreactorului", Editura Tehnica, (1982), Bucuresti pp 238-263
41. Klausmann, W. E. "Untersuchungen zur turbulen Tropfen bewegung und verdampfung unter brennkammertypischen stromungeubedingungen", Dissertation, (1991), Universität Karlsruhe pp 90-101
42. Kleine, A. "Pasives und actives Verhalten einer Flammenfront im turbulenten Stromung", Chemie Ing. Technik 45 Heft 5, (1980) pp 210-215
43. Launder, B.E.; Spalding, B. D. "Mathematical models of turbulence", Acad. Press, (1972), London - New York pp 105-120.

44. Lawaczek, O.; Amecke, J. "Probleme der transsonischen Strömung durch Turbinenschaufelgitter", VDI - Forschungsheft 540, (1971) pp 324-328
45. Leist, K. "Kleingasturbinen, insbesondere zum Fahrzeugantrieb", MTZ 332, (1955), Stuttgart pp 401-403
46. Lutz, O.; Wolf, O. "I-S - Tafel für Luft und Verbrennungsgase", Springer - Verlag, (1938), Berlin
47. Lutz, O. "Probleme der Luft - und Raumfahrtantriebe", Westdeutscher - Verlag, (1965), Wiesbaden pp 201-210
48. Lockwood; Spalding, B.D. "Prediction of turbulent reacting directflow with significant radiation" - Proc. Collog. d'Evian Soc; Franc. Phys., (1971) pp 27-31
49. Loison, R. "Les modeles mathematiques de flame", Revue generale de Thermique, (1969) Vol. I-II 84, pp 209-214
50. Mahmens, H. "Raketentechnik in der Hansheizung", M.A.N. - Forschen planen bauen, (1981), Nürnberg pp 40-48
51. Manole, I. "Calculul si constructia turbomotoarelor de aviatie", Academia Militara, (1976), Bucuresti pp 8-143
52. Manole, I. "Calculul si constructia motoarelor cu turbine de gaze pentru aviatie", Academia Militara, (1971), Bucuresti
53. Martin, O. "Dampf - und Gasturbinen", Walter de Gruyter - Verlag, (1971), Berlin
54. Michelfelder, S. "Erkenntnisstand und Zukunftsaufgaben der Flammenforschung", Energietechnik 6, (1976), Leipzig pp 250-258
55. Müller, K.J. "Thermische Strömungsmaschinen", Springer - Verlag, (1978), Berlin
56. Münzberg, H.G. "Flugantriebe", Springer - Verlag, (1972), Berlin
57. Münzberg, H.G.; Kurzke, J. "Gasturbinen - Betriebsverhalten und Optimierung", Springer - Verlag, (1978), Berlin
58. Neidel, W.; Sontag, R.; Fakhiri, A. "Berechnung der Wärmeübertragung in flammenbetriehten Brennkammera unter Berücksichtigung des Stromungs und Ausbranfeldes", Energietechnik 4, (1979), Leipzig pp. 126-130

59. Noll, B.; Bauer, H-J.; Willig "Gesichtspunkte der numerische Simulation Turbulenter Strömungen in brennkammertypischen Konfigurationes zur Veröffentlichung angenommen bei: Zeitschrift für Flugwissenschaften und Weltraumforschung DGLR und der Deutschen Forschungs und Versuchsanstalt für Luft", Bericht, (1989), Universität Karkruhe pp 12-15
60. Neville, L.E.; Silsbee, N.F. "Jet propulsion progress", McGraw-Hill Book Comp., (1953), New York, London
61. Nicolai, L.M. "Fundamentals of aircraft design", University of Dayton, Ohio - Pergamon Press, (1976)
62. Oehmichen, M. "Beitrag zur thermodynamischen Auslegung von einstufigen Gasturbinenanlagen", Technik - Verlag, (1963), Berlin
63. **Palcu, G.** "Turbomotor pentru vehicule feroviare", P.D. I. Politehnic, (1980), Timisoara
64. **Palcu, G.** "Influenta camerei de ardere a turbomotorului aeronautic asupra poluarii mediului", Academia Romana "Zilele Academice Timisene", (1995) pp. 122-123
65. **Palcu, G.** "Influenta parametrilor functionali si a produselor din camera de ardere ale turbomotoarelor asupra poluarii chimice si metode de reducere", Academia Romana "Zilele Academice Timisene", Sectiunea Poluarea Mediului, 26-27 mai, (1997)
66. **Palcu, G.**; Berindean, V.; Agapie, D. "Emisiunile poluante cu fum, relatii empirice experimentale, modelarea acestor emisii poluante la motoarele Diesel supra-alimentate cu racire intermediara a aerului", Academia Romana "Zilele Academice Timisene", Sectiunea Poluarea Mediului, 26-27 mai, (1997)
67. **Palcu, G.**; "Electrical modelling of streamlines with electroconduct paper for combustion chamber of Turbo-Jet Engine"; Buletinul stiintific al Universitatii "Politehnica" din Timisoara, Tom 42(56), Seria Mecanica, vol. II (1997)
68. **Palcu, G.**; "Modelling of air circulation in combustion chamber of Turbo-Jet Engine with lighting discharge in extra high tension and frequency"; Buletinul stiintific al Universitatii "Politehnica" din Timisoara, Tom 42(56), Seria Mecanica, vol. II (1997)
69. Popa, B.; Bataga, N.; Madarasan, T. "Solicitari termice in constructia de masini", Editura Tehnica, (1978), Bucuresti
70. Petermann, H. "Konstruktionen und Bauelemente von Strömungsmaschinen", Springer - Verlag, (1960), Berlin

71. Petermann, H. "Einführung in den Strömungsmaschinen", Springer - Verlag, (1974), Berlin pp 80-95
72. Pfeleiderer, C.; Petermann, H. "Strömungsmaschinen", Ed. 4, Springer - Verlag, (1972), Berlin pp 48-72
73. Pimsner, V. "Energetica turbomotoarelor cu ardere interna", Editura Academiei, (1964), Bucuresti
74. Spalding, B. D. "Liquid - Propellant Rocket", Kraftfahrzeugtechnik (KFT) nr. 5-6, (1975) pp 250-295
75. Spalding, B.D. "Mixing and Chemical Reaction in Steady Confined Turbulent Flames" - 13th Symp. (Int.) Combust., (1971), London
76. Spalding, B.D. "Mathematische Modelle turbulenter Flammen", VDI Bericht nr. 146, (1970) pp 95-120
77. Spalding, D.B. "A two equation model of turbulence", VDI Forschungsheft 549, (1975) pp 42-60
78. Schmidt, F.A.F. "Untersuchungen zur Erforschung des Einflusses des chemischen Aufbaues des Kraftstoffes auf sein Verhalten im Motor und in Brennkammern von Gasturbinen", MTZ 332, (1955), Stuttgart pp 145-172
79. Schmidt, F.A.F. "Verbrennungskraftmaschinen", Ed. 4, Springer - Verlag, (1977), Berlin
80. Schnee, J. "Theorie der Gasturbinen", MTZ 152, (1956), Stuttgart
81. Schneider, G. "Verbrennungskraftmaschinen", Hanser - Verlag, (1967), München
82. Schell, E.; Eckert, B. "Axial - und Radial - Kompressoren", Ed. 2, Springer - Verlag, (1961), Berlin
83. Schoppe, F. "Über Mischungsvorgänge in gasgefeuerten Brennkammern", MTZ 298, (1957), Stuttgart pp 309-314
84. Stoffels, W. "30 Jahre Gasturbinenlokomotiven", MTZ 432, (1965), Stuttgart pp 420-427
85. Thring, M.V. "Pulsating Combustion", Pergamon Press, (1961), London

86. Tihonov, N.D.; Kopebed, C.E. "Rascet turbin avionnîh dvigatelei", Masinestroennie 7. (1974). Moscova pp 293-330
87. Traupel, W. "Thermische Turbomaschinen - Thermodynamisch strömungstechnische Berechnungen", Ed. 3, Springer - Verlag, (1977), Berlin
88. Traupel, W. "Die Theorie der Strömung durch Radialmaschinen", Braun - Verlag, (1962). Karlsruhe
89. Ursescu, D. "Contributii la problema modelarii camerei de ardere pentru turbine cu gaz functionand cu combustibili gazosi", Teza de doctorat, (1982) pp 20-110
90. Vincent, E.P. "The theory and design of gas turbines and jet engines", McGraw - Hill Book Comp., (1950), New York
91. Woschni, G. "A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine", SAE Transp. 670931, (1967) pp 3065-3077
92. Worschi, G. "Beitrag zum Problem des Wärmeüberganges im Verbrennungsmotor", MTZ 26, (1965), Stuttgart pp 128-133
93. Wuest, W; Nakajima, K. "An experimental investigation of the air swirl motion and combustion in the swirl chambre of diesel engine" XII Congres FISITA, (1968), Barcelona pp 421-449
94. Zarioiu, G. "Aviatiia moderna. Realizari si perspective", Editura Scrisul Romanesc, (1977), Craiova
95. Zucrow, M.J. "Principles of jet propulsion and gas turbines", Wiley, (1948), New York

ANEXE

△
△
△

**PROGRAM DE CALCUL PENTRU MARIMILE DE STARE
LA SFARSITUL CAMEREI DE ARDERE**

```

PROGRAM CMSCAF
DIMENSION T(28,6)
REAL*8 KAPA
OPEN(1,FILE='DATE.DAT',FORM='FORMATTED',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='REZU.DAT',FORM='FORMATTED',STATUS='OLD')
11  READ(1,2,END=13)PB,P1,W1,T1,R,CP,F1,F2,KAPA,ETA,X,Y,FI
2   FORMAT(6F10.2,7F10.5)
   G=P1*W1*F1/(R*T1)
   T2=T1*1.
3   W21=SQRT(2.*CP*(T1-T2)+ETA*W1**2)
   W22=G*R*T2*((T1/T2)**(KAPA/(KAPA-1.)))/(P1*P2)
   IF((W21-W22).LE.0.3)GOTO 10
   T2=T2+0.01
   GOTO 3
10  W2=W21
   P2=P1*((T2/T1)**(KAPA/(KAPA-1.)))
   V2=R*T2/P2
   CPTO2=OK*T2+(W2**2)/2.
   W2MAX=SQRT(2.*CPTO2)
   WS2=W2MAX*SQRT((K-1.)/(KAPA+1.))
   RO2=P2/(1-W2**2/W2MAX**2)**(KAPA/(KAPA-1.))
   WN2=W2/WS2
   WRITE(2,20)P1,W1,T1,F1,F2,R,CP,KAPA,ETA,X,Y,FI,G,T2,W2,R2,V2.
-  CPTO2,W2MAX,WS2,RO2,WN2,PB
20  FORMAT(/30X,F25.3)
   DO 23 J=1,6
   T(1,J)=J/10.
   T(2,J)=WS2*T(1,J)
   T(3,J)=(T(1,J)/WN2-1.)*(1-WN2*T(1,J))-(1.+T(1,J)**2)*Y-
-  2.*KAPA*X*WN2*T(1,J)/(KAPA*1.)
   T(4,J)=T(3,J)/(1+Y)
   T(5,J)=T(4,J)*CPTO2
   T(6,J)=G*(1.+Y)*T(5,J)
   T(7,J)=P2-G*(T(2,J)-W2-X*W2-Y*T(2,J))/F2
   T(8,J)=F2*T(2,J)/(G*(1.+Y))
   T(9,J)=T(7,J)*T(8,J)/R
   T(10,J)=SQRT((CPTO2+T(5,J))*W2MAX**2/CPTO2)
   T(11,J)=T(7,J)/(1.+T(2,J)**2/T(10,J)**2*(KAPA/(KAPA-1.)))
   P4=PB
   T(12,J)=FI*SQRT(2.*KAPA*T(7,J)*T(8,J)+(1.-P4/T(7,J))*((KAPA-
-  1.)/KAPA))/(KAPA-1.)+T(2,J)**2)
   T(13,J)=T(9,J)*(P4/T(7,J)**(KAPA-1.)/KAPA)
   T(14,J)=R*T(13,J)/P4
   T(15,J)=G*(1.+Y)*T(14,J)/T(12,J)
   T(16,J)=SQRT(4.*T(15,J)/3.1415)
   T(17,J)=G*(1.+Y)*T(12,J)-G*W1
   CI2=-298.+1.0907*T2-25.72*SIN(0.0031415*(T2-273.15))
   T(18,J)=T2+30.
25  T(19,J)=0.5*(R*T2/W2+(1.-X)*W2)/(1.+T2)-SQRT(0.25*((R*T2/W2+
-  (1.-X)*W2)/(1.+Y))**2-R*T(18,J))
   IF(T(18,J)-1273.15)50,50,51
50  CI3=-298.+10907*T(18,j)-25.72*SIN(0.003145*T(18.J-273.15))
   GOTO 52
51  CI3=-298.+1.0907*T(18,J)+0.0000387*(T(18.J)-1273.15)**2+
-  0.09813*T(18.J)-123.15)
52  DIFI2T3=CI2-CI3
   DIFI2T3=DIFI2T3*1000.

```



```

T(20,J)=SQRT(2.*(W2**2/2.+T(6,J)/(G**1.+Y))+DIFI2I3))
IF(T(20,J)-T(19,J)).LE.100.)GOTO 21
T(18,J)=T(18,j)+2
GOTO 25
21  T(20,J)=T(19,J)
T(21,J)=P2-G*(T(20,J)-W2-X*W2-Y*T(20,J))/F2
T(22,J)=T(18,J)*R/P2
A=KAPA*T(21,J)*T(22,J)*(1.-(R4/T(21,J)**((KAPA-1.)/KAPA))
T(23,J)=F1*SQRT(2.*A/(KAPA-1.)+T(20,J)**2)
T(24,J)=T(18,J)*(P4/T(21,J)**((KAPA-1.)/KAPA)
T(25,J)=R*T(24,J)/P4
T(26,J)=G*(1.+Y)*T(25,J)/T(23,J)
T(27,J)=SQRT(4.*T(26,J)/3.1415)
23  T(28,J)=G*1.+Y)*T(23,J)-G*W1
WRITE(2,100)
100  FORMAT(//5X,6F20.6)
WRITE(2,101)((TI,J),J=1,6),I=1,28)
101  FORMAT(//5X,6F20.6)
GOTO 11
13  CONTINUE
STOP
END

```

PROGRAM DE CALCUL PENTRU α_g

```
program cccc
real*8 d,dx,w,pg,tg,alfa,p1,p2,p3,p4
dimension dx(22),w(22),pg(22),tg(22),d(22),alfa(22)
character*4 c
open(3,file='c:\palcu\alfa.dat')
do k=1,22
c=' d='
write(*,1)c
1 format(a4,$)
read(*,2)dx(k)
d(k)=dx(k)*(10.**(-3.))
c=' w='
write(*,1)c
read(*,2)w(k)
2 format(f20.7)
c=' pg='
write(*,1)c
read(*,2)pg(k)
c=' tg='
write(*,1)c
read(*,2)tg(k)
p1=110*(d(k)**(-0.214))
p2=w(k)**0.786
p3=pg(k)**0.786
p4=tg(k)**(-0.525)
c
alfa(k)=p1*p2*p3*p4
alfa=(110*d**(-0.214))*(w**0.786)*(pg**0.786)*(tg**(-0.525))
print*,' alfa=',alfa(k)
write(3,3)k,d(k),w(k),pg(k),tg(k),alfa(k)
3 format(i5,5f20.7)
enddo
close(3)
stop
end
```

PROGRAM DE CALCUL A LUNGIMII OPTIME A CAMEREI DE ARDERE

```

program cremat
double precision s,fi,zeta,pil,pix,pir
open(3,file='c:\palcu\cremat.dat',form='formatted')
ri=0
1  continue
   s=ri
   rm=0
2  continue
   fi=rm
   rn=0.1
3  continue
   zeta=rn
   t1=(1./2.)*(1-fi**2)
   t2=(s/(5*(s-3)))*(1-fi**5)
   pix=t1-t2
   t3=(zeta+(3/(s-3)))/(s-2.)
   t4=(1-fi**(s+2))
   pir=t3*t4
c  pir=((zeta+(3/(s-3)))/(s-2.))*(1-fi**(s+2))
   pil=pix+pir
   write(3,100)s,fi,zeta,pil
   nsc=nsc+1
100 format(' s=',f10.3,' fi=',f10.3,' zeta=',f10.3,' lung=',f20.3)
   rn=rn+0.2
   if(rn.le.3.)goto 3
   if(rm.le.0.9)then
   rm=rm+0.1
   goto 2
   endif
   if(s.le.3.)then
   ri=ri+0.1
   goto 1
   else
   if(s.le.50.)then
   ri=ri+5
   goto 1
   endif
   endif
   print*,' total pozitii scrise :',nsc
   stop
end

```

**PROGRAM DE ORDONARE A REZULTATELOR OBTINUTE
IN PROGRAMUL CREMAT
IN VEDEREA LISTARII LOR LA IMPRIMANTA**

```
program comcre
double precision s,fi,zeta,pil,z,p
dimension z(15),p(15),
open(1,file='c:\palcu\cremat.dat',form='formatted')
open(3,file='c:\palcu\lung.dat',form='formatted')
read(1,100,end=250)s,fi,zeta,pil
i=i+1
ncit=ncit+1
z(i)=zeta
p(i)=pil
goto 2
write(3,200)s(1),fi(1),z
write(3,201)p
format(' s=',f10.3,' fi=',f10.3,' zeta=',15f20.3)
format(24(' '), ' lungime=',15f20.3)
nsc=nsc+1
i=0
goto 2
format(3x,f10.3,4x,f10.3,6x,f10.3,6x,f20.3)
goto 1
continue
write(3,200)s,fi zeta
write(3,201)pil
print*,' total pozitii citite :',ncit
print*,' total pozitii scrise :',nsc
stop
end
```

PROGRAM DE CALCUL CU ELEMENTE FINITE A CAMPULUI DE TEMPERATURA LA PERETELE CAMEREI

```

program ter1
  dimension s(32),s1(32),kk(3),ss(3,32),sx(32)
  dimension x(400),y(400),alamdx(450),alamdy(450),flint(450)
  dimension icon(400),id(450,3),teta(400)
  dimension sec(3,3),fec(3)
  dimension se(3,3),fe(3),fef(3)
  dimension a(3),b(3),c(3)
  dimension ncon(350,3),nflux(350,3),alfa(350),tetae(350),flu(350)
  dimension ititl(80),kb(3)
  dimension rp$(3),zps$(3)
  nod=3
c *****
c  subrutina inn
c *****
  open(6,file='c:\palcu\pi06.dat',form='formatted',status='old')
  read(6,500)nprobl,nflag,ne,nn,nntimp,neconv,neflux
  write(*,500)nprobl,nflag,ne,nn,nntimp,neconv,neflux
  read(6,550)ititl
500  format(7i5)
550  format(80a1)
  endfile 6
  open(7,file='c:\palcu\pps07.dat',form='formatted',status='old')
  do k=1,nn
    read(7,650)ki,y(k),x(k),teta(k),icon(k)
650  format(i5,3f10.2,i5)
    enddo
    open(8,file='c:\palcu\pp08.dat',form='formatted',status='old')
    do k=1,ne
      read(8,700)ki,id(k,1),id(k,2),id(k,3),flint(k),
-      alamdx(k),alamdy(k)
700  format(4i5,f10.0,f10.2,f10.2)
      enddo
      if(neflux.eq.0)goto 18
      open(9,file='c:\palcu\pi09.dat',form='formatted',status='old')
      do k=1,neflux
        read(9,750)ki,nflux(k,1),nflux(k,2),nflux(k,3),flu(k)
750  format(4i5,f10.0)
      enddo
      endfile 9
18  continue
      if(neconv.eq.0)goto 112
      open(10,file='c:\palcu\pi10.dat',form='formatted',
-      status='old')
      do k=1,neconv
        read(10,800)ki,ncon(k,1),ncon(k,2),ncon(k,3),alfa(k),tetae(k)
800  format(4i5,f10.2,f10.2)
      enddo
      endfile 10
112  continue
      open(3,file='c:\palcu\rez.dat',form='formatted')
      write(3,1000)nprobl
      write(3,1100)ititl
      write(3,1200)
      write(3,1300)ne,nn,nntimp,neconv,neflux
      write(3,1400)
      do i=1,nn
        write(3,1500)i,x(i),y(i),teta(i),icon(i)
      enddo

```

```

write(3,1600)
do i=1,ne
  write(3,1700)i,(id(i,k),k=1,3),flint(i),alamdx(i),alamdy(i)
enddo
if(neflux.eq.0)goto 170
do i=1,neflux
  write(3,1900)(nflux(i,k),k=1,3),flu(i)
enddo
170  continue
if(neconv.eq.0)goto 101
write(3,2000)
do i=1,neconv
  write(3,1900)(ncon(i,k),k=1,3),alfa(i),tetae(i)
enddo
101  continue
1000 format(//,10x,'varianta nr. ',i4,/)
1100 format(2x,70a1,/)
1200 format(10x,' ne nn nntimp neconv neflux',/)
1300 format(9x,2(1x,i3),3(5x,i3),/)
1400 format(//,25x,' date nodale',//,10x,'n  x  y  teta',
- ' icon',/)
1500 format(7x,i5,3f10.2,4x,i5)
1600 format(//,20x,'datele elementelor',//,5x,'n  id  flint'
- '  alamdX  alamdY',/)
1700 format(2x,4i5,f10.0,f12.2,f10.2)
1800 format(//,10x,'date pt. flux termic',//,10x,'nflux  flu',/)
1900 format(2x,3i5,2f12.2)
2000 format(//,15x,'date pt. convectie',//,10x,'ncon  alfa'
- '  tetae',/)
c *****
c subrutina bad
c *****
c read(*,*)
nsize=0
mband=0
do ii=1,nn
  if(icon(ii).le.0)then
    nsize=nsize+1
  icon(ii)=nsize
  else
    icon(ii)=0
  endif
enddo
do n=1,ne
do i=1,nod
  ij=id(n,i)
  kb(i)=icon(ij)
enddo
max=0
min=10000
do i=1,nod
  if(kb(i).eq.0)goto 2155
  if(kb(i).gt.max)max=kb(i)
  if(kb(i).lt.min)min=kb(i)
2155 continue
enddo
ndif=max-min+1
if(ndif.gt.mband)mband=ndif
enddo
write(3,2200)nsize.mband
2200 format(//,5x,'numarul de ecuatii. nsize=',i4,/,
- 5x,' semilatimea benzii.mband=',i4,/)
write(*,2200)nsize.mband
: *****
do i=1,nn

```

```

        x(i)=x(i)/100.
        y(i)=y(i)/100.
    enddo
do i=1,32
s1(i)=i
s(i)=0
enddo
    open(2,file='c:\palcu\matrice.dat',recl=128,access='direct',
-   form='unformatted')
    i=1
10    write(2,rec=i)s
    goto 15
12    write(2,rec=i)s1
15    i=i+1
    if(i.le.nsize)goto 10
        if(i.lt.nsize+31)goto 12
        write(2,rec=i)s1
        rewind 2
c    *****
c    subrutina fmk
c    *****
    write(*,3900)
3900  format(//,3x,'constituirea ecuatiilor elementare',/)
        do 490 me=1,ne
            do i=1,nod
                fe(i)=0
                do j=1,nod
                    se(i,j)=0
                enddo
            enddo
c    *****
c    subrutina shp
c    *****
            ii=id(me,1)
            jj=id(me,2)
            mm=id(me,3)
            det=(x(jj)*y(mm)-x(mm)*y(jj))-(x(ii)*y(mm)-x(mm)*y(ii))+
-            (x(ii)*y(jj)-x(jj)*y(ii))
            delta=0.5*det
            a(1)=x(jj)*y(mm)-x(mm)*y(jj)
            b(1)=y(jj)-y(mm)
            c(1)=x(mm)-x(jj)
            a(2)=x(mm)*y(ii)-x(ii)*y(mm)
            b(2)=y(mm)-y(ii)
            c(2)=x(ii)-x(mm)
            a(3)=x(ii)*y(jj)-x(jj)*y(ii)
            b(3)=y(ii)-y(jj)
            c(3)=x(jj)-x(ii)
c    *****
            do i=1,nod
                do j=1,nod
                    se(i,j)=0.25*(b(i)*b(j)*alamdx(me)+c(i)*c(j)*alamdy(me))/delta
                enddo
            enddo
            if(nflag.ne.1)goto 412
            raza=(x(ii)+x(jj)+x(mm))/3.0
            pi=3.1415927
            raza=2.0*pi*raza*raza
            do i=1,nod
                do j=1,nod
                    se(i,j)=se(i,j)*raza
                enddo
            enddo
412  continue
        if(flint(me).eq.0)goto 413

```

```

qq$1=flint(me)
qq$2=flint(me)
qq$3=flint(me)
constq=delta/12
fe(1)=(2.0*qq$1+qq$2+qq$3)*constq
fe(1)=(qq$1+2.0*qq$2+qq$3)*constq
fe(1)=(qq$1+qq$2+2.0*qq$3)*constq
if(nflag.ne.1)goto 413
rbar=(x(ii)+x(jj)+x(mm))/3
zbar=(y(ii)+y(jj)+y(mm))/3
rp$(1)=rbar-x(ii)
rp$(2)=rbar-x(jj)
rp$(3)=rbar-x(mm)
zp$(1)=zbar-y(ii)
zp$(2)=zbar-y(jj)
zp$(3)=zbar-y(mm)
fact1=(rp$(1)**2+rp$(2)**2+rp$(3)**2)/12.
fact2=(rp$(1)*zp$(1)+rp$(2)*zp$(2)+rp$(3)*zp$(3))/12.
fact3=rbar*flint(me)*pi
fe(1)=fact3*(a(1)*rbar+b(1)*(rbar**2)+b(1)*fact1+c(1)*rbar*
- zbar+c(1)*fact2)
fe(2)=fact3*(a(2)*rbar+b(2)*(rbar**2)+b(2)*fact1+c(2)*rbar*
- zbar+c(2)*fact2)
fe(3)=fact3*(a(3)*rbar+b(3)*(rbar**2)+b(3)*fact1+c(3)*rbar*
- zbar+c(3)*fact2)
413 continue
if(neconv.eq.0)goto 420
do i=1,neconv
if(me.ne.ncon(i,1))goto 415
nme=i
*****
c subrutina con
c *****
nrel=ncon(nme,1)
nodk=ncon(nme,2)
nodl=ncon(nme,3)
xk=x(nodk)
yk=y(nodk)
xl=x(nodl)
yl=y(nodl)
dx=xk-xl
dy=yk-yl
dlkl=sqrt(dx*dx+dy*dy)
do iu=1,3
fec(iu)=0
do ju=1,3
sec(iu,ju)=0
enddo
enddo
h=1
if(nflag.ne.1)goto 520
pi=3.1415927
h=pi*(xl+xk)
520 continue
do 530 ina=1,3
if(id(nrel,ina).eq.nodk)goto 530
if(id(nrel,ina).eq.nodl)goto 530
nlc=ina
goto 532
530 continue
532 do ic=1,3
if(ic.eq.nlc)goto 541
fec(ic)=0.5*h*alfa(nme)*dlkl*tetae(nme)
do jc=1,3
if(jc.eq.nlc)goto 540

```



```

        if(ic.ne.jc)goto 535
        sec(ic,jc)=h*dlkl*alfa(nme)/3
        goto 540
535    sec(ic,jc)=h*dlkl*alfa(nme)/6
540    continue
        enddo
541    continue
        enddo
        do 555 ic=1,3
        fe(ic)=fe(ic)+fec(ic)
        do 555 jc=1,3
        se(ic,jc)=se(ic,jc)+sec(ic,jc)
555    continue
c     *****
c     goto 420
415    continue
        enddo
420    continue
        if(neflux.eq.0)goto 425
        do 422 i=1,neflux
        if(me.ne.nflux(i,1))goto 422
        nme=i
c     *****
c     subrutina flx
c     *****
        nrel=nflux(nme,1)
        nodk=nflux(nme,2)
        nodl=nflux(nme,3)
        xk=x(nodk)
        yk=y(nodk)
        xl=x(nodl)
        yl=y(nodl)
        dx=xk-xl
        dy=yk-yl
        dlkl=sqrt(dx*dx+dy*dy)
        do ifx=1,3
        fef(ifx)=0
        enddo
        h=1.0
        if(nflag.ne.1)goto 605
        pi=3.1415927
        h=pi*(xk+xl)
605    continue
        do 615 ifx=1,3
        if(id(nrel,ifx).eq.nodk)goto 615
        if(id(nrel,ifx).eq.nodl)goto 615
        nlc=ifx
        goto 618
615    continue
618    do 620 ifx=1,3
        if(ifx.eq.nlc)goto 620
        fef(ifx)=0.5*h*flu(nme)*dlkl
620    continue
        do 625 ifx=1,3
        fe(ifx)=fe(ifx)+fef(ifx)
625    continue
        goto 425
c     *****
422    continue
425    continue
        if(nntimp.eq.0)goto 480
        if(icon(ii).ne.0)goto 440
        if(teta(ii).ne.0)goto 440
        fe(2)=fe(2)-se(2,1)*teta(ii)
        fe(3)=fe(3)-se(3,1)*teta(ii)

```

```

440  if(icon(jj).ne.0)goto 445
      if(teta(jj).ne.0)goto 445
      fe(1)=fe(1)-se(1,2)*teta(jj)
      fe(3)=fe(3)-se(3,2)*teta(jj)
445  if(icon(mm).ne.0)goto 450
      if(teta(mm).ne.0)goto 450
      fe(1)=fe(1)-se(1,3)*teta(mm)
      fe(2)=fe(2)-se(2,3)*teta(mm)
450  continue
480  continue
c    *****
c    subrutina asm
c    *****
      mbl=mband+1
      do ia=1,3
      do ja=1,32
      ss(ia,ja)=0
      enddo
      enddo
      kk(1)=icon(ii)
      kk(2)=icon(jj)
      kk(3)=icon(mm)
      ia=0
720  ia=ia+1
      if(kk(ia).eq.0)goto 780
      m=kk(ia)
      read(2,rec=m)sx
      do ix=1,mbl
      ss(ia,ix)=sx(ix)
      enddo
780  if(ia.lt.nod)goto 720
      do ia=1,nod
      if(kk(ia).eq.0)goto 7150
      m=kk(ia)
      ss(ia,mbl)=ss(ia,mbl)+fe(ia)
      do 7100 ja=1,nod
      if(kk(ja).lt.m)goto 7100
      nk=kk(ja)-m+1
      ss(ia,nk)=ss(ia,nk)+se(ia,ja)
7100  continue
7150  continue
      enddo
      ia=0
7180  ia=ia+1
      if(kk(ia).eq.0)goto 7200
      m=kk(ia)
      do ka=1,mbl
      sx(ka)=ss(ia,ka)
      enddo
      write(2,rec=m)sx
      if(nx.le.m)nx=m
7200  if(ia.lt.nod)goto 7180
c    *****
490  continue
      read(2,rec=nx)
      print*,' catesc ultimul rec=' ,nx
      read(*,*)
      endfile 2
      open(5,file='c:\palcu\nsize.dat',form='formatted')
      write(5,491)nsizе.mband.nn
491  format(3i5)
      endfile 5
      stop
      end

```

PROGRAM DE CALCUL CU ELEMENTE FINITE A CAMPULUI DE TEMPERATURA LA PERETELE CAMEREI

```

program ter2
double precision teta
dimension icon(400),teta(400),ki(300)
common /bl1/ si(62,31),ri(62),nsize,mband,mac,nre,nc,neq,nx
common /bl2/ save(400)
open(6,file='c:\palcu\matrice.dat',recl=128,access='direct'
- ,status='old'.form='unformatted')
rewind 6
open(5,file='c:\palcu\nsize.dat'.form='formatted')
open(7,file='c:\palcu\pps07.dat'.form='formatted')
open(2,file='c:\palcu\terez.dat'.form='formatted')
read(5,1)nsize,mband,nn
print*,' nsize=',nsize,' mband=',mband,' nn=',nn
nx=nsize
1  format(3i5)
endfile 5
do 5 i=1,62
ri(i)=0
do 5 j=1,31
si(i,j)=0
5  continue
neq=nsize
nc=nsize/mband
nd=nsize/mband*mband-nsize
if(nd.eq.0)goto 80
nc=nc+1
80  continue
call red
call sub
endfile 6
do 100 k=1,nn
read(7,1350)ki(k),y,x,teta(k),icon(k)
100  continue
nsi=0
do 110 ii=1,nn
if(icon(ii).gt.0)goto 105
nsi=nsi+1
icon(ii)=nsi
goto 110
105  icon(ii)=0
110  continue
do 120 i=1,nn
ii=icon(i)
if(ii.eq.0)goto 120
teta(i)=save(ii)
120  continue
write(2,1400)
do 130 i=1,nn
write(2,1500)ki(i),teta(i)
130  continue
if(nn.eq.nn/32*32)goto 150
ns=nn/32+1
goto 155
150  ns=nn/32
155  continue
open(8,file='c:\palcu\temper.dat'.form='formatted')
i=0
160  i=i+1

```

```

m=32*i-31
n=m+31
write(8,1600)(teta(j),j=m,n)
1600 format(f12.3)
if(i.le.ns)goto 160
endfile 8
1350 format(i5,3f10.2,i5)
1400 format(//,6x,'valoarea functiei necunoscute in noduri',/,
- 2x,'(temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)',//,
- 2x,'nr.nod valoarea temperaturii in nod',//)
1500 format(1x,i5,5x,f17.7)
stop
end
c *****
subroutine red
c *****
common /bl1/ si(62,31),ri(62),nsize,mband,mac,nre,nc,neq,nx
common /bl2/ save(400)
mbd=2*mband
lid=1
lsd=mbd
lim=1
call rdi(lid,lsd,lim)
mac=1
nsize=mband
do 180 kk=1,nc
call solve1
lid=(kk-1)*mband+1
lsd=lid+mband-1
lim=1
call wri(lid,lsd,lim)
if(kk.ne.1)goto 120
do 115 i=1,mband
115 save(i)=si(1,i)
save(mband+1)=ri(1)
120 continue
if(kk.eq.nc)goto 140
do i=1,mband
li=i+mband
ri(i)=ri(li)
do j=1,mband
si(i,j)=si(li,j)
enddo
enddo
140 continue
if(kk.ge.(nc-1))goto 170
lid=(kk+1)*mband+1
lsd=lid+mband-1
if(lsd.gt.nx)lsd=nx
lim=mband+1
call rdi(lid,lsd,lim)
170 continue
180 continue
return
end
c *****
subroutine sub
c *****
common /bl1/ si(62,31),ri(62),nsize,mband,mac,nre,nc,neq,nx
common /bl2/ save(400)
mac=2
nsize=mband
nrest=nc*mband-neq
lid=(nc-1)*mband+1
lsd=lid+mband-1

```

```

        lim=1
        call rdi(lid,lsd,lim)
        nc1=nc+1
        do 280 kk=1,nc1
            nre=1
            if(kk.ne.1)goto 220
            nre=nrest+2
220     continue
            if(kk.gt.nc)goto 225
            call solve1
225     m=nc-kk+1
            if(kk-1)228,235,228
228     li=m*mband+1
            liri=mband+1
            do 230 i=1,mband
                save(li)=ri(liri)
                li=li+1
                liri=liri+1
230     continue
235     continue
            if(kk.gt.nc)goto 240
            do i=1,mband
                ii=i+mband
                ri(ii)=ri(i)
            enddo
240     continue
            if(kk.ge.nc)goto 260
            lid=(m-2)*mband+1
            lsd=lid+mband-1
            lim=1
            call rdi(lid,lsd,lim)
260     continue
280     continue
        return
    end
c *****
c subroutine solve1
c *****
        common /bl1/ s(62,31),f(62),nsize,mband,mac,nre,nc,neq,nx
        goto(3,28)mac
3       do 15 n=1,nsize
            do 10 l=2,mband
                if(s(n,l).eq.0)goto 10
                i=n+1-l
                z=s(n,l)/s(n,1)
                j=0
                do 5 k=1,mband
                    j=j+1
5         s(i,j)=s(i,j)-z*s(n,k)
                s(n,l)=z
10      continue
15      continue
            do 25 n=1,nsize
                do 20 l=2,mband
                    if(s(n,l).eq.0)goto 20
                    i=n+1-l
                    f(i)=f(i)-s(n,l)*f(n)
20      continue
                    if(s(n,1).eq.0)then
                        print*,' f('n,')=',f(n),' s('n,1)=',s(n,1)
                        goto 25
                    endif
                    f(n)=f(n)/s(n,1)
25      continue
        return

```

```

c *****
28 do 35 m=nre,nsiz
n=nsiz+1-m
do 30 l=2,mband
if(s(n,l).eq.0)goto 30
k=n+1-l
f(n)=f(n)-s(n,l)*f(k)
30 continue
35 continue
return
end
c *****
subroutine rdi(lid,lsd,lim)
c *****
dimension ss(32)
common /b11/ si(62,31),ri(62),nsiz,mband,mac,nre,nc,neq,nx
i=lid
j=lim
2 read(6,rec=i)ss
do ju=1,mband
si(j,ju)=ss(ju)
enddo
ri(j)=ss(mband+1)
i=i+1
j=j+1
if(i.le.lsd)goto 2
return
end
c *****
subroutine wri(lid,lsd,lim)
c *****
dimension ss(32)
common /b11/ si(62,31),ri(62),nsiz,mband,mac,nre,nc,neq,nx
i=lid
j=lim
2 do ju=1,mband
ss(ju)=si(j,ju)
enddo
ss(mband+1)=ri(j)
write(6,rec=i)ss
i=i+1
j=j+1
if(i.le.lsd)goto 2
return
end

```

VALORILE LUI α_g

Tab. 4.5.

Nr. nod	Diametru D[m]	Viteza gaz W [m/s]	Presiunea gaz P_g [N/m ²]	Temperatura T_g [°C]	Valorile lui α_g [W/m ² grad]
1	.0610000	70.0000000	100566.0000000	40.0000000	6957038.7232925
2	.0620000	68.0000000	100850.0000000	40.0000000	6791735.5009074
3	.0630000	65.0000000	101566.0000000	40.0000000	6569110.1445061
4	.0640000	64.0000000	101940.0000000	40.0000000	6486421.1701839
5	.0650000	62.0000000	102240.0000000	43.0000000	6084715.3757743
6	.0660000	60.0000000	102530.0000000	45.0000000	5784017.2619382
7	.0670000	60.0000000	102850.0000000	65.0000000	4764888.6960865
8	.0680000	57.0000000	102900.0000000	75.0000000	4233551.7470869
9	.0690000	54.0000000	102950.0000000	90.0000000	3676949.0139025
10	.0700000	51.0000000	103010.0000000	250.0000000	2050674.3792645
11	.0700000	47.0000000	103050.0000000	450.0000000	1412960.2050627
12	.0720000	43.0000000	103100.0000000	850.0000000	938223.4257055
13	.0750000	42.0000000	103100.0000000	950.0000000	861231.8778374
14	.0720000	39.0000000	102940.0000000	1100.0000000	757984.7491893
15	.0700000	39.0000000	102830.0000000	1250.0000000	712470.8225699
16	.0760000	42.0000000	102980.0000000	1200.0000000	758972.9500084
17	.0760000	40.0000000	102970.0000000	1180.0000000	736835.3603602
18	.0760000	46.0000000	102960.0000000	1100.0000000	853203.6475035
19	.0760000	45.0000000	102950.0000000	1000.0000000	881552.3070747
20	.0760000	45.0000000	102930.0000000	950.0000000	905475.8501633
21	.0760000	47.0000000	102930.0000000	950.0000000	936959.3567516
22	.0760000	46.0000000	102930.0000000	900.0000000	947778.9667686

VALOAREA MARIMILOR DE STARE LA SFARSITUL CAMEREI DE ARDERE

$p_1 = 98100,00$; $W_1 = 100,00$; $T_1 = 293$; $S_1 = 0,00436$; $S_2 = 0,00515$; $R = 287$; $CP = 1003$; $KAPA = 1,3999$; $ETA = 1,0$;
 $x = 0$; $y = 0$; $Fi = 1,00$; $m = 0,1586$; $T_2 = 297,6635$; $W_2 = 25,394$; $P_2 = 103674,5625$; $V_2 = 0,824$; $CPT_{02} = 298879$;
 $W_2MAX = 773,148$; $W_{S2} = 315,636$; $P_{02} = 104067$; $WN2 = 0,0804$

TABELA 4.1.

W_{n3} [m/s]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
W_3 [m/s]	31,563	63,127	94,69	126,254	157,818	189,381
q_n'	0,240	1,481	2,662	3,843	5,00	6,145
q_n	0,240	1,481	2,662	3,843	5,00	6,145
q [J/kg]	72025,5	430952,18	795901,68	1148873	1495867	1836884
Q [J/s]	11427,328	69325,357	120275,125	182276,375	237329,31	291433,93
P_3 [N/m ²]	103484,5	104572,125	101539,75	100567,375	99594,93	98622,56
V_3 [m ³ /kg]	1,024	2,049	3,073	4,098	5,122	6,147
T_3 [°C]	309,427	731,912	1087,454	1436,054	1777,71	2112,425
W_3MAX [m/s]	801,283	1213,121	1479,71	1701,61	1894,595	2066,76
P_{03} [N/m ²]	102999,62	107546,5	100097,62	98653,25	97213,37	95778,31
W_4 [m/s]	110,641	149,5	174,272	190,043	200,764	205,676
T_4 [°C]	303,842	722,72	1076,8	1425,89	1770,045	2109,22
V_4 [m ³ /kg]	1,064	2,114	3,150	4,171	5,178	6,170
S_4 [m ²]	0,0015	0,0022	0,0028	0,0034	0,0040	0,0047
d_4 [m]	0,0449	0,053	0,060	0,066	0,072	0,077
T_3 [°C]	361,665	709,663	1027,663	1323,663	1607,663	1881,663
W_3 [m/s]	30,905	61,194	89,371	116,052	142,081	167,614
P_3 [N/s ²]	108504,812	104571,68	101703,625	100881,687	100079,75	99293,125
V_3 [m ³ /kg]	1,001	1,904	2,844	3,664	4,45	5,208
W_4 [m/s]	109,478	146,949	169,570	184,544	194,768	201,440
T_4 [°C]	356,164	700,693	1017,120	1313,131	1598,51	1875,175
V_4 [m ³ /kg]	1,041	2,049	2,975	3,847	4,670	5,485
S_4	0,001	0,002	0,002	0,003	0,0038	1,0043

VALOAREA MARIMILOR DE STARE LA SFARSITUL CAMEREI DE ARDERE

$p_1 = 98100,00$; $W_1 = 100,00$; $T_1 = 293$; $S_1 = 0,00136$; $S_2 = 0,00515$; $R = 287$; $CP = 1003$; $KAPA = 1,399$; $ETA = 0,79$;
 $x = 0,12$; $y = 0,0375$; $Fi = 0,97$; $m = 0,158$; $T_2 = 296,612$; $W_2 = 25,558$; $P_2 = 102398,812$; $V_2 = 0,837$; $CPT_{02} = 297829$;
 $W_2MAX = 771,78$; $W_{S2} = 315,08$; $P_{02} = 102792,87$; $WN2 = 0,081$; $P_B = 98100$

TABELA 4.2.

W_{n3} [m/s]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
W_3 [m/s]	31,508	63,016	94,524	126,032	157,54	189,048
q_n'	0,191	1,40	2,588	3,755	4,90	6,027
q_n	0,184	1,349	2,494	3,619	4,724	5,809
q [J/kg]	55086,097	404044,5	743046,37	1078092	1407181	4730313
Q [J/s]	9067,52	68179,125	122310,187	177460,81	231630,93	284820,5625
P_3 [N/m ²]	104340,375	101412,125	100477,875	99543,56	98609,31	97675
V_3 [m ³ /kg]	0,9857	1,971	2,957	3,943	4,928	5,914
T_3 [°C]	351,539	696,690	1035,36	1307,648	1693,51	2012,96
W_3MAX [m/s]	840,136	1183,109	1442,827	1058,86	1846,62	2014,021
P_{03} [N/m ²]	101844,09	100411,437	98983,062	97558,187	96137,93	94721,62
W_4 [m/s]	94,50	127,16	147,49	160,355	167,53	170,00
T_4 [°C]	347,308	690,092	1028,30	1301,95	1691,01	2015,46
V_4 [m ³ /kg]	1,019	2,018	3,008	3,984	4,947	5,896
S_4 [m ²]	0,00177	0,00261	0,003	0,0040	0,0048	0,0057
T_3 [°C]	344,61	674,61	980,61	1204,61	1534,61	1792,61
W_3 [m/b]	30,89	61,058	89,559	116,495	142,56	167,90
P_3 [N/m ²]	104304,5	101470,187	100625,06	99826,375	99053,5	98302,0
V_3 [m ³ /kg]	0,965	1,89	2,748	3,544	4,301	5,024
W_4 [m/s]	93,633	125,078	145,95	156,059	163,9	168,63
T_4 [°C]	340,44	668,133	973,518	1258,32	1530,37	1791,55
V_4 [m ³ /kg]	0,996	1,954	2,848	3,681	4,477	5,241
S_4 [m ²]	0,0017	0,0025	0,0032	0,0038	0,0044	0,0051

VALOAREA MARIMILOR DE STARE LA SFARSITUL CAMEREI DE ARDERE

$P_1 = 101287,625$; $W_1 = 68,86$; $T_1 = 305,95$; $S_2 = 0,00515$; $R = 287$; $CP = 1003$; $KAPA = 1,399$; $ETA = 1$; $x = 0$; $y = 0$;
 $Fi = 1$; $m = 0,108$; $T_2 = 308,169$; $W_2 = 18,059$; $P_2 = 103861,062$; $V_2 = 0,859$; $CPT_{O_2} = 309248$; $W_2MAX = 786,446$;
 $W_{S_2} = 321,065$; $P_{O_2} = 104052,937$; $WN_2 = 0,0562$; $P_B = 100797,508$

TABELA 4.3.

W_{n3} [m/s]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
W_3 [m/s]	32,106	64,213	96,319	128,426	160,53	192,63
q_n'	0,773	2,526	4,260	5,973	7,667	9,340
q_n	0,773	2,526	4,260	5,973	7,667	9,340
q [J/kg]	239184	781431	1317494	1847371	2371064	2888572
Q [J/s]	25837,355	84412,437	142319,5	199558,37	256129	312032
P_3 [N/m ²]	108506,437	104893	102219,56	101546	100872,62	100199,18
V_3 [m ³ /kg]	1,530	3,00	4,592	6,122	7,653	9,184
T_3 [°C]	552,359	1097,53	1635,52	2106,33	2689,96	3206,403
W_3MAX [m/s]	1047,313	1476,942	1803,74	2076,83	2315,302	2528,96
P_{O_2} [N/m ²]	108226,68	104215,29	101205,81	100198,43	99193,62	98190,68
W_4 [m/s]	97,93	130,502	149,68	180,26	164,07	161,69
T_4 [°C]	548,098	1091,102	1628,99	2101,76	2689,38	3211,86
V_4 [m ³ /kg]	1,56	3,106	4,638	6,155	7,657	9,145
S_4 [m ²]	0,0017	0,0025	0,0033	0,0041	0,005	0,006
T_3 [°C]	536,16	1028,19	1478,16	1908,161	2322,161	2718,161
W_3 [m/b]	31,508	60,785	87,879	114,062	139,551	164,19
P_3 [N/m ²]	103579	102904,87	102390,56	101847,57	101312,75	100795,81
V_3 [m ³ /kg]	1,481	2,841	4,084	5,272	6,416	7,511
W_4 [m/s]	96,509	126,90	144,43	155,31	161,55	164,10
T_4 [°C]	532	1021,92	1471,52	1902,52	2318,78	2718,17
V_4 [m ³ /kg]	1,514	2,90	4,189	5,417	6,60	7,73
S_4 [m ²]	0,0016	0,002	0,0031	0,0037	0,0044	0,0050

VALOAREA MARIMILOR DE STARE LA SFARSITUL CAMEREI DE ARDERE

$P_1 = 101287,62$; $W_1 = 68,80$; $T_1 = 305,95$; $S_1 = 0,00136$; $S_2 = 0,00515$; $R = 287$; $CP = 1003$; $KAPA = 1,399$; $ETA = 0,79$;
 $x = 0,120$; $y = 0,0375$; $Fi = 0,970$; $m = 0,108$; $T_2 = 307,67$; $W_2 = 17,728$; $P_2 = 103283,75$; $V_2 = 0,859$; $CPT_{O_2} = 309248$;
 $W_2MAX = 786,446$; $W_{S_2} = 321,065$; $P_{O_2} = 104052,937$; $WN_2 = 0,0562$; $P_B = 100797,508$

TABELA 4.4.

W_{n3} [m/s]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
W_3 [m/s]	32,08	64,161	96,241	128,32	160,40	192,48
q_n'	0,766	2,549	4,312	6,053	7,774	9,47
q_n	0,738	2,45	4,156	5,85	7,493	9,132
q [J/kg]	228089,93	759755,3	1283246	1801561	2313701	2819667
Q [J/s]	25502,84	83036,5	143818,1	201907	259305,18	316010,68
P_3 [N/m ²]	103052	104404,87	101757	101109,56	100461,87	99814,25
V_3 [m ³ /kg]	1,474	2,948	4,422	5,896	7,37	8,845
T_3 [°C]	529,32	1051,99	1508,019	2077,38	2580,09	3076,157
W_3MAX [m/s]	1036,186	1461,19	1784,37	2054,41	2290,17	2501,36
P_{O_2} [N/m ²]	102707,68	100716	100728	99741	9855,81	97772
W_4 [m/s]	85,286	113,32	129,34	137,70	139,86	136,20
T_4 [°C]	525,99	1047,25	1503,77	2075,54	2582,55	3084,78
V_4 [m ³ /kg]	1,481	2,855	4,114	5,320	6,477	7,598
S_4 [m ²]	0,0019	0,0028	0,0036	0,0044	0,0052	0,0080
W_4 [m/s]	31,412	60,82	88,00	114,25	139,66	164,478

Rezultatele optimizării lungimii camerei de ardere

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	
lung	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.95	.85	.75	.65	.55	.45	.35	.25	.15	.05	-.05	-.15	-.25	-.35	-.45
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.94	.84	.74	.64	.55	.45	.35	.25	.15	.05	-.05	-.15	-.25	-.35	-.45
lung	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.91	.82	.72	.62	.53	.43	.34	.24	.14	.05	-.05	-.14	-.24	-.34	-.43
lung	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.87	.77	.68	.59	.50	.41	.32	.23	.14	.05	-.05	-.14	-.23	-.32	-.41
lung	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.80	.71	.63	.55	.46	.38	.29	.21	.13	.04	-.04	-.13	-.21	-.29	-.38
lung	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.71	.64	.56	.49	.41	.34	.26	.19	.11	.04	-.04	-.11	-.19	-.26	-.34
lung	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.61	.54	.48	.42	.35	.29	.22	.16	.10	.03	-.03	-.10	-.16	-.22	-.29
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.48	.43	.38	.33	.28	.23	.16	.13	.08	.03	-.03	-.08	-.13	-.18	-.23
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.34	.31	.27	.23	.20	.16	.13	.09	.05	.02	-.02	-.05	-.09	-.13	-.16
lung	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.0	.18	.16	.14	.12	.10	.09	.07	.05	.03	.01	-.01	-.03	-.05	-.07	-.09
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.1	1.00	.89	.79	.68	.58	.47	.37	.26	.16	.05	-.05	-.16	-.26	-.37	-.48
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.1	.99	.89	.78	.68	.57	.47	.36	.26	.15	.05	-.05	-.16	-.26	-.37	-.47
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.1	.96	.86	.76	.66	.56	.45	.35	.25	.15	.05	-.06	-.16	-.26	-.36	-.46
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.1	.91	.82	.72	.62	.53	.43	.33	.24	.14	.04	-.05	-.15	-.25	-.35	-.44
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.1	.85	.76	.67	.58	.49	.40	.31	.22	.13	.04	-.05	-.14	-.23	-.32	-.41
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.1	.76	.68	.60	.52	.44	.36	.28	.19	.11	.03	-.05	-.13	-.21	-.29	-.37
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung	.1	.65	.58	.51	.44	.37	.30	.23	.17	.10	.03	-.04	-.11	-.18	-.25	-.32
lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		.52	.47	.41	.35	.30	.24	.19	.13	.08	.02	-.04	-.09	-.15	-.20	-.26		
1	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.37	.33	.29	.25	.21	.17	.13	.09	.05	.01	-.03	-.07	-.10	-.14	-.18		
1	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.20	.18	.15	.13	.11	.09	.07	.05	.03	.01	-.01	-.03	-.06	-.08	-.10		
2	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		1.05	.94	.83	.72	.61	.50	.39	.28	.17	.05	-.06	-.17	-.28	-.39	-.50		
2	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		1.05	.94	.83	.71	.60	.49	.38	.27	.16	.05	-.06	-.17	-.28	-.39	-.50		
2	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		1.02	.91	.80	.70	.59	.48	.37	.26	.16	.05	-.06	-.17	-.28	-.38	-.49		
2	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.97	.87	.76	.66	.56	.46	.35	.25	.15	.04	-.06	-.17	-.27	-.37	-.48		
2	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.90	.81	.71	.61	.52	.42	.32	.23	.13	.04	-.06	-.16	-.25	-.35	-.45		
2	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.81	.72	.64	.55	.46	.38	.29	.20	.12	.03	-.06	-.15	-.23	-.32	-.41		
2	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.70	.62	.55	.47	.40	.32	.25	.17	.10	.02	-.05	-.13	-.20	-.28	-.35		
2	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.56	.50	.44	.38	.32	.26	.20	.14	.08	.02	-.04	-.10	-.17	-.23	-.29		
2	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.40	.36	.31	.27	.23	.18	.14	.10	.05	.01	-.03	-.08	-.12	-.16	-.20		
2	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.21	.19	.17	.14	.12	.10	.08	.05	.03	.01	-.02	-.04	-.06	-.09	-.11		
3	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		1.12	1.00	.88	.76	.65	.53	.41	.29	.18	.06	-.06	-.18	-.30	-.41	-.53		
3	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		1.11	.99	.88	.76	.64	.52	.41	.29	.17	.06	-.06	-.18	-.30	-.41	-.53		
3	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		1.08	.97	.85	.74	.62	.51	.39	.28	.16	.05	-.07	-.18	-.30	-.41	-.52		
3	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		1.04	.92	.81	.70	.59	.48	.37	.26	.15	.04	-.07	-.18	-.29	-.40	-.51		
3	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.96	.86	.76	.65	.55	.45	.34	.24	.14	.03	-.07	-.17	-.28	-.38	-.48		
3	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung	3	.87	.78	.68	.59	.50	.40	.31	.21	.12	.03	-.07	-.16	-.26	-.35	-.44		
lung	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	3	.75	.67	.59	.51	.43	.35	.26	.18	.10	.02	-.06	-.14	-.22	-.31	-.39		
lung	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	3	.61	.54	.48	.41	.34	.28	.21	.15	.08	.01	-.05	-.12	-.18	-.25	-.32		
lung	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	3	.43	.39	.34	.29	.25	.20	.15	.10	.06	.01	-.04	-.09	-.13	-.18	-.23		
lung	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	3	.23	.21	.18	.16	.13	.11	.08	.06	.03	.00	-.02	-.05	-.07	-.10	-.12		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	1.19	1.06	.94	.81	.69	.56	.44	.31	.19	.06	-.06	-.19	-.31	-.44	-.56		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	1.18	1.06	.93	.81	.68	.56	.44	.31	.19	.06	-.06	-.19	-.31	-.44	-.56		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	1.16	1.03	.91	.79	.67	.54	.42	.30	.18	.05	-.07	-.19	-.31	-.44	-.56		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	1.11	.99	.87	.75	.64	.52	.40	.28	.16	.05	-.07	-.19	-.31	-.43	-.55		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	1.04	.93	.81	.70	.59	.48	.37	.26	.15	.04	-.08	-.19	-.30	-.41	-.52		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	.94	.84	.74	.64	.53	.43	.33	.23	.13	.03	-.07	-.18	-.28	-.38	-.48		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	.81	.73	.64	.55	.46	.37	.28	.20	.11	.02	-.07	-.16	-.25	-.33	-.42		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	.66	.59	.52	.44	.37	.30	.23	.16	.08	.01	-.06	-.13	-.20	-.28	-.35		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	.47	.42	.37	.32	.27	.22	.16	.11	.06	.01	-.05	-.10	-.15	-.20	-.25		
lung	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	4	.26	.23	.20	.17	.14	.12	.09	.06	.03	.00	-.03	-.05	-.08	-.11	-.14		
lung	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	5	1.27	1.14	1.01	.87	.74	.61	.47	.34	.21	.07	-.06	-.19	-.33	-.46	-.59		
lung	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	5	1.27	1.13	1.00	.87	.73	.60	.47	.34	.20	.07	-.06	-.20	-.33	-.46	-.60		
lung	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung	5	1.24	1.11	.98	.85	.72	.59	.46	.32	.19	.06	-.07	-.20	-.33	-.46	-.59		
lung	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		1,19	1,07	,94	,81	,69	,56	,43	,31	,18	,05	-,08	-,20	-,33	-,46	-,58
.5	4	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,12	1,00	,88	,76	,64	,52	,40	,28	,16	,04	-,08	-,20	-,32	-,44	-,56
.5	5	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,02	,91	,80	,69	,58	,47	,36	,25	,14	,03	-,08	-,19	-,30	-,41	-,52
.5	6	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,89	,79	,69	,60	,50	,41	,31	,21	,12	,02	-,08	-,17	-,27	-,36	-,46
.5	7	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,72	,64	,56	,49	,41	,33	,25	,17	,09	,01	-,07	-,14	-,22	-,30	-,38
.5	8	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,52	,46	,41	,35	,29	,24	,18	,12	,06	,01	-,05	-,11	-,16	-,22	-,28
.5	9	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,28	,25	,22	,19	,16	,13	,10	,07	,03	,00	-,03	-,06	-,09	-,12	-,15
.6	0	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,37	1,23	1,09	,94	,80	,66	,51	,37	,23	,09	-,06	-,20	-,34	-,49	-,63
.6	1	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,36	1,22	1,08	,94	,79	,65	,51	,37	,22	,08	-,06	-,20	-,35	-,49	-,63
.6	2	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,34	1,20	1,06	,92	,78	,64	,50	,35	,21	,07	-,07	-,21	-,35	-,49	-,63
.6	3	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,29	1,15	1,02	,88	,74	,61	,47	,33	,20	,06	-,08	-,21	-,35	-,49	-,62
.6	4	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,22	1,09	,96	,83	,70	,57	,44	,31	,18	,05	-,08	-,21	-,34	-,47	-,60
.6	5	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,11	,99	,87	,75	,63	,51	,39	,27	,16	,04	-,08	-,20	-,32	-,44	-,56
.6	6	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,97	,87	,76	,66	,55	,45	,34	,24	,13	,03	-,08	-,19	-,29	-,40	-,50
.6	7	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,79	,71	,62	,53	,45	,36	,28	,19	,10	,02	-,07	-,16	-,24	-,33	-,42
.6	8	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,58	,51	,45	,39	,32	,26	,20	,14	,07	,01	-,05	-,12	-,18	-,24	-,31
.6	9	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		,31	,28	,24	,21	,18	,14	,11	,07	,04	,00	-,03	-,06	-,10	-,13	-,17
.7	0	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
lung		1,49	1,33	1,18	1,03	,87	,72	,56	,41	,26	,10	-,05	-,21	-,36	-,51	-,67
.7	1	,10	,30	,50	,70	,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung	.7	1.48	1.33	1.17	1.02	.87	.71	.56	.41	.25	.10	-.06	-.21	-.36	-.52	-.67			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	1.46	1.30	1.15	1.00	.85	.70	.54	.39	.24	.09	-.06	-.22	-.37	-.52	-.67			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	1.41	1.26	1.11	.96	.81	.67	.52	.37	.22	.08	-.07	-.22	-.37	-.52	-.66			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	1.33	1.19	1.05	.91	.77	.62	.48	.34	.20	.06	-.08	-.22	-.36	-.50	-.64			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	1.22	1.09	.96	.83	.70	.57	.44	.31	.18	.05	-.08	-.21	-.34	-.47	-.61			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	1.07	.95	.84	.72	.61	.49	.38	.26	.15	.03	-.08	-.20	-.31	-.43	-.54			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	.88	.78	.69	.59	.50	.40	.31	.21	.12	.02	-.07	-.17	-.26	-.36	-.45			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	.64	.57	.50	.43	.36	.29	.22	.15	.08	.01	-.06	-.13	-.20	-.27	-.34			
lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.7	.35	.31	.27	.24	.20	.16	.12	.08	.05	.01	-.03	-.07	-.11	-.15	-.18			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	1.63	1.46	1.29	1.13	.96	.79	.63	.46	.29	.13	-.04	-.21	-.37	-.54	-.71			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	1.62	1.45	1.29	1.12	.95	.79	.62	.45	.29	.12	-.05	-.21	-.38	-.54	-.71			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	1.59	1.43	1.26	1.10	.94	.77	.61	.44	.28	.11	-.05	-.22	-.38	-.55	-.71			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	1.54	1.38	1.22	1.06	.90	.74	.58	.42	.26	.10	-.07	-.23	-.39	-.55	-.71			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	1.46	1.31	1.16	1.00	.85	.70	.54	.39	.23	.08	-.07	-.23	-.38	-.54	-.69			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	1.35	1.21	1.06	.92	.78	.63	.49	.35	.21	.06	-.08	-.22	-.37	-.51	-.65			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	1.19	1.06	.94	.81	.68	.55	.43	.30	.17	.05	-.08	-.21	-.33	-.46	-.59			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	.98	.88	.77	.67	.56	.45	.35	.24	.14	.03	-.07	-.18	-.28	-.39	-.49			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	.72	.64	.56	.49	.41	.33	.25	.18	.10	.02	-.06	-.13	-.21	-.29	-.37			
lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	.8	.39	.35	.31	.27	.22	.18	.14	.10	.05	.01	-.03	-.08	-.12	-.16	-.20			

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.79	1.61	1.43	1.25	1.07	.88	.70	.52	.34	.16	-.03	-.21	-.39	-.57	-.75
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.79	1.61	1.42	1.24	1.06	.88	.70	.52	.33	.15	-.03	-.21	-.39	-.57	-.76
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.76	1.58	1.40	1.22	1.04	.86	.68	.50	.32	.14	-.04	-.22	-.40	-.58	-.76
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.71	1.54	1.36	1.18	1.01	.83	.65	.48	.30	.13	-.05	-.23	-.40	-.58	-.76
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.63	1.46	1.29	1.12	.95	.78	.61	.44	.28	.11	-.06	-.23	-.40	-.57	-.74
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.50	1.35	1.19	1.03	.87	.72	.56	.40	.24	.09	-.07	-.23	-.39	-.54	-.70
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.33	1.19	1.05	.91	.77	.63	.49	.35	.21	.07	-.07	-.21	-.35	-.49	-.64
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	1.11	.99	.87	.75	.64	.52	.40	.28	.17	.05	-.07	-.18	-.30	-.42	-.54
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	.81	.73	.64	.55	.47	.38	.29	.21	.12	.03	-.05	-.14	-.23	-.31	-.40
.9	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
.9	lung	.45	.40	.35	.30	.26	.21	.16	.11	.07	.02	-.03	-.08	-.13	-.17	-.22
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00	.80	.60	.40	.20	.00	-.20	-.40	-.60	-.80
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	1.99	1.79	1.59	1.39	1.19	1.00	.80	.60	.40	.20	.00	-.20	-.40	-.60	-.80
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	1.97	1.77	1.57	1.37	1.18	.98	.78	.58	.38	.18	-.02	-.21	-.41	-.61	-.81
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	1.92	1.72	1.53	1.33	1.14	.94	.75	.56	.36	.17	-.03	-.22	-.42	-.61	-.81
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	1.83	1.64	1.46	1.27	1.08	.89	.71	.52	.33	.15	-.04	-.23	-.42	-.60	-.79
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	1.70	1.52	1.35	1.17	1.00	.82	.65	.47	.30	.12	-.05	-.23	-.40	-.58	-.75
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	1.51	1.35	1.20	1.04	.88	.73	.57	.41	.26	.10	-.06	-.22	-.37	-.53	-.69
1.0	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1.0	lung	1.26	1.13	1.00	.86	.73	.60	.47	.34	.21	.08	-.06	-.19	-.32	-.45	-.58

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
1.0	lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.0	lung	.9	.93	.83	.74	.64	.54	.44	.35	.25	.15	.05	-.05	-.14	-.24	-.34	-.44	2.90
1.0	lung	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.0	.52	.46	.41	.35	.30	.24	.19	.14	.08	.03	-.03	-.08	-.14	-.19	-.24	2.90
1.1	lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.1	2.26	2.04	1.82	1.59	1.37	1.15	.93	.70	.48	.26	.04	-.19	-.41	-.63	-.85	2.90
1.1	lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.2	2.25	2.03	1.81	1.59	1.37	1.14	.92	.70	.48	.25	.03	-.19	-.41	-.63	-.86	2.90
1.1	lung	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.3	2.23	2.01	1.79	1.57	1.35	1.12	.90	.68	.46	.24	.02	-.20	-.42	-.64	-.86	2.90
1.1	lung	.4	2.17	1.96	1.74	1.52	1.31	1.09	.87	.66	.44	.22	.01	-.21	-.43	-.65	-.86	2.90
1.1	lung	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.5	2.08	1.87	1.66	1.45	1.25	1.04	.83	.62	.41	.20	-.01	-.22	-.43	-.64	-.85	2.90
1.1	lung	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.6	1.94	1.74	1.55	1.35	1.15	.96	.76	.56	.37	.17	-.02	-.22	-.42	-.61	-.81	2.90
1.1	lung	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.7	1.73	1.56	1.38	1.20	1.03	.85	.67	.50	.32	.14	-.03	-.21	-.39	-.56	-.74	2.90
1.1	lung	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.8	1.45	1.30	1.15	1.01	.86	.71	.56	.41	.26	.11	-.04	-.19	-.33	-.48	-.63	2.90
1.1	lung	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.9	1.08	.97	.86	.75	.64	.52	.41	.30	.19	.08	-.03	-.14	-.25	-.36	-.48	2.90
1.1	lung	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.1	lung	.9	.60	.54	.48	.42	.35	.29	.23	.17	.11	.04	-.02	-.08	-.14	-.21	-.27	2.90
1.2	lung	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.2	lung	.1	2.59	2.34	2.09	1.84	1.59	1.34	1.09	.84	.59	.34	.09	-.16	-.41	-.66	-.91	2.90
1.2	lung	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.2	lung	.2	2.59	2.34	2.09	1.84	1.59	1.34	1.09	.84	.59	.34	.09	-.16	-.41	-.66	-.91	2.90
1.2	lung	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.2	lung	.3	2.56	2.31	2.06	1.82	1.57	1.32	1.07	.82	.57	.32	.08	-.17	-.42	-.67	-.92	2.90
1.2	lung	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.2	lung	.4	2.51	2.26	2.02	1.77	1.53	1.28	1.04	.79	.55	.30	.06	-.19	-.43	-.68	-.92	2.90
1.2	lung	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.2	lung	.5	2.41	2.17	1.93	1.70	1.46	1.22	.99	.75	.51	.28	.04	-.20	-.43	-.67	-.91	2.90
1.2	lung	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
1.2	lung	.5	2.25	2.03	1.80	1.58	1.36	1.14	.91	.69	.47	.24	.02	-.20	-.42	-.65	-.87	2.90

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
1.2	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		2.02	1.82	1.62	1.42	1.21	1.01	.81	.61	.41	.21	.01	-.19	-.40	-.60	-.80	
1.2	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		1.70	1.53	1.36	1.19	1.02	.85	.68	.51	.34	.17	.00	-.17	-.34	-.51	-.68	
1.2	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		1.27	1.14	1.01	.89	.76	.63	.50	.38	.25	.12	-.01	-.13	-.26	-.39	-.52	
1.2	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.71	.64	.57	.50	.42	.35	.28	.21	.14	.07	-.01	-.08	-.15	-.22	-.29	
1.3	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		3.03	2.75	2.46	2.17	1.89	1.60	1.32	1.03	.75	.46	.17	-.11	-.40	-.68	-.97	
1.3	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		3.03	2.74	2.45	2.17	1.88	1.60	1.31	1.03	.74	.46	.17	-.12	-.40	-.69	-.97	
1.3	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		3.00	2.72	2.43	2.15	1.86	1.58	1.29	1.01	.73	.44	.16	-.13	-.41	-.70	-.98	
1.3	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		2.94	2.66	2.38	2.10	1.82	1.54	1.26	.98	.70	.42	.14	-.14	-.42	-.70	-.98	
1.3	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		2.83	2.56	2.29	2.02	1.75	1.48	1.20	.93	.66	.39	.12	-.16	-.43	-.70	-.97	
1.3	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		2.66	2.40	2.15	1.89	1.63	1.38	1.12	.86	.61	.35	.09	-.16	-.42	-.68	-.93	
1.3	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		2.40	2.17	1.93	1.70	1.47	1.24	1.00	.77	.54	.30	.07	-.16	-.40	-.63	-.86	
1.3	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		2.03	1.83	1.63	1.43	1.24	1.04	.84	.64	.45	.25	.05	-.15	-.34	-.54	-.74	
1.3	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		1.52	1.37	1.22	1.08	.93	.78	.63	.48	.33	.18	.03	-.12	-.27	-.41	-.56	
1.3	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.86	.77	.69	.60	.52	.44	.35	.27	.19	.10	.02	-.07	-.15	-.24	-.32	
1.4	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		3.63	3.30	2.97	2.63	2.30	1.97	1.63	1.30	.97	.63	.30	-.03	-.37	-.70	-1.03	
1.4	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		3.63	3.29	2.96	2.63	2.29	1.96	1.63	1.30	.96	.63	.30	-.04	-.37	-.70	-1.04	
1.4	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		3.60	3.27	2.94	2.61	2.27	1.94	1.61	1.28	.95	.61	.28	-.05	-.38	-.71	-1.05	
1.4	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		3.54	3.21	2.88	2.56	2.23	1.90	1.57	1.24	.92	.59	.26	-.07	-.40	-.72	-1.05	

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
1.4	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.4	lung	3.42	3.10	2.78	2.47	2.15	1.83	1.51	1.19	.87	.55	.24	-.08	-.40	-.72	-1.04		
1.4	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.4	lung	3.22	2.92	2.62	2.32	2.02	1.71	1.41	1.11	.81	.51	.21	-.10	-.40	-.70	-1.00		
1.4	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.4	lung	2.92	2.64	2.37	2.10	1.82	1.55	1.27	1.00	.72	.45	.17	-.10	-.38	-.65	-.93		
1.4	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.4	lung	2.48	2.25	2.01	1.78	1.54	1.31	1.07	.84	.61	.37	.14	-.10	-.33	-.56	-.80		
1.4	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.4	lung	1.87	1.69	1.52	1.34	1.16	.98	.81	.63	.45	.28	.10	-.08	-.26	-.43	-.61		
1.4	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.4	lung	1.06	.96	.86	.76	.66	.56	.46	.36	.25	.15	.05	-.05	-.15	-.25	-.35		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	4.50	4.10	3.70	3.30	2.90	2.50	2.10	1.70	1.30	.90	.50	.10	-.30	-.70	-1.10		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	4.49	4.09	3.69	3.29	2.89	2.49	2.10	1.70	1.30	.90	.50	.10	-.31	-.71	-1.10		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	4.47	4.07	3.67	3.27	2.87	2.47	2.08	1.68	1.28	.88	.48	.08	-.32	-.72	-1.11		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	4.40	4.00	3.61	3.22	2.82	2.43	2.03	1.64	1.25	.85	.46	.06	-.33	-.73	-1.12		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	4.26	3.88	3.50	3.11	2.73	2.35	1.96	1.58	1.19	.81	.43	.04	-.34	-.73	-1.11		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	4.03	3.67	3.30	2.94	2.57	2.21	1.85	1.48	1.12	.75	.39	.02	-.34	-.71	-1.07		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	3.67	3.34	3.00	2.67	2.34	2.00	1.67	1.34	1.00	.67	.34	.01	-.33	-.66	-.99		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	3.13	2.85	2.56	2.28	1.99	1.71	1.42	1.13	.85	.56	.28	-.01	-.29	-.58	-.86		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	2.37	2.16	1.94	1.72	1.51	1.29	1.07	.86	.64	.42	.21	-.01	-.23	-.44	-.66		
1.5	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.5	lung	1.35	1.23	1.10	.98	.86	.73	.61	.49	.36	.24	.12	-.01	-.13	-.26	-.38		
1.6	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.6	lung	5.84	5.34	4.84	4.34	3.84	3.34	2.84	2.34	1.84	1.34	.84	.34	-.16	-.66	-1.16		
1.6	lung	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
1.6	lung	5.83	5.33	4.83	4.33	3.83	3.33	2.83	2.33	1.83	1.33	.83	.33	-.17	-.67	-1.17		

8

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
1.6	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		5.80	5.30	4.80	4.31	3.81	3.31	2.81	2.31	1.81	1.31	.81	.32	-.18	-.68	-1.18	-1.18
1.6	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		5.72	5.23	4.74	4.24	3.75	3.26	2.76	2.27	1.78	1.28	.79	.30	-.20	-.69	-1.19	-1.19
1.6	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		5.57	5.08	4.60	4.12	3.64	3.16	2.68	2.19	1.71	1.23	.75	.27	-.21	-.70	-1.18	-1.18
1.6	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		5.28	4.82	4.37	3.91	3.45	2.99	2.53	2.07	1.61	1.15	.70	.24	-.22	-.68	-1.14	-1.14
1.6	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		4.83	4.41	3.99	3.56	3.14	2.72	2.30	1.88	1.46	1.04	.62	.20	-.22	-.64	-1.06	-1.06
1.6	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		4.14	3.78	3.42	3.05	2.69	2.33	1.97	1.61	1.25	.88	.52	.16	-.20	-.56	-.92	-.92
1.6	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		3.15	2.88	2.60	2.33	2.05	1.77	1.50	1.22	.95	.67	.39	.12	-.16	-.44	-.71	-.71
1.6	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		1.80	1.64	1.49	1.33	1.17	1.01	.85	.70	.54	.38	.22	.07	-.09	-.25	-.41	-.41
1.7	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		8.12	7.45	6.79	6.12	5.45	4.79	4.12	3.45	2.79	2.12	1.45	.79	.12	-.55	-1.21	-1.21
1.7	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		8.11	7.45	6.78	6.11	5.45	4.78	4.12	3.45	2.78	2.12	1.45	.78	.12	-.55	-1.22	-1.22
1.7	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		8.08	7.42	6.75	6.09	5.42	4.76	4.09	3.43	2.76	2.10	1.43	.77	.10	-.56	-1.23	-1.23
1.7	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		7.99	7.33	6.67	6.01	5.35	4.70	4.04	3.38	2.72	2.06	1.40	.74	.08	-.58	-1.24	-1.24
1.7	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		7.79	7.15	6.50	5.86	5.21	4.57	3.93	3.28	2.64	1.99	1.35	.70	.06	-.59	-1.23	-1.23
1.7	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		7.42	6.81	6.19	5.58	4.96	4.34	3.73	3.11	2.50	1.88	1.27	.65	.04	-.58	-1.19	-1.19
1.7	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		6.81	6.24	5.68	5.11	4.55	3.98	3.41	2.85	2.28	1.72	1.15	.58	.02	-.55	-1.12	-1.12
1.7	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		5.87	5.38	4.89	4.40	3.91	3.42	2.93	2.45	1.96	1.47	.98	.49	.00	-.49	-.97	-.97
1.7	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		4.49	4.12	3.74	3.37	2.99	2.62	2.24	1.87	1.49	1.12	.75	.37	.00	-.38	-.75	-.75
1.7	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		2.58	2.36	2.15	1.93	1.72	1.50	1.29	1.07	.86	.64	.43	.21	-.01	-.22	-.44	-.44

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
1.8	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	1.8	12.80	11.80	10.80	9.80	8.80	7.80	6.80	5.80	4.80	3.80	2.80	1.80	.80	-.20	-1.20			
lung	1.8	12.79	11.79	10.79	9.79	8.79	7.79	6.79	5.79	4.79	3.80	2.80	1.80	.80	-.21	-1.21			
lung	1.8	12.75	11.76	10.76	9.76	8.76	7.76	6.77	5.77	4.77	3.77	2.78	1.78	.78	-.22	-1.22			
lung	1.8	12.63	11.64	10.65	9.66	8.67	7.68	6.69	5.70	4.71	3.72	2.73	1.74	.75	-.24	-1.23			
lung	1.8	12.35	11.38	10.41	9.44	8.47	7.50	6.53	5.56	4.59	3.63	2.66	1.69	.72	-.25	-1.22			
lung	1.8	11.80	10.88	9.95	9.02	8.09	7.16	6.24	5.31	4.38	3.45	2.52	1.59	.67	-.26	-1.19			
lung	1.8	10.87	10.02	9.16	8.31	7.45	6.59	5.74	4.88	4.02	3.17	2.31	1.45	.60	-.26	-1.12			
lung	1.8	9.41	8.67	7.93	7.18	6.44	5.70	4.96	4.22	3.47	2.73	1.99	1.25	.51	-.24	-.98			
lung	1.8	7.24	6.67	6.10	5.53	4.96	4.38	3.81	3.24	2.67	2.10	1.53	.95	.38	-.19	-.76			
lung	1.8	4.18	3.85	3.52	3.19	2.86	2.53	2.20	1.87	1.54	1.21	.88	.55	.22	-.11	-.44			
lung	1.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	1.9	27.12	25.12	23.12	21.12	19.12	17.12	15.12	13.12	11.12	9.12	7.12	5.12	3.12	1.12	-.88			
lung	1.9	27.11	25.11	23.11	21.11	19.11	17.11	15.11	13.11	11.11	9.11	7.11	5.11	3.11	1.11	-.89			
lung	1.9	27.05	25.05	23.06	21.06	19.06	17.07	15.07	13.08	11.08	9.08	7.09	5.09	3.09	1.10	-.90			
lung	1.9	26.83	24.85	22.87	20.89	18.91	16.92	14.94	12.96	10.98	9.00	7.02	5.03	3.05	1.07	-.91			
lung	1.9	26.30	24.35	22.41	20.47	18.52	16.58	14.63	12.69	10.75	8.80	6.86	4.92	2.97	1.03	-.92			
lung	1.9	25.22	23.36	21.49	19.62	17.76	15.89	14.03	12.16	10.29	8.43	6.56	4.70	2.83	.96	-.90			
lung	1.9	23.33	21.60	19.87	18.15	16.42	14.69	12.97	11.24	9.51	7.78	6.06	4.33	2.60	.87	-.85			
lung	1.9	20.28	18.78	17.27	15.77	14.27	12.77	11.26	9.76	8.26	6.76	5.25	3.75	2.25	.75	-.76			
lung	1.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		15.68	14.52	13.36	12.19	11.03	9.87	8.71	7.55	6.38	5.22	4.06	2.90	1.73	.57	-59	
1.9	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		9.09	8.41	7.74	7.07	6.39	5.72	5.05	4.37	3.70	3.02	2.35	1.68	1.00	.33	-35	
2.0	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.0	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2.1	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	-31.37	-29.37	-27.37	-25.37	-23.37	-21.37	-19.37	-17.37	-15.37	-13.37	-11.37	-9.37	-7.37	-5.37	-3.37		
2.1	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	-31.37	-29.37	-27.37	-25.37	-23.37	-21.37	-19.37	-17.37	-15.37	-13.37	-11.37	-9.37	-7.37	-5.37	-3.37		
2.1	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	-31.34	-29.35	-27.35	-25.35	-23.35	-21.36	-19.36	-17.36	-15.37	-13.37	-11.37	-9.37	-7.38	-5.38	-3.38		
2.1	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	-31.18	-29.20	-27.21	-25.22	-23.24	-21.25	-19.27	-17.28	-15.30	-13.31	-11.32	-9.34	-7.35	-5.37	-3.38		
2.1	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	-30.70	-28.74	-26.79	-24.84	-22.88	-20.93	-18.98	-17.02	-15.07	-13.12	-11.16	-9.21	-7.26	-5.30	-3.35		
2.1	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung	-29.62	-27.74	-25.85	-23.97	-22.09	-20.20	-18.32	-16.44	-14.55	-12.67	-10.79	-8.90	-7.02	-5.14	-3.25		
2.1	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		-27.60	-25.85	-24.09	-22.34	-20.59	-18.83	-17.08	-15.33	-13.57	-11.82	-10.06	-8.31	-6.56	-4.80	-3.05		
2.1	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-24.20	-22.66	-21.13	-19.59	-18.05	-16.52	-14.98	-13.44	-11.91	-10.37	-8.83	-7.30	-5.76	-4.22	-2.69		
2.1	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-18.89	-17.69	-16.49	-15.29	-14.09	-12.89	-11.70	-10.50	-9.30	-8.10	-6.90	-5.70	-4.50	-3.30	-2.10		
2.1	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-11.06	-10.35	-9.65	-8.95	-8.25	-7.55	-6.85	-6.15	-5.44	-4.74	-4.04	-3.34	-2.64	-1.94	-1.23		
2.2	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-17.20	-16.20	-15.20	-14.20	-13.20	-12.20	-11.20	-10.20	-9.20	-8.20	-7.20	-6.20	-5.20	-4.20	-3.20		
2.2	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-17.20	-16.20	-15.20	-14.20	-13.20	-12.20	-11.20	-10.20	-9.20	-8.20	-7.20	-6.21	-5.21	-4.21	-3.21		
2.2	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-17.20	-16.20	-15.20	-14.20	-13.20	-12.21	-11.21	-10.21	-9.21	-8.21	-7.21	-6.21	-5.21	-4.21	-3.22		
2.2	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-17.13	-16.14	-15.14	-14.15	-13.16	-12.16	-11.17	-10.18	-9.18	-8.19	-7.19	-6.20	-5.21	-4.21	-3.22		
2.2	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-16.90	-15.92	-14.94	-13.96	-12.98	-12.00	-11.03	-10.05	-9.07	-8.09	-7.11	-6.13	-5.15	-4.17	-3.20		
2.2	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-16.35	-15.40	-14.46	-13.51	-12.57	-11.62	-10.68	-9.73	-8.78	-7.84	-6.89	-5.95	-5.00	-4.06	-3.11		
2.2	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-15.29	-14.40	-13.52	-12.64	-11.76	-10.87	-9.99	-9.11	-8.22	-7.34	-6.46	-5.57	-4.69	-3.81	-2.93		
2.2	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-13.46	-12.68	-11.90	-11.13	-10.35	-9.57	-8.80	-8.02	-7.25	-6.47	-5.69	-4.92	-4.14	-3.36	-2.59		
2.2	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.55	-9.94	-9.34	-8.73	-8.12	-7.51	-6.90	-6.29	-5.69	-5.08	-4.47	-3.86	-3.25	-2.64	-2.04		
2.2	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-6.21	-5.85	-5.49	-5.13	-4.78	-4.42	-4.06	-3.70	-3.35	-2.99	-2.63	-2.27	-1.92	-1.56	-1.20		
2.3	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-12.80	-12.13	-11.46	-10.80	-10.13	-9.46	-8.80	-8.13	-7.46	-6.80	-6.13	-5.46	-4.80	-4.13	-3.46		
2.3	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-12.80	-12.13	-11.47	-10.80	-10.13	-9.47	-8.80	-8.13	-7.47	-6.80	-6.13	-5.47	-4.80	-4.13	-3.47		
2.3	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-12.80	-12.14	-11.47	-10.80	-10.14	-9.47	-8.81	-8.14	-7.47	-6.81	-6.14	-5.48	-4.81	-4.14	-3.48		
2.3	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-12.76	-12.10	-11.44	-10.77	-10.11	-9.45	-8.79	-8.12	-7.46	-6.80	-6.13	-5.47	-4.81	-4.15	-3.48		
2.3	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		-12.61	-11.96	-11.30	-10.65	-10.00	-9.34	-8.69	-8.04	-7.38	-6.73	-6.07	-5.42	-4.77	-4.11	-3.46		
2.3	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-12.23	-11.60	-10.97	-10.33	-9.70	-9.07	-8.44	-7.80	-7.17	-6.54	-5.90	-5.27	-4.64	-4.01	-3.37		
2.3	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-11.48	-10.88	-10.29	-9.70	-9.11	-8.51	-7.92	-7.33	-6.74	-6.14	-5.55	-4.96	-4.37	-3.77	-3.18		
2.3	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.14	-9.62	-9.10	-8.57	-8.05	-7.53	-7.00	-6.48	-5.96	-5.44	-4.91	-4.39	-3.87	-3.34	-2.82		
2.3	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-7.99	-7.57	-7.16	-6.75	-6.34	-5.93	-5.52	-5.11	-4.70	-4.28	-3.87	-3.46	-3.05	-2.64	-2.23		
2.3	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-4.72	-4.48	-4.23	-3.99	-3.75	-3.51	-3.26	-3.02	-2.78	-2.53	-2.29	-2.05	-1.80	-1.56	-1.32		
2.4	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.95	-10.45	-9.95	-9.45	-8.95	-8.45	-7.95	-7.45	-6.95	-6.45	-5.95	-5.45	-4.95	-4.45	-3.95		
2.4	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.96	-10.46	-9.96	-9.46	-8.96	-8.46	-7.96	-7.46	-6.96	-6.46	-5.96	-5.46	-4.96	-4.46	-3.96		
2.4	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.96	-10.46	-9.96	-9.46	-8.96	-8.46	-7.96	-7.46	-6.96	-6.46	-5.96	-5.47	-4.97	-4.47	-3.97		
2.4	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.94	-10.44	-9.94	-9.44	-8.95	-8.45	-7.95	-7.45	-6.96	-6.46	-5.96	-5.46	-4.97	-4.47	-3.97		
2.4	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.82	-10.33	-9.84	-9.35	-8.86	-8.37	-7.87	-7.38	-6.89	-6.40	-5.91	-5.42	-4.93	-4.44	-3.95		
2.4	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.52	-10.04	-9.57	-9.09	-8.61	-8.14	-7.66	-7.19	-6.71	-6.23	-5.76	-5.28	-4.80	-4.33	-3.85		
2.4	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-9.90	-9.45	-9.00	-8.56	-8.11	-7.66	-7.22	-6.77	-6.32	-5.87	-5.43	-4.98	-4.53	-4.09	-3.64		
2.4	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-8.78	-8.38	-7.99	-7.59	-7.20	-6.80	-6.40	-6.01	-5.61	-5.22	-4.82	-4.42	-4.03	-3.63	-3.24		
2.4	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-6.94	-6.63	-6.32	-6.01	-5.69	-5.38	-5.07	-4.75	-4.44	-4.13	-3.82	-3.50	-3.19	-2.88	-2.57		
2.4	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-4.12	-3.94	-3.75	-3.57	-3.38	-3.19	-3.01	-2.82	-2.64	-2.45	-2.27	-2.08	-1.90	-1.71	-1.53		
2.5	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.30	-9.90	-9.50	-9.10	-8.70	-8.30	-7.90	-7.50	-7.10	-6.70	-6.30	-5.90	-5.50	-5.10	-4.70		
2.5	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		-10.31	-9.90	-9.51	-9.11	-8.71	-8.31	-7.91	-7.51	-7.11	-6.71	-6.31	-5.91	-5.51	-5.11	-4.71		
2.5	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		-10.31	-9.91	-9.51	-9.11	-8.71	-8.31	-7.91	-7.51	-7.11	-6.71	-6.32	-5.92	-5.52	-5.12	-4.72			
2.5	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.30	-9.90	-9.50	-9.10	-8.70	-8.30	-7.91	-7.51	-7.11	-6.71	-6.31	-5.92	-5.52	-5.12	-4.72			
2.5	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.20	-9.81	-9.41	-9.02	-8.63	-8.23	-7.84	-7.45	-7.05	-6.66	-6.26	-5.87	-5.48	-5.08	-4.69			
2.5	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-9.94	-9.55	-9.17	-8.79	-8.40	-8.02	-7.64	-7.26	-6.88	-6.49	-6.11	-5.73	-5.35	-4.97	-4.58			
2.5	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-9.37	-9.01	-8.65	-8.29	-7.93	-7.57	-7.21	-6.85	-6.49	-6.14	-5.78	-5.42	-5.06	-4.70	-4.34			
2.5	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-8.34	-8.02	-7.70	-7.38	-7.06	-6.74	-6.43	-6.11	-5.79	-5.47	-5.15	-4.83	-4.51	-4.19	-3.87			
2.5	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-6.63	-6.37	-6.12	-5.86	-5.61	-5.36	-5.10	-4.85	-4.60	-4.34	-4.09	-3.84	-3.58	-3.33	-3.08			
2.5	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-3.95	-3.80	-3.65	-3.50	-3.35	-3.20	-3.05	-2.89	-2.74	-2.59	-2.44	-2.29	-2.14	-1.99	-1.84			
2.6	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.53	-10.20	-9.87	-9.53	-9.20	-8.87	-8.53	-8.20	-7.87	-7.53	-7.20	-6.87	-6.53	-6.20	-5.87			
2.6	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.54	-10.21	-9.87	-9.54	-9.21	-8.87	-8.54	-8.21	-7.87	-7.54	-7.21	-6.87	-6.54	-6.21	-5.87			
2.6	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.55	-10.21	-9.88	-9.55	-9.21	-8.88	-8.55	-8.21	-7.88	-7.55	-7.22	-6.88	-6.55	-6.22	-5.88			
2.6	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.53	-10.20	-9.87	-9.54	-9.21	-8.87	-8.54	-8.21	-7.88	-7.55	-7.21	-6.88	-6.55	-6.22	-5.89			
2.6	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.44	-10.12	-9.79	-9.46	-9.13	-8.80	-8.47	-8.15	-7.82	-7.49	-7.16	-6.83	-6.50	-6.18	-5.85			
2.6	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-10.19	-9.87	-9.55	-9.23	-8.91	-8.59	-8.27	-7.95	-7.63	-7.31	-7.00	-6.68	-6.36	-6.04	-5.72			
2.6	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-9.64	-9.34	-9.04	-8.73	-8.43	-8.13	-7.83	-7.53	-7.23	-6.92	-6.62	-6.32	-6.02	-5.72	-5.42			
2.6	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-8.61	-8.34	-8.07	-7.80	-7.53	-7.26	-6.99	-6.73	-6.46	-6.19	-5.92	-5.65	-5.38	-5.11	-4.84			
2.6	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-6.86	-6.65	-6.43	-6.22	-6.01	-5.79	-5.58	-5.36	-5.15	-4.94	-4.72	-4.51	-4.29	-4.08	-3.87			
2.6	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung		-4.11	-3.98	-3.85	-3.73	-3.60	-3.47	-3.34	-3.21	-3.09	-2.96	-2.83	-2.70	-2.57	-2.45	-2.32			
2.7	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung	2.7	-11.84	-11.56	-11.27	-10.99	-10.70	-10.41	-10.13	-9.84	-9.56	-9.27	-8.99	-8.70	-8.41	-8.13	-7.84			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-11.85	-11.56	-11.28	-10.99	-10.71	-10.42	-10.13	-9.85	-9.56	-9.28	-8.99	-8.71	-8.42	-8.13	-7.85			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-11.86	-11.57	-11.29	-11.00	-10.71	-10.43	-10.14	-9.86	-9.57	-9.29	-9.00	-8.72	-8.43	-8.14	-7.86			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-11.84	-11.56	-11.27	-10.99	-10.70	-10.42	-10.14	-9.85	-9.57	-9.28	-9.00	-8.71	-8.43	-8.14	-7.86			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-11.75	-11.47	-11.19	-10.91	-10.62	-10.34	-10.06	-9.78	-9.50	-9.21	-8.93	-8.65	-8.37	-8.09	-7.81			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-11.48	-11.21	-10.93	-10.66	-10.38	-10.11	-9.83	-9.56	-9.28	-9.01	-8.73	-8.46	-8.18	-7.91	-7.63			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-10.88	-10.62	-10.36	-10.10	-9.84	-9.58	-9.32	-9.06	-8.80	-8.54	-8.28	-8.02	-7.76	-7.50	-7.24			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-9.74	-9.51	-9.28	-9.05	-8.82	-8.58	-8.35	-8.12	-7.89	-7.65	-7.42	-7.19	-6.96	-6.73	-6.49			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-7.80	-7.61	-7.43	-7.24	-7.06	-6.87	-6.68	-6.50	-6.31	-6.13	-5.94	-5.76	-5.57	-5.39	-5.20			
lung	2.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.7	-4.69	-4.58	-4.47	-4.36	-4.25	-4.13	-4.02	-3.91	-3.80	-3.69	-3.58	-3.46	-3.35	-3.24	-3.13			
2.8	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-15.33	-15.08	-14.83	-14.58	-14.33	-14.08	-13.83	-13.58	-13.33	-13.08	-12.83	-12.58	-12.33	-12.08	-11.83			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-15.33	-15.08	-14.83	-14.58	-14.33	-14.08	-13.83	-13.58	-13.33	-13.08	-12.83	-12.58	-12.33	-12.08	-11.83			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-15.34	-15.09	-14.84	-14.59	-14.34	-14.09	-13.84	-13.59	-13.34	-13.09	-12.84	-12.59	-12.34	-12.09	-11.84			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-15.32	-15.07	-14.82	-14.57	-14.32	-14.07	-13.82	-13.58	-13.33	-13.08	-12.83	-12.58	-12.33	-12.08	-11.83			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-15.21	-14.96	-14.71	-14.46	-14.22	-13.97	-13.72	-13.48	-13.23	-12.98	-12.74	-12.49	-12.24	-12.00	-11.75			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-14.87	-14.63	-14.39	-14.15	-13.91	-13.66	-13.42	-13.18	-12.94	-12.70	-12.46	-12.22	-11.98	-11.74	-11.50			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-14.12	-13.89	-13.66	-13.43	-13.21	-12.98	-12.75	-12.52	-12.29	-12.06	-11.83	-11.61	-11.38	-11.15	-10.92			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-12.68	-12.47	-12.27	-12.06	-11.86	-11.65	-11.45	-11.25	-11.04	-10.84	-10.63	-10.43	-10.22	-10.02	-9.81			
lung	2.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90			
lung	2.8	-10.18	-10.02	-9.85	-9.69	-9.52	-9.36	-9.20	-9.03	-8.87	-8.70	-8.54	-8.37	-8.21	-8.04	-7.88			

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
2.8	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-6.15	-6.05	-5.95	-5.85	-5.75	-5.66	-5.56	-5.46	-5.36	-5.26	-5.16	-5.06	-4.96	-4.86	-4.76	
2.9	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-26.92	-26.70	-26.48	-26.26	-26.03	-25.81	-25.59	-25.37	-25.14	-24.92	-24.70	-24.48	-24.26	-24.03	-23.81	
2.9	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-26.93	-26.71	-26.48	-26.26	-26.04	-25.82	-25.59	-25.37	-25.15	-24.93	-24.71	-24.48	-24.26	-24.04	-23.82	
2.9	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-26.93	-26.71	-26.49	-26.27	-26.04	-25.82	-25.60	-25.38	-25.15	-24.93	-24.71	-24.49	-24.27	-24.04	-23.82	
2.9	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-26.89	-26.67	-26.45	-26.23	-26.00	-25.78	-25.56	-25.34	-25.12	-24.90	-24.67	-24.45	-24.23	-24.01	-23.79	
2.9	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-26.69	-26.47	-26.25	-26.03	-25.81	-25.59	-25.37	-25.15	-24.93	-24.71	-24.49	-24.27	-24.05	-23.83	-23.61	
2.9	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-26.12	-25.90	-25.69	-25.47	-25.26	-25.04	-24.83	-24.61	-24.40	-24.18	-23.97	-23.75	-23.54	-23.32	-23.11	
2.9	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-24.83	-24.63	-24.43	-24.22	-24.02	-23.81	-23.61	-23.41	-23.20	-23.00	-22.79	-22.59	-22.39	-22.18	-21.98	
2.9	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-22.36	-22.17	-21.99	-21.81	-21.62	-21.44	-21.25	-21.07	-20.89	-20.70	-20.52	-20.34	-20.15	-19.97	-19.79	
2.9	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-18.01	-17.86	-17.72	-17.57	-17.42	-17.27	-17.12	-16.98	-16.83	-16.68	-16.53	-16.39	-16.24	-16.09	-15.94	
2.9	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		-10.93	-10.84	-10.75	-10.66	-10.57	-10.48	-10.39	-10.30	-10.21	-10.12	-10.03	-9.94	-9.85	-9.76	-9.67	
3.0	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
3.0	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
3.0	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
3.0	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
3.0	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
3.0	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
3.0	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90
lung		*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	

S	U	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
8.1	10	30	80	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	18	21	25	28	31	34	38	41	44	48	51	54	57	61	64		
8.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	14	17	20	24	27	30	34	37	40	43	47	50	53	56	60		
8.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	10	13	16	20	23	26	29	32	36	39	42	45	48	52	55		
8.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	07	10	13	16	19	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48		
8.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	04	06	08	10	13	15	17	19	21	23	25	28	30	32	34		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	28	29	31	33	35	37	38	40	42	44	46	48	49	51	53		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	27	29	31	33	34	36	38	40	42	43	45	47	49	51	52		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	26	27	29	31	33	35	37	38	40	42	44	46	47	49	51		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	23	25	27	29	30	32	34	36	38	39	41	43	45	47	48		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	20	22	24	25	27	29	31	33	34	36	38	40	42	43	45		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	34	36	38	39	41		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	12	14	15	17	19	21	23	24	26	28	30	32	33	35	37		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	08	09	11	13	15	16	18	20	22	24	25	27	29	31	33		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	04	06	08	09	11	13	15	16	18	20	21	23	25	27	28		
13.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	02	03	05	06	08	09	10	12	13	15	16	18	19	20	22		
18.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	28	29	30	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45		
18.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	27	29	30	31	32	34	35	36	37	39	40	41	42	44	45		
18.1	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290		
lung	26	27	28	30	31	32	33	35	36	37	38	40	41	42	43		

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
18.1	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.23	.25	.26	.27	.28	.30	.31	.32	.33	.35	.36	.37	.38	.40	.41	
18.1	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.20	.21	.23	.24	.25	.26	.28	.29	.30	.31	.33	.34	.35	.36	.38	
18.1	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.16	.17	.19	.20	.21	.22	.24	.25	.26	.27	.29	.30	.31	.32	.34	
18.1	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.12	.13	.14	.16	.17	.18	.19	.20	.22	.23	.24	.25	.27	.28	.29	
18.1	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.07	.09	.10	.11	.12	.14	.15	.16	.17	.19	.20	.21	.22	.24	.25	
18.1	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.04	.05	.06	.07	.09	.10	.11	.12	.14	.15	.16	.17	.19	.20	.21	
18.1	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.01	.02	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	.11	.12	.13	.14	.16	.17	
23.1	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.28	.29	.30	.31	.32	.33	.34	.35	.36	.37	.38	.39	.40	.41	.42	
23.1	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.28	.29	.30	.31	.32	.32	.33	.34	.35	.36	.37	.38	.39	.40	.41	
23.1	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.26	.27	.28	.29	.30	.31	.32	.33	.34	.35	.36	.37	.38	.39	.40	
23.1	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.24	.25	.26	.27	.28	.29	.29	.30	.31	.32	.33	.34	.35	.36	.37	
23.1	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.20	.21	.22	.23	.24	.25	.26	.27	.28	.29	.30	.31	.32	.33	.34	
23.1	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.16	.17	.18	.19	.20	.21	.22	.23	.24	.25	.26	.27	.28	.29	.30	
23.1	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.12	.13	.14	.15	.16	.17	.18	.19	.20	.21	.22	.22	.23	.24	.25	
23.1	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.08	.09	.10	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16	.17	.18	.19	.20	.21	
23.1	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.04	.05	.06	.07	.08	.08	.09	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16	.17	
23.1	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.07	.08	.09	.10	.11	.12	.13	.14	
28.1	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	
lung		.29	.29	.30	.31	.32	.32	.33	.34	.35	.35	.36	.37	.38	.38	.39	

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
28.1	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.28	.29	.30	.30	.31	.32	.33	.33	.34	.35	.36	.36	.37	.38	.39		
28.1	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.27	.27	.28	.29	.30	.30	.31	.32	.33	.33	.34	.35	.36	.36	.37		
28.1	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.24	.25	.26	.26	.27	.28	.29	.29	.30	.31	.32	.32	.33	.34	.35		
28.1	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.21	.21	.22	.23	.24	.25	.25	.26	.27	.28	.28	.29	.30	.31	.31		
28.1	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.17	.17	.18	.19	.20	.21	.21	.22	.23	.24	.24	.25	.26	.27	.27		
28.1	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.12	.13	.14	.15	.15	.16	.17	.18	.18	.19	.20	.21	.21	.22	.23		
28.1	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.08	.09	.09	.10	.11	.12	.12	.13	.14	.15	.15	.16	.17	.18	.18		
28.1	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.04	.05	.05	.06	.07	.08	.08	.09	.10	.11	.11	.12	.13	.14	.15		
28.1	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.01	.02	.03	.03	.04	.05	.06	.06	.07	.08	.09	.09	.10	.11	.11		
33.1	0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.29	.29	.30	.31	.31	.32	.33	.33	.34	.34	.35	.36	.36	.37	.38		
33.1	1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.28	.29	.29	.30	.31	.31	.32	.33	.33	.34	.35	.35	.36	.37	.37		
33.1	2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.27	.27	.28	.29	.29	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.34	.34	.35	.36		
33.1	3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.24	.25	.26	.26	.27	.27	.28	.29	.29	.30	.31	.31	.32	.33	.33		
33.1	4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.21	.22	.22	.23	.23	.24	.25	.25	.26	.27	.27	.28	.29	.29	.30		
33.1	5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.17	.18	.18	.19	.19	.20	.21	.21	.22	.23	.23	.24	.25	.25	.26		
33.1	6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.12	.13	.14	.14	.15	.16	.16	.17	.18	.18	.19	.19	.20	.21	.21		
33.1	7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.08	.09	.09	.10	.10	.11	.12	.12	.13	.14	.14	.15	.16	.16	.17		
33.1	8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.04	.05	.05	.06	.06	.07	.08	.08	.09	.10	.11	.12	.13	.14	.15		
33.1	9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90		
lung		.01	.02	.03	.03	.04	.05	.06	.06	.07	.08	.09	.09	.10	.11	.11		
33.1																		

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	
		.01	.02	.02	.03	.04	.04	.05	.06	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.09	.09	.10
lung																		
38.1	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.29	.29	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.34	.34	.35	.36	.36	.36	.37	.37
38.1	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.28	.29	.29	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.34	.34	.35	.36	.36	.36	.36
38.1	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.27	.27	.28	.29	.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.34	.34	.35	.35	.35
38.1	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.24	.25	.26	.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.30	.31	.31	.32	.32	.32	.32
38.1	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.21	.22	.22	.23	.23	.24	.24	.25	.26	.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.29
38.1	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.17	.18	.18	.19	.19	.20	.20	.21	.21	.22	.23	.23	.24	.24	.25	.25	.25
38.1	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.13	.13	.14	.14	.15	.15	.16	.16	.17	.18	.18	.19	.19	.20	.20	.20	.20
38.1	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.08	.09	.09	.10	.10	.11	.11	.12	.12	.13	.14	.14	.15	.15	.16	.16	.16
38.1	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.04	.05	.05	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.09	.10	.10	.11	.11	.12	.12	.12
38.1	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.01	.02	.02	.03	.03	.04	.04	.05	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.09	.09	.09
43.1	.0	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.29	.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.34	.34	.35	.35	.36	.36	.36
43.1	.1	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.28	.29	.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.34	.34	.35	.35	.35	.35
43.1	.2	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.27	.27	.28	.28	.29	.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.34	.34	.34
43.1	.3	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.25	.25	.26	.26	.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.30	.30	.31	.31	.31	.31
43.1	.4	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.21	.22	.22	.23	.23	.24	.24	.25	.25	.26	.26	.27	.27	.28	.28	.28	.28
43.1	.5	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.17	.18	.18	.19	.19	.20	.20	.21	.21	.22	.22	.23	.23	.23	.24	.24	.24
43.1	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.13	.13	.14	.14	.15	.15	.16	.16	.17	.17	.18	.18	.19	.19	.19	.19	.19
43.1	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.01	.02	.02	.03	.03	.04	.04	.05	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.09	.09	.09

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		.08	.09	.10	.10	.11	.11	.12	.12	.13	.13	.14	.14	.14	.14	.14	.15
43.1	.8	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.04	.05	.05	.06	.06	.07	.08	.08	.09	.09	.10	.10	.10	.10	.11	.11
43.1	.9	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.01	.02	.03	.03	.04	.04	.05	.05	.06	.06	.07	.07	.07	.07	.08	.08
48.1	.0	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.33	.34	.34	.35	.35	.35	.35
48.1	.1	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.29	.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.34	.34	.35	.35	.35	.35
48.1	.2	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.27	.28	.28	.29	.29	.30	.30	.31	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.33	.33
48.1	.3	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.25	.25	.26	.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.30	.30	.31	.31	.31	.31
48.1	.4	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.21	.22	.23	.23	.23	.24	.24	.25	.25	.26	.26	.27	.27	.27	.27	.27
48.1	.5	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.17	.18	.19	.19	.19	.20	.20	.21	.21	.22	.22	.22	.23	.23	.23	.23
48.1	.6	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.13	.13	.14	.14	.15	.15	.16	.16	.17	.17	.18	.18	.18	.19	.19	.19
48.1	.7	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.08	.09	.09	.10	.10	.11	.11	.12	.12	.13	.13	.13	.14	.14	.14	.14
48.1	.8	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.04	.05	.05	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.08	.09	.09	.10	.10	.10	.10
48.1	.9	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.01	.02	.02	.03	.03	.04	.04	.05	.05	.05	.06	.06	.07	.07	.07	.07
53.1	.0	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.32	.33	.33	.34	.34	.35	.35	.35	.35
53.1	.1	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.29	.29	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.33	.33	.33	.34	.34	.34	.34	.34
53.1	.2	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.27	.28	.28	.29	.29	.30	.30	.30	.31	.31	.32	.32	.32	.33	.33	.33
53.1	.3	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.25	.25	.26	.26	.27	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.29	.30	.30	.30	.30
53.1	.4	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.21	.22	.23	.23	.23	.24	.24	.25	.25	.25	.26	.26	.26	.26	.26	.26
53.1	.5	.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90
lung		.10	.30	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90	2.90	2.90

s	fi	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta	zeta
lung		.17	.18	.18	.19	.19	.19	.20	.20	.20	.21	.21	.22	.22	.22	.23
53.1	.6	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung		.13	.14	.14	.14	.14	.15	.15	.16	.16	.16	.17	.17	.18	.18	.18
53.1	.7	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung		.08	.09	.09	.09	.10	.10	.11	.11	.11	.12	.12	.13	.13	.13	.14
53.1	.8	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung		.04	.05	.05	.05	.06	.06	.06	.07	.07	.08	.08	.08	.09	.09	.10
53.1	.9	.10	.30	.50	.70	.90	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
lung		.01	.02	.02	.02	.03	.03	.04	.04	.04	.05	.05	.05	.06	.06	.07

**TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE
LA PERETII TURBOMOTORULUI**

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	25

date nodale

n	x	y	teta	icon
1	.00	.00	.00	0
2	.00	10.00	.00	0
3	.00	20.00	.00	0
4	.00	30.00	.00	0
5	.00	40.00	.00	0
6	.00	50.00	.00	0
7	.00	60.00	.00	0
8	.00	70.00	.00	0
9	.00	80.00	.00	0
10	10.00	.00	.00	0
11	10.00	10.00	.00	0
12	10.00	20.00	.00	0
13	10.00	30.00	.00	0
14	10.00	40.00	.00	0
15	10.00	50.00	.00	0
16	10.00	60.00	.00	0
17	10.00	70.00	.00	0
18	10.00	80.00	.00	0
19	20.00	.00	.00	0
20	20.00	10.00	.00	0
21	20.00	20.00	.00	0
22	20.00	30.00	.00	0
23	20.00	40.00	.00	0
24	20.00	50.00	.00	0
25	20.00	60.00	.00	0
26	20.00	70.00	.00	0
27	20.00	80.00	.00	0
28	30.00	.00	.00	0
29	30.00	10.00	.00	0
30	30.00	20.00	.00	0
31	30.00	30.00	.00	0
32	30.00	40.00	.00	0
33	30.00	50.00	.00	0
34	30.00	60.00	.00	0
35	30.00	70.00	.00	0
36	30.00	80.00	.00	0
37	40.00	.00	.00	0
38	40.00	10.00	.00	0

n	x	y	teta	icon
39	40.00	20.00	.00	0
40	40.00	30.00	.00	0
41	40.00	40.00	.00	0
42	40.00	50.00	.00	0
43	40.00	60.00	.00	0
44	40.00	70.00	.00	0
45	40.00	80.00	.00	0
46	50.00	.00	.00	0
47	50.00	10.00	.00	0
48	50.00	20.00	.00	0
49	50.00	30.00	.00	0
50	50.00	40.00	.00	0
51	50.00	50.00	.00	0
52	50.00	60.00	.00	0
53	50.00	70.00	.00	0
54	50.00	80.00	.00	0
55	60.00	.00	.00	0
56	60.00	10.00	.00	0
57	60.00	20.00	.00	0
58	60.00	30.00	.00	0
59	60.00	40.00	.00	0
60	60.00	50.00	.00	0
61	60.00	60.00	.00	0
62	60.00	70.00	.00	0
63	60.00	80.00	.00	0
64	70.00	.00	.00	0
65	70.00	10.00	.00	0
66	70.00	20.00	.00	0
67	70.00	30.00	.00	0
68	70.00	40.00	.00	0
69	70.00	50.00	.00	0
70	70.00	60.00	.00	0
71	70.00	70.00	.00	0
72	70.00	80.00	.00	0
73	80.00	.00	.00	0
74	80.00	10.00	.00	0
75	80.00	20.00	.00	0
76	80.00	30.00	.00	0
77	80.00	40.00	.00	0
78	80.00	50.00	.00	0
79	80.00	60.00	.00	0
80	80.00	70.00	.00	0
81	80.00	80.00	.00	0
82	80.00	90.00	.00	0
83	90.00	3.00	.00	0
84	90.00	13.00	.00	0
85	90.00	23.00	.00	0
86	90.00	33.00	.00	0
87	90.00	43.00	.00	0
88	90.00	53.00	.00	0
89	90.00	63.00	.00	0
90	90.00	73.00	.00	0
91	90.00	83.00	.00	0
92	100.00	2.50	.00	0
93	100.00	12.50	.00	0
94	100.00	22.50	.00	0
95	100.00	32.50	.00	0
96	100.00	42.50	.00	0
97	100.00	52.50	.00	0
98	100.00	62.50	.00	0
99	100.00	72.50	.00	0
100	100.00	82.50	.00	0
101	110.00	5.00	.00	0

n	x	y	teta	icon
102	110.00	15.00	.00	0
103	110.00	25.00	.00	0
104	110.00	35.00	.00	0
105	110.00	45.00	.00	0
106	110.00	55.00	.00	0
107	110.00	65.00	.00	0
108	110.00	75.00	.00	0
109	110.00	85.00	.00	0
110	120.00	7.50	.00	0
111	120.00	17.50	.00	0
112	120.00	27.50	.00	0
113	120.00	37.50	.00	0
114	120.00	47.50	.00	0
115	120.00	57.50	.00	0
116	120.00	67.50	.00	0
117	120.00	77.50	.00	0
118	120.00	87.50	.00	0
119	130.00	10.00	.00	0
120	130.00	20.00	.00	0
121	130.00	30.00	.00	0
122	130.00	40.00	.00	0
123	130.00	50.00	.00	0
124	130.00	60.00	.00	0
125	130.00	70.00	.00	0
126	130.00	80.00	.00	0
127	130.00	90.00	.00	0
128	140.00	12.50	.00	0
129	140.00	22.50	.00	0
130	140.00	32.50	.00	0
131	140.00	42.50	.00	0
132	140.00	52.50	.00	0
133	140.00	62.50	.00	0
134	140.00	72.50	.00	0
135	140.00	82.50	.00	0
136	140.00	92.50	.00	0
137	150.00	15.00	.00	0
138	150.00	25.00	.00	0
139	150.00	35.00	.00	0
140	150.00	45.00	.00	0
141	150.00	55.00	.00	0
142	150.00	65.00	.00	0
143	150.00	75.00	.00	0
144	150.00	85.00	.00	0
145	150.00	95.00	.00	0
146	160.00	17.50	.00	0
147	160.00	27.50	.00	0
148	160.00	37.50	.00	0
149	160.00	47.50	.00	0
150	160.00	57.50	.00	0
151	160.00	67.50	.00	0
152	160.00	77.50	.00	0
153	160.00	87.50	.00	0
154	160.00	97.50	.00	0
155	170.00	20.00	.00	0
156	170.00	30.00	.00	0
157	170.00	40.00	.00	0
158	170.00	50.00	.00	0
159	170.00	60.00	.00	0
160	170.00	70.00	.00	0
161	170.00	80.00	.00	0
162	170.00	90.00	.00	0
163	170.00	100.00	.00	0
164	180.00	22.50	.00	0

n	x	y	teta	icon
165	180.00	32.50	.00	0
166	180.00	42.50	.00	0
167	180.00	52.50	.00	0
168	180.00	62.50	.00	0
169	180.00	72.50	.00	0
170	180.00	82.50	.00	0
171	180.00	92.50	.00	0
172	180.00	102.50	.00	0
173	190.00	25.00	.00	0
174	190.00	35.00	.00	0
175	190.00	45.00	.00	0
176	190.00	55.00	.00	0
177	190.00	65.00	.00	0
178	190.00	75.00	.00	0
179	190.00	85.00	.00	0
180	190.00	95.00	.00	0
181	190.00	105.00	.00	0
182	200.00	27.50	.00	0
183	200.00	37.50	.00	0
184	200.00	47.50	.00	0
185	200.00	57.50	.00	0
186	200.00	67.50	.00	0
187	200.00	77.50	.00	0
188	200.00	87.50	.00	0
189	200.00	97.50	.00	0
190	200.00	107.50	.00	0
191	210.00	30.00	.00	0
192	210.00	40.00	.00	0
193	210.00	50.00	.00	0
194	210.00	60.00	.00	0
195	210.00	70.00	.00	0
196	210.00	80.00	.00	0
197	210.00	90.00	.00	0
198	210.00	100.00	.00	0
199	210.00	110.00	.00	0

datele elementelor

n	ide	flint	alamdy	alamdy	
1	1 10	11	0.	20.00	15.00
2	1 11	2	0.	20.00	15.00
3	2 11	12	0.	20.00	15.00
4	2 12	3	0.	20.00	15.00
5	3 12	13	0.	20.00	15.00
6	3 13	4	0.	20.00	15.00
7	4 13	14	0.	20.00	15.00
8	4 14	5	0.	20.00	15.00
9	5 14	15	0.	20.00	15.00
10	5 15	6	0.	20.00	15.00
11	6 15	16	0.	20.00	15.00
12	6 16	7	0.	20.00	15.00
13	7 16	17	0.	20.00	15.00
14	7 17	8	0.	20.00	15.00
15	8 17	18	0.	20.00	15.00
16	8 18	9	0.	20.00	15.00
17	10 19	20	0.	20.00	15.00
18	10 20	11	0.	20.00	15.00
19	11 20	21	0.	20.00	15.00
20	11 21	12	0.	20.00	15.00

n	id			flint	alamdx	alamdy
21	12	21	22	0.	20.00	15.00
22	12	22	13	0.	20.00	15.00
23	13	22	23	0.	20.00	15.00
24	13	23	14	0.	20.00	15.00
25	14	23	24	0.	20.00	15.00
26	14	24	15	0.	20.00	15.00
27	15	24	25	0.	20.00	15.00
28	15	25	16	0.	20.00	15.00
29	16	25	26	0.	20.00	15.00
30	16	26	17	0.	20.00	15.00
31	17	26	27	0.	20.00	15.00
32	17	27	18	0.	20.00	15.00
33	19	28	29	0.	20.00	15.00
34	19	29	20	0.	20.00	15.00
35	20	29	30	0.	20.00	15.00
36	20	30	21	0.	20.00	15.00
37	21	30	31	0.	20.00	15.00
38	21	31	22	0.	20.00	15.00
39	22	31	32	0.	20.00	15.00
40	22	32	23	0.	20.00	15.00
41	23	32	33	0.	20.00	15.00
42	23	33	24	0.	20.00	15.00
43	24	33	34	0.	20.00	15.00
44	24	34	25	0.	20.00	15.00
45	25	34	35	0.	20.00	15.00
46	25	35	26	0.	20.00	15.00
47	26	35	36	0.	20.00	15.00
48	26	36	27	0.	20.00	15.00
49	28	37	38	0.	20.00	15.00
50	28	38	29	0.	20.00	15.00
51	29	38	39	0.	20.00	15.00
52	29	39	30	0.	20.00	15.00
53	30	39	40	0.	20.00	15.00
54	30	40	31	0.	20.00	15.00
55	31	40	41	0.	20.00	15.00
56	31	41	32	0.	20.00	15.00
57	32	41	42	0.	20.00	15.00
58	32	42	33	0.	20.00	15.00
59	33	42	43	0.	20.00	15.00
60	33	43	34	0.	20.00	15.00
61	34	43	44	0.	20.00	15.00
62	34	44	35	0.	20.00	15.00
63	35	44	45	0.	20.00	15.00
64	35	45	36	0.	20.00	15.00
65	37	46	47	0.	20.00	15.00
66	37	47	38	0.	20.00	15.00
67	38	47	48	0.	20.00	15.00
68	38	48	39	0.	20.00	15.00
69	39	48	49	0.	20.00	15.00
70	39	49	40	0.	20.00	15.00
71	40	49	50	0.	20.00	15.00
72	40	50	41	0.	20.00	15.00
73	41	50	51	0.	20.00	15.00
74	41	51	42	0.	20.00	15.00
75	42	51	52	0.	20.00	15.00
76	42	52	43	0.	20.00	15.00
77	43	52	53	0.	20.00	15.00
78	43	53	44	0.	20.00	15.00
79	44	53	54	0.	20.00	15.00
80	44	54	45	0.	20.00	15.00
81	46	55	56	0.	20.00	15.00
82	46	56	47	0.	20.00	15.00
83	47	56	57	0.	20.00	15.00

n	id			flint	alamdx	alamdy
84	47	57	48	0.	20.00	15.00
85	48	57	58	0.	20.00	15.00
86	48	58	49	0.	20.00	15.00
87	49	58	59	0.	20.00	15.00
88	49	59	50	0.	20.00	15.00
89	50	59	60	0.	20.00	15.00
90	50	60	51	0.	20.00	15.00
91	51	60	61	0.	20.00	15.00
92	51	61	52	0.	20.00	15.00
93	52	61	62	0.	20.00	15.00
94	52	62	53	0.	20.00	15.00
95	53	62	63	0.	20.00	15.00
96	53	63	54	0.	20.00	15.00
97	55	64	65	0.	20.00	15.00
98	55	65	56	0.	20.00	15.00
99	56	65	66	0.	20.00	15.00
100	56	66	57	0.	20.00	15.00
101	57	66	67	0.	20.00	15.00
102	57	67	58	0.	20.00	15.00
103	58	67	68	0.	20.00	15.00
104	58	68	59	0.	20.00	15.00
105	59	68	69	0.	20.00	15.00
106	59	69	60	0.	20.00	15.00
107	60	69	70	0.	20.00	15.00
108	60	70	61	0.	20.00	15.00
109	61	70	71	0.	20.00	15.00
110	61	71	62	0.	20.00	15.00
111	62	71	72	0.	20.00	15.00
112	62	72	63	0.	20.00	15.00
113	64	73	74	0.	20.00	15.00
114	64	74	65	0.	20.00	15.00
115	65	74	75	0.	20.00	15.00
116	65	75	66	0.	20.00	15.00
117	66	75	76	0.	20.00	15.00
118	66	76	69	0.	20.00	15.00
119	67	76	77	0.	20.00	15.00
120	67	77	68	0.	20.00	15.00
121	68	77	78	0.	20.00	15.00
122	68	78	69	0.	20.00	15.00
123	69	78	79	0.	20.00	15.00
124	69	79	70	0.	20.00	15.00
125	70	79	80	0.	20.00	15.00
126	70	80	71	0.	20.00	15.00
127	71	80	81	0.	20.00	15.00
128	71	81	72	0.	20.00	15.00
129	72	81	82	0.	20.00	15.00
130	73	83	84	0.	20.00	15.00
131	73	84	74	0.	20.00	15.00
132	74	84	85	0.	20.00	15.00
133	74	85	75	0.	20.00	15.00
134	75	85	86	0.	20.00	15.00
135	75	86	76	0.	20.00	15.00
136	76	86	87	0.	20.00	15.00
137	76	87	77	0.	20.00	15.00
138	77	87	88	0.	20.00	15.00
139	77	88	78	0.	20.00	15.00
140	78	88	89	0.	20.00	15.00
141	78	89	79	0.	20.00	15.00
142	79	89	90	0.	20.00	15.00
143	79	90	80	0.	20.00	15.00
144	80	90	91	0.	20.00	15.00
145	80	91	81	0.	20.00	15.00
146	81	91	82	0.	20.00	15.00

n	id			flint	alamdx	alamdy
147	83	92	93	0.	20.00	15.00
148	83	93	84	0.	20.00	15.00
149	84	93	94	0.	20.00	15.00
150	84	94	85	0.	20.00	15.00
151	85	94	95	0.	20.00	15.00
152	85	95	86	0.	20.00	15.00
153	86	95	96	0.	20.00	15.00
154	86	96	87	0.	20.00	15.00
155	87	96	97	0.	20.00	15.00
156	87	97	88	0.	20.00	15.00
157	88	97	98	0.	20.00	15.00
158	88	98	89	0.	20.00	15.00
159	89	98	99	0.	20.00	15.00
160	89	99	90	0.	20.00	15.00
161	90	99	100	0.	20.00	15.00
162	90	100	91	0.	20.00	15.00
163	92	101	102	0.	20.00	15.00
164	92	102	93	0.	20.00	15.00
165	93	102	103	0.	20.00	15.00
166	93	103	94	0.	20.00	15.00
167	94	103	104	0.	20.00	15.00
168	94	104	95	0.	20.00	15.00
169	95	104	105	0.	20.00	15.00
170	95	105	96	0.	20.00	15.00
171	96	105	106	0.	20.00	15.00
172	96	106	97	0.	20.00	15.00
173	97	106	107	0.	20.00	15.00
174	97	107	98	0.	20.00	15.00
175	98	107	108	0.	20.00	15.00
176	98	108	99	0.	20.00	15.00
177	99	108	109	0.	20.00	15.00
178	99	109	100	0.	20.00	15.00
179	101	110	111	0.	20.00	15.00
180	101	111	102	0.	20.00	15.00
181	102	111	112	0.	20.00	15.00
182	102	112	103	0.	20.00	15.00
183	103	112	113	0.	20.00	15.00
184	103	113	104	0.	20.00	15.00
185	104	113	114	0.	20.00	15.00
186	104	114	105	0.	20.00	15.00
187	105	114	115	0.	20.00	15.00
188	105	115	106	0.	20.00	15.00
189	106	115	116	0.	20.00	15.00
190	106	116	107	0.	20.00	15.00
191	107	116	117	0.	20.00	15.00
192	107	117	108	0.	20.00	15.00
193	108	117	118	0.	20.00	15.00
194	108	118	109	0.	20.00	15.00
195	110	119	120	0.	20.00	15.00
196	110	120	111	0.	20.00	15.00
197	111	120	121	0.	20.00	15.00
198	111	121	112	0.	20.00	15.00
199	112	121	122	0.	20.00	15.00
200	112	122	113	0.	20.00	15.00
201	113	122	123	0.	20.00	15.00
202	113	123	114	0.	20.00	15.00
203	114	123	124	0.	20.00	15.00
204	114	124	115	0.	20.00	15.00
205	115	124	125	0.	20.00	15.00
206	115	125	116	0.	20.00	15.00
207	116	125	126	0.	20.00	15.00
208	116	126	117	0.	20.00	15.00
209	117	126	127	0.	20.00	15.00

n	id			flint	alamdx	alamdy
210	117	127	118	0.	20.00	15.00
211	119	128	129	0.	20.00	15.00
212	119	129	120	0.	20.00	15.00
213	120	129	130	0.	20.00	15.00
214	120	130	121	0.	20.00	15.00
215	121	130	131	0.	20.00	15.00
216	121	131	122	0.	20.00	15.00
217	122	131	132	0.	20.00	15.00
218	122	132	123	0.	20.00	15.00
219	123	132	133	0.	20.00	15.00
220	123	133	124	0.	20.00	15.00
221	124	133	134	0.	20.00	15.00
222	124	134	125	0.	20.00	15.00
223	125	134	135	0.	20.00	15.00
224	125	135	126	0.	20.00	15.00
225	126	135	136	0.	20.00	15.00
226	126	136	127	0.	20.00	15.00
227	128	137	138	0.	20.00	15.00
228	128	138	129	0.	20.00	15.00
229	129	138	139	0.	20.00	15.00
230	129	139	130	0.	20.00	15.00
231	130	139	140	0.	20.00	15.00
232	130	140	131	0.	20.00	15.00
233	131	140	141	0.	20.00	15.00
234	131	141	132	0.	20.00	15.00
235	132	141	142	0.	20.00	15.00
236	132	142	133	0.	20.00	15.00
237	133	142	143	0.	20.00	15.00
238	133	143	134	0.	20.00	15.00
239	134	143	144	0.	20.00	15.00
240	134	144	135	0.	20.00	15.00
241	135	144	145	0.	20.00	15.00
242	135	145	136	0.	20.00	15.00
243	137	146	147	0.	20.00	15.00
244	137	147	138	0.	20.00	15.00
245	138	147	148	0.	20.00	15.00
246	138	148	139	0.	20.00	15.00
247	139	148	149	0.	20.00	15.00
248	139	149	140	0.	20.00	15.00
249	140	149	150	0.	20.00	15.00
250	140	150	141	0.	20.00	15.00
251	141	150	151	0.	20.00	15.00
252	141	151	142	0.	20.00	15.00
253	142	151	152	0.	20.00	15.00
254	142	152	143	0.	20.00	15.00
255	143	152	153	0.	20.00	15.00
256	143	153	144	0.	20.00	15.00
257	144	153	154	0.	20.00	15.00
258	144	154	145	0.	20.00	15.00
259	146	155	156	0.	20.00	15.00
260	146	156	147	0.	20.00	15.00
261	147	156	157	0.	20.00	15.00
262	147	157	148	0.	20.00	15.00
263	148	157	158	0.	20.00	15.00
264	148	158	149	0.	20.00	15.00
265	149	158	159	0.	20.00	15.00
266	149	159	150	0.	20.00	15.00
267	150	159	160	0.	20.00	15.00
268	150	160	151	0.	20.00	15.00
269	151	160	161	0.	20.00	15.00
270	151	161	152	0.	20.00	15.00
271	152	161	162	0.	20.00	15.00
272	152	162	153	0.	20.00	15.00

n	id			flint	alamdx	alamdy
273	153	162	163	0.	20.00	15.00
274	153	163	154	0.	20.00	15.00
275	155	164	165	0.	20.00	15.00
276	155	165	156	0.	20.00	15.00
277	156	165	166	0.	20.00	15.00
278	156	166	157	0.	20.00	15.00
279	157	166	167	0.	20.00	15.00
280	157	167	158	0.	20.00	15.00
281	158	167	168	0.	20.00	15.00
282	158	168	159	0.	20.00	15.00
283	159	168	169	0.	20.00	15.00
284	159	169	160	0.	20.00	15.00
285	160	169	170	0.	20.00	15.00
286	160	170	161	0.	20.00	15.00
287	161	170	171	0.	20.00	15.00
288	161	171	162	0.	20.00	15.00
289	162	171	172	0.	20.00	15.00
290	162	172	163	0.	20.00	15.00
291	164	173	174	0.	20.00	15.00
292	164	174	165	0.	20.00	15.00
293	165	174	175	0.	20.00	15.00
294	165	175	166	0.	20.00	15.00
295	166	175	176	0.	20.00	15.00
296	166	176	167	0.	20.00	15.00
297	167	176	177	0.	20.00	15.00
298	167	177	168	0.	20.00	15.00
299	168	177	178	0.	20.00	15.00
300	168	178	169	0.	20.00	15.00
301	169	178	179	0.	20.00	15.00
302	169	179	170	0.	20.00	15.00
303	170	179	180	0.	20.00	15.00
304	170	180	171	0.	20.00	15.00
305	171	180	181	0.	20.00	15.00
306	171	181	172	0.	20.00	15.00
307	173	182	183	0.	20.00	15.00
308	173	183	174	0.	20.00	15.00
309	174	183	184	0.	20.00	15.00
310	174	184	175	0.	20.00	15.00
311	175	184	185	0.	20.00	15.00
312	175	185	176	0.	20.00	15.00
313	176	185	186	0.	20.00	15.00
314	176	186	177	0.	20.00	15.00
315	177	186	187	0.	20.00	15.00
316	177	187	178	0.	20.00	15.00
317	178	187	188	0.	20.00	15.00
318	178	188	179	0.	20.00	15.00
319	179	188	189	0.	20.00	15.00
320	179	189	180	0.	20.00	15.00
321	180	189	190	0.	20.00	15.00
322	180	190	181	0.	20.00	15.00
323	182	191	192	0.	20.00	15.00
324	182	192	183	0.	20.00	15.00
325	183	192	193	0.	20.00	15.00
326	183	193	184	0.	20.00	15.00
327	184	193	194	0.	20.00	15.00
328	184	194	185	0.	20.00	15.00
329	185	194	195	0.	20.00	15.00
330	185	195	186	0.	20.00	15.00
331	186	195	196	0.	20.00	15.00
332	186	196	187	0.	20.00	15.00
333	187	196	197	0.	20.00	15.00
334	187	197	188	0.	20.00	15.00
335	188	197	198	0.	20.00	15.00

n	id			flint	alamdx	alamdy
336	188	198	189	0.	20.00	15.00
337	189	198	199	0.	20.00	15.00
338	189	199	190	0.	20.00	15.00

numarul de ecuatii, nsize = 199
semilatimea benzii, mband = 12

**TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE LA
PERETII TURBOMOTORULUI PENTRU Q = 343 kW**

ne	nn	ntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	25

date pt. flux termic

Q = 343 kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	5766.00
32	18	27	5766.00
48	27	36	5766.00
64	36	45	5766.00
80	45	54	5766.00
96	54	63	21625.00
112	63	72	21625.00
129	72	82	21625.00
146	82	91	21625.00
162	91	100	21625.00
178	100	109	21625.00
194	109	118	21625.00
210	118	127	21625.00
226	127	136	21625.00
242	136	145	21625.00
258	145	154	21625.00
274	154	163	21625.00
337	199	198	800.00
335	198	197	800.00
333	197	196	800.00
331	196	195	800.00
329	195	194	800.00
327	194	193	800.00
325	193	192	800.00
323	192	191	800.00

date pt. convecție

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize = 199
semilatimea benzii, mband = 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	95.0569839
2	387.1398315
3	563.4417725
4	710.5832520
5	850.6781616
6	994.9325562
7	1159.7390137
8	1416.8739014
9	2256.2336426
10	190.8814545
11	404.5069580
12	567.8159180
13	711.6401978
14	850.0543213
15	991.8498535
16	1145.8897705
17	1329.5401611
18	1588.4034424
19	247.9096985
20	425.0335083
21	575.4779663
22	713.7485352
23	848.7412720
24	986.9941406
25	1133.3675537
26	1291.3730469
27	1465.0106201
28	292.6312866
29	445.5847168
30	584.2374878
31	716.1232300
32	846.6637573
33	981.2440796
34	1123.1112061
35	1269.8471680
36	1409.5777588
37	328.6024475
38	464.0518494
39	592.4826050
40	718.0864258
41	843.3526611
42	974.2477417
43	1115.1568604
44	1262.7392578
45	1398.6025391
46	357.5238037
47	479.4154663
48	599.1591797
49	719.4763184
50	837.9939575
51	964.0443115
52	1106.3643799
53	1265.4187012
54	1444.1358643
55	380.2176514
56	491.0411987
57	603.2739258

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
58	721.5266113
59	829.7194824
60	947.0910034
61	1090.0668945
62	1254.9826660
63	1456.1760254
64	396.9944458
65	498.4641113
66	602.3641357
67	729.4391479
68	817.9136963
69	918.5476074
70	1064.3405762
71	1224.2694092
72	1412.9322510
73	407.7242737
74	502.4498596
75	599.7835083
76	702.0010376
77	801.0867310
78	908.0664673
79	1035.7624512
80	1182.3906250
81	1356.6677246
82	1556.4718018
83	441.2493286
84	530.6881104
85	621.8823853
86	716.1238403
87	812.9066162
88	918.4133301
89	1038.9841309
90	1177.7056885
91	1383.7258301
92	442.5616455
93	524.8928833
94	609.3728638
95	696.2959595
96	786.6380615
97	883.4157104
98	990.1530151
99	1109.7618408
100	1244.8593750
101	463.7346191
102	541.8781738
103	621.1313477
104	702.1331787
105	786.0843506
106	874.9451904
107	970.7409058
108	1075.0609131
109	1186.3387451
110	482.3362122
111	556.3084717
112	630.3449707
113	705.2209473
114	782.0490723

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
115	862.1746216
116	947.0064087
117	1038.9567871
118	1137.0457764
119	499.2377625
120	569.0714722
121	637.6608276
122	706.1030273
123	775.3919067
124	846.4072266
125	920.2328491
126	1002.4794312
127	1091.1632080
128	515.7609863
129	581.0360107
130	643.6386108
131	705.3554077
132	766.8719482
133	828.3001099
134	889.7222290
135	965.4330444
136	1046.5610352
137	534.2521362
138	592.8515625
139	648.5707397
140	703.5169678
141	757.2905884
142	808.2188721
143	852.2119751
144	928.5937500
145	1002.4539185
146	559.7791748
147	603.8769531
148	652.2738647
149	701.5285645
150	749.3527832
151	793.6476440
152	831.8031006
153	897.2636719
154	957.1196289
155	566.6448975
156	607.8936157
157	653.9377441
158	700.1205444
159	744.2755127
160	785.3305664
161	823.8966064
162	866.2178345
163	897.6264648
164	559.8898926
165	608.6174316
166	655.6719971
167	700.2720947
168	741.5357056
169	778.7076416
170	811.1828613
171	837.4285278

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
172	847.0820923
173	563.0830078
174	613.4027100
175	660.1302490
176	703.0803833
177	741.6688232
178	775.0513916
179	801.9677734
180	820.0549927
181	824.7011108
182	571.5593872
183	621.8358154
184	667.7023926
185	709.0471802
186	745.3448486
187	775.7008057
188	798.8253174
189	813.0321045
190	816.8681030
191	584.0199585
192	633.7435303
193	678.5401001
194	718.4699097
195	753.0064087
196	781.2242432
197	801.9140015
198	813.9149170
199	817.2703857

**TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE LA
PERETII TURBOMOTORULUI PENTRU Q = 334 kW**

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	29

date pt. flux termic

Q = 334 kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	13730.00
32	18	27	13730.00
48	27	36	13730.00
64	36	45	13730.00
80	45	54	13730.00
96	54	63	13730.00
112	63	72	13730.00
129	72	82	13730.00
146	82	91	13730.00
162	91	100	13730.00
178	100	109	13730.00
194	109	118	13730.00
210	118	127	13730.00
226	127	136	13730.00
242	136	145	13730.00
258	145	154	13730.00
274	154	163	13730.00
290	163	172	13730.00
306	172	181	13730.00
322	181	190	13730.00
338	190	199	13730.00
337	199	198	800.00
335	198	197	800.00
333	197	196	800.00
331	196	195	800.00
329	195	194	800.00
327	194	193	800.00
325	193	192	800.00
323	192	191	800.00

date pt. convecție

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize = 199
semilatimea benzii, mband= 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	92.1876221
2	370.7350464
3	541.3410034
4	688.8808594
5	839.5515137
6	1015.4867554
7	1263.1993408
8	1773.2275391
9	3744.2355957
10	183.2607422
11	386.9262695
12	544.8009644
13	688.4111938
14	835.7619019
15	1004.7202759
16	1223.8520508
17	1554.0806885
18	2133.2419434
19	237.1012268
20	405.6536255
21	550.4417114
22	686.9855957
23	827.3945923
24	985.0510864
25	1178.4083252
26	1436.2827148
27	1803.2056885
28	279.0112915
29	424.1202698
30	556.5378418
31	684.5699463
32	815.8876953
33	960.3800049
34	1130.2325439
35	1339.9826660
36	1606.6676025
37	512.5751343
38	440.6258545
39	562.0957031
40	681.5062256
41	802.6713257
42	933.6502075
43	1083.3937988
44	1259.0551758
45	1467.6768799
46	339.6575012
47	454.5409546
48	566.6877441
49	678.6056519
50	788.8213501
51	906.2843628
52	1039.5898438
53	1190.4141846
54	1361.4530029

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
55	361.2641296
56	465.5627441
57	569.9056396
58	677.7219238
59	775.0376587
60	878.1026001
61	999.3562012
62	1131.8699951
63	1276.4739990
64	377.8108215
65	473.4275208
66	569.9847412
67	683.8156128
68	761.4832153
69	846.2683716
70	963.3291626
71	1082.1981201
72	1206.1077881
73	389.1007996
74	478.7202759
75	568.7109375
76	659.7944946
77	746.6424561
78	835.3221436
79	935.0809326
80	1041.5838623
81	1157.7927246
82	1283.5378418
83	422.9588013
84	507.7887878
85	592.0007324
86	676.0458984
87	759.2366333
88	844.9407349
89	936.9010010
90	1035.4539795
91	1171.3323975
92	426.9229736
93	506.0813293
94	585.2320557
95	663.9508667
96	742.4317627
97	822.1247559
98	904.7174072
99	991.1022339
100	1081.5538330
101	450.7737427
102	526.9298096
103	602.0016479
104	676.0537720
105	749.5382690
106	823.3085327
107	898.1428223
108	974.4928589

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
109	1050.3609619
110	473.4516602
111	546.6658325
112	617.8594971
113	687.3867798
114	755.7756958
115	823.5656738
116	891.2255249
117	960.2343140
118	1028.7288818
119	495.7059326
120	566.0430908
121	633.2736816
122	698.2541504
123	761.5728149
124	823.4958496
125	884.2766724
126	948.5299072
127	1012.5944824
128	518.7171021
129	585.7283325
130	648.5377197
131	708.8980103
132	767.2604370
133	823.2623901
134	876.1850586
135	939.3491211
136	1001.1863403
137	544.6708984
138	606.0892944
139	663.5935669
140	719.4614868
141	773.2177734
142	822.8577271
143	863.5183716
144	934.1895142
145	995.8204956
146	578.5181274
147	626.0767212
148	677.8104858
149	730.4249878
150	781.7166748
151	829.5424805
152	870.9558105
153	939.6850586
154	999.0114746
155	593.1345825
156	638.7584839
157	689.8218384
158	741.9475708
159	793.3498535
160	843.4651489
161	893.7295532
162	952.1502075

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
163	1007.3889160
164	593.1655273
165	647.4463501
166	701.2045288
167	754.2750244
168	806.4817505
169	858.0748901
170	910.1196289
171	964.2362061
172	1016.5847168
173	602.7169800
174	659.2446289
175	714.0640869
176	767.6863403
177	820.3751221
178	872.4712524
179	924.4270630
180	976.3087769
181	1026.5000000
182	616.3101196
183	673.1367798
184	728.1911621
185	781.9558105
186	834.7505493
187	886.8297119
188	938.3063354
189	988.8606567
190	1037.4902344
191	631.8765259
192	688.4259644
193	743.2786865
194	796.8818359
195	849.5337524
196	901.4193726
197	952.5106201
198	1002.3730469
199	1050.1520996

TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE

LA PERETII TURBOMOTORULUI Q = 293 kW

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	21

date pt. flux termic

Q = 293 kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	12000.00
32	18	27	12000.00
48	27	36	12000.00
64	36	45	12000.00
80	45	54	12000.00
96	54	63	12000.00
112	63	72	12000.00
129	72	82	12000.00
146	82	91	12000.00
162	91	100	12000.00
178	100	109	12000.00
194	109	118	12000.00
210	118	127	12000.00
226	127	136	12000.00
242	136	145	12000.00
258	145	154	12000.00
274	154	163	12000.00
290	163	172	12000.00
306	172	181	12000.00
322	181	190	12000.00
338	190	199	12000.00

date pt. convectie

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize = 199
semilatimea benzii, mband= 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	83.7623520
2	321.3412170
3	467.2025757
4	593.8396606
5	723.7689819
6	876.2137451
7	1091.7822266
8	1536.9982910
9	3259.5266113
10	161.3894958
11	335.0988464
12	470.0862427
13	593.3457642
14	720.3917236
15	866.7453003
16	1057.3350830
17	1345.4014893
18	1851.4232178
19	207.2146759
20	350.9432068
21	474.7286682
22	591.9003906
23	712.9161987
24	849.4065552
25	1017.4719238
26	1242.2963867
27	1562.8118896
28	242.8022461
29	366.4870605
30	479.6616821
31	589.4877319
32	702.6036377
33	827.6074829
34	975.1311035
35	1157.8881836
36	1390.7875977
37	271.2072449
38	380.2842712
39	484.0477295
40	586.4232788
41	690.7139893
42	803.9270630
43	933.8718872
44	1086.8214111
45	1268.9622803
46	294.0236511
47	391.8043213
48	487.5302734
49	583.4266357
50	678.1985474
51	779.6189575
52	895.1820679
53	1026.3967285
54	1175.6672363

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
55	312.1198120
56	400.7978516
57	489.7566528
58	582.1190796
59	665.6810303
60	754.5422974
61	859.5351563
62	974.6978149
63	1100.8073730
64	325.8739929
65	407.0586853
66	489.1704407
67	586.8201904
68	653.3215332
69	726.2495728
70	827.4913940
71	930.6606445
72	1038.5200195
73	335.1672668
74	411.1553040
75	487.7017517
76	565.6143188
77	639.8305664
78	716.0161743
79	802.1576538
80	894.5087280
81	995.7258301
82	1105.4099121
83	363.4760132
84	435.3385620
85	506.9031067
86	578.6024170
87	649.7396240
88	723.3818970
89	802.7899780
90	888.2997437
91	1006.8502197
92	366.4227600
93	433.3362427
94	500.4329224
95	567.3945923
96	634.3934326
97	702.7332153
98	773.9044189
99	848.7074585
100	927.4381714
101	386.1261292
102	450.3714294
103	513.8979492
104	576.7896118
105	639.4522095
106	702.6477051
107	767.0610352
108	833.0703735

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
109	898.9262085
110	404.7199707
111	466.3601685
112	526.4951782
113	585.4487305
114	643.6881714
115	701.6911011
116	759.8623657
117	819.4336548
118	878.7959595
119	422.8476868
120	481.9435730
121	538.6240845
122	593.6307373
123	647.4760742
124	700.3975830
125	752.6118164
126	807.9899902
127	863.4358521
128	441.5051575
129	497.6857605
130	550.5359497
131	601.5446167
132	651.1047363
133	698.9199829
134	744.3865356
135	798.6995850
136	852.1235962
137	462.5247498
138	513.8973389
139	562.1856079
140	609.3156128
141	654.9000854
142	697.2589722
143	732.3014526
144	792.8081665
145	845.9342651
146	490.0485229
147	529.7003174
148	573.0469971
149	617.3512573
150	660.7763672
151	701.5242310
152	737.1134644
153	795.8867188
154	846.9682007
155	501.3767090
156	539.2909546
157	581.9746094
158	625.7854004
159	669.2326660
160	711.8387451
161	754.7994995
162	804.8307495

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
163	852.3857422
164	500.4006653
165	545.4329834
166	590.2817993
167	634.8202515
168	678.8945313
169	722.6993408
170	767.1101074
171	813.4664307
172	858.5178223
173	507.2539673
174	554.0494995
175	599.7200928
176	644.6858521
177	689.1445923
178	733.3548584
179	777.6680298
180	822.1096191
181	865.2896118
182	517.3178101
183	564.2669067
184	610.1068115
185	655.1950684
186	699.7553101
187	743.9625854
188	787.8754272
189	831.1875000
190	873.0141602
191	528.7870483
192	575.4755859
193	621.1853638
194	666.1889038
195	710.6774292
196	754.7624512
197	798.3807373
198	841.1233521
199	882.2133179

TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE

LA PERETII TURBOMOTORULUI Q = 209 kW

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	21

date pt. flux termic

Q = 209kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	10258.00
32	18	27	10258.00
48	27	36	10258.00
64	36	45	10258.00
80	45	54	10258.00
96	54	63	10258.00
112	63	72	10258.00
129	72	82	10258.00
146	82	91	10258.00
162	91	100	10258.00
178	100	109	10258.00
194	109	118	10258.00
210	118	127	10258.00
226	127	136	10258.00
242	136	145	10258.00
258	145	154	10258.00
274	154	163	10258.00
290	163	172	10258.00
306	172	181	10258.00
322	181	190	10258.00
338	190	199	10258.00

date pt. convecție

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize = 199
semilatimea benzii, mband= 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	76.6836853
2	279.7740479
3	404.4611816
4	512.7147217
5	623.7826538
6	754.0975342
7	938.3726807
8	1318.9582520
9	2791.4326172
10	143.0419617
11	291.5345154
12	406.9262390
13	512.2925415
14	620.8956909
15	746.0035400
16	908.9261475
17	1155.1749268
18	1587.7390137
19	182.2148285
20	305.0788269
21	410.8947754
22	511.0569763
23	614.5053101
24	731.1818237
25	874.8497314
26	1067.0372314
27	1341.0244141
28	212.6363373
29	318.3662415
30	415.1116638
31	508.9945984
32	605.6898193
33	712.5472412
34	838.6554565
35	994.8822021
36	1193.9724121
37	236.9178772
38	330.1605225
39	418.8609924
40	506.3750000
41	595.5261230
42	692.3044434
43	803.3856201
44	934.1319580
45	1089.8321533
46	256.4220886
47	340.0082397
48	421.8379822
49	503.8133545
50	584.8275146
51	671.5250854
52	770.3122559
53	882.4790039
54	1010.0803833

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
55	271.8912964
56	347.6962585
57	423.7411499
58	502.6956787
59	574.1270752
60	650.0887451
61	739.8401489
62	838.2850952
63	946.0877075
64	283.6488342
65	353.0482178
66	423.2400818
67	506.7143555
68	563.5618286
69	625.9031982
70	712.4481201
71	800.6406860
72	892.8424072
73	291.5930176
74	356.5501404
75	421.9845886
76	488.5868835
77	552.0292969
78	617.1553955
79	690.7919922
80	769.7368164
81	856.2605591
82	950.0221558
83	315.7922668
84	377.2227478
85	438.3985596
86	499.6895752
87	560.5000610
88	623.4518433
89	691.3325195
90	764.4291382
91	865.7700195
92	318.3112488
93	375.5111389
94	432.8676453
95	490.1087341
96	547.3815308
97	605.8006592
98	666.6402588
99	730.5844116
100	797.8859253
101	335.1543274
102	390.0733643
103	444.3779297
104	498.1399231
105	551.7059326
106	605.7276001
107	660.7902222
108	717.2172241

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
109	773.5130005
110	351.0490112
111	403.7410889
112	455.1465149
113	505.5420227
114	555.3270264
115	604.9097900
116	654.6365967
117	705.5601196
118	756.3049316
119	366.5452271
120	417.0623779
121	465.5147095
122	512.5361938
123	558.5648804
124	603.8039551
125	648.4384766
126	695.7776489
127	743.1746216
128	382.4942627
129	430.5193176
130	475.6973267
131	519.3012085
132	561.6668701
133	602.5408936
134	641.4072266
135	687.8358765
136	733.5045166
137	400.4625244
138	444.3775024
139	485.6558533
140	525.9441528
141	564.9111938
142	601.1210327
143	631.0765381
144	682.7997437
145	728.2136841
146	423.9908142
147	457.8864441
148	494.9405212
149	532.8132324
150	569.9345093
151	604.7671509
152	635.1900024
153	685.4314575
154	729.0975342
155	433.6744080
156	466.0848083
157	502.5721741
158	540.0231323
159	577.1632690
160	613.5843506
161	650.3086548
162	693.0770264

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
163	733.7286377
164	432.8399658
165	471.3351135
166	509.6734314
167	547.7463379
168	585.4225464
169	622.8683472
170	660.8321533
171	700.4591064
172	738.9705200
173	438.6985168
174	478.7008667
175	517.7415771
176	556.1798096
177	594.1846924
178	631.9770508
179	669.8574219
180	707.8475952
181	744.7593384
182	447.3013306
183	487.4349060
184	526.6205444
185	565.1634521
186	603.2550659
187	641.0448608
188	678.5830688
189	715.6077271
190	751.3625488
191	457.1056213
192	497.0165100
193	536.0908203
194	574.5612793
195	612.5915527
196	650.2769775
197	687.5633545
198	724.1011963
199	759.2262573

TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE

LA PERETII TURBOMOTORULUI Q = 167 kW

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	21

date pt. flux termic

Q = 167 kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	8571.00
32	18	27	8571.00
48	27	36	8571.00
64	36	45	8571.00
80	45	54	8571.00
96	54	63	8571.00
112	63	72	8571.00
129	72	82	8571.00
146	82	91	8571.00
162	91	100	8571.00
178	100	109	8571.00
194	109	118	8571.00
210	118	127	8571.00
226	127	136	8571.00
242	136	145	8571.00
258	145	154	8571.00
274	154	163	8571.00
290	163	172	8571.00
306	172	181	8571.00
322	181	190	8571.00
338	190	199	8571.00

date pt. convecție

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize = 199
semilatimea benzii, mband= 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	69.8285065
2	239.5191956
3	343.7006531
4	434.1511841
5	526.9531860
6	635.8367920
7	789.8065796
8	1107.8021240
9	2338.1181641
10	125.2736969
11	249.3455811
12	345.7603149
13	433.7984314
14	524.5409546
15	629.0739746
16	765.2027588
17	970.9541626
18	1332.3802490
19	158.0043030
20	260.6624146
21	349.0762024
22	432.7660522
23	519.2015381
24	616.6898193
25	736.7304688
26	897.3113403
27	1126.2395020
28	183.4227753
29	271.7646179
30	352.5996094
31	431.0428467
32	511.8358459
33	601.1198120
34	706.4885864
35	837.0226440
36	1003.3711548
37	203.7110138
38	281.6192627
39	355.7323303
40	428.8540649
41	503.3436584
42	584.2061157
43	677.0191650
44	786.2633057
45	916.3574829
46	220.0076447
47	289.8474731
48	358.2196960
49	426.7136841
50	494.4045105
51	566.8440552
52	649.3849487
53	743.1051025

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
54	849.7215576
55	232.9328308
56	296.2711182
57	359.8098755
58	425.7797852
59	485.4638672
60	548.9330444
61	623.9241943
62	706.1792603
63	796.2529297
64	242.7567596
65	300.7429199
66	359.3912354
67	429.1376038
68	476.6361389
69	528.7250366
70	601.0369873
71	674.7256470
72	751.7642212
73	249.3944550
74	303.6689148
75	358.3422241
76	413.9913025
77	467.0002136
78	521.4158936
79	582.9423828
80	648.9041748
81	721.1984863
82	799.5402832
83	269.6139832
84	320.9418030
85	372.0567627
86	423.2680359
87	474.0778198
88	526.6767578
89	583.3939819
90	644.4694214
91	729.1440430
92	271.7187500
93	319.5116577
94	367.4354553
95	415.2628479
96	463.1167603
97	511.9284668
98	562.7625122
99	616.1906128
100	672.4239502
101	285.7918091
102	331.6790161
103	377.0527954
104	421.9732361
105	466.7299805
106	511.8674011

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
107	557.8745728
108	605.0217896
109	652.0593872
110	299.0724792
111	343.0989990
112	386.0504150
113	428.1580505
114	469.7555847
115	511.1841125
116	552.7329712
117	595.2818604
118	637.6812744
119	312.0202332
120	354.2294922
121	394.7135010
122	434.0020142
123	472.4610291
124	510.2602539
125	547.5541992
126	587.1080933
127	626.7103271
128	325.3463440
129	365.4733276
130	403.2215271
131	439.6545105
132	475.0528870
133	509.2048645
134	541.6792603
135	580.4724121
136	618.6305542
137	340.3596191
138	377.0524902
139	411.5423279
140	445.2049561
141	477.7636719
142	508.0184631
143	533.0476074
144	576.2645264
145	614.2097778
146	360.0185242
147	388.3397522
148	419.3090488
149	450.9443665
150	481.9608459
151	511.0649109
152	536.4845581
153	578.4633789
154	614.9483032
155	368.1096191
156	395.1898499
157	425.6766052
158	456.9685059
159	488.0007629

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
160	518.4321289
161	549.1168213
162	584.8516235
163	618.8178101
164	367.4124451
165	399.5767822
166	431.6100159
167	463.4216003
168	494.9016724
169	526.1892700
170	557.9096680
171	591.0196533
172	623.1976318
173	372.3074341
174	405.7311401
175	438.3513489
176	470.4681702
177	502.2227783
178	533.7999268
179	565.4506226
180	597.1931152
181	628.0344238
182	379.4954834
183	413.0288391
184	445.7701111
185	477.9743958
186	509.8015442
187	541.3765869
188	572.7412720
189	603.6770630
190	633.5516968
191	387.6873779
192	421.0346680
193	453.6829224
194	485.8266907
195	517.6026001
196	549.0903931
197	580.2447510
198	610.7736816
199	640.1221924

TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE

LA PERETII TURBOMOTORULUI Q = 150 kW

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	21

date pt. flux termic

Q = 150 kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	6857.00
32	18	27	6857.00
48	27	36	6857.00
64	36	45	6857.00
80	45	54	6857.00
96	54	63	6857.00
112	63	72	6857.00
129	72	82	6857.00
146	82	91	6857.00
162	91	100	6857.00
178	100	109	6857.00
194	109	118	6857.00
210	118	127	6857.00
226	127	136	6857.00
242	136	145	6857.00
258	145	154	6857.00
274	154	163	6857.00
290	163	172	6857.00
306	172	181	6857.00
322	181	190	6857.00
338	190	199	6857.00

date pt. convecție

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize = 199
semilatimea benzii, mband= 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	62.8636208
2	198.6201477
3	281.9677429
4	354.3302612
5	428.5740356
6	515.6834717
7	638.8628540
8	893.2667847
9	1877.5482178
10	107.2210617
11	206.4814758
12	283.6155090
13	354.0480652
14	426.6442261
15	510.2730713
16	619.1791992
17	783.7852173
18	1072.9345703
19	133.4063263
20	215.5352020
21	286.2682800
22	353.2221375
23	422.3725891
24	500.3653870
25	596.4006958
26	724.8692627
27	908.0170898
28	153.7416687
29	224.4172363
30	289.0870972
31	351.8435364
32	416.4798279
33	487.9090576
34	572.2064819
35	676.6369019
36	809.7196045
37	169.9727478
38	232.3011780
39	291.5933533
40	350.0924683
41	409.6858826
42	474.3777161
43	548.6303101
44	636.0281982
45	740.1065674
46	183.0104065
47	238.8839111
48	293.5833130
49	348.3800964
50	402.5343018
51	460.4876709
52	526.5223999
53	601.5006104
54	686.7962036

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
55	193.3508606
56	244.0229645
57	294.8554993
58	347.6329651
59	395.3815918
60	446.1584167
61	506.1531372
62	571.9589844
63	644.0200195
64	201.2102051
65	247.6004944
66	294.5205078
67	350.3192444
68	388.3192139
69	429.9914856
70	487.8427429
71	546.7954102
72	608.4280396
73	206.5205078
74	249.9413605
75	293.6812744
76	338.2018127
77	380.6101990
78	424.1439514
79	473.3666382
80	526.1375732
81	583.9747314
82	646.6500244
83	222.6966095
84	263.7600708
85	304.6532593
86	345.6234741
87	386.2724609
88	428.3528442
89	473.7279358
90	522.5896606
91	590.3313599
92	224.3804626
93	262.6159058
94	300.9560852
95	339.2191467
96	377.5033875
97	416.5538635
98	457.2222900
99	499.9659729
100	544.9540405
101	235.6392517
102	272.3500977
103	308.6502075
104	344.5875854
105	380.3940430
106	416.5049744
107	453.3117981
108	491.0306702

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
109	528.6618652
110	246.2641296
111	281.4863586
112	315.8484802
113	349.5355835
114	382.8146057
115	415.9583740
116	449.1983948
117	483.2384644
118	517.1590576
119	256.6225891
120	290.3909912
121	322.7791443
122	354.2108765
123	384.9790039
124	415.2192078
125	445.0552979
126	476.6993713
127	508.3820190
128	267.2837830
129	299.3863220
130	329.5857544
131	358.7330322
132	387.0525208
133	414.3749084
134	440.3551941
135	471.3906250
136	501.9179993
137	279.2947693
138	308.6499329
139	336.2426147
140	363.1734924
141	389.2212219
142	413.4257202
143	433.4495850
144	468.0242004
145	498.3813171
146	295.0223083
147	317.6799927
148	342.4489746
149	367.7651672
150	392.5790100
151	415.8629456
152	436.1992798
153	469.7833252
154	498.9721069
155	301.4953308
156	323.1601868
157	347.5502930
158	372.5845642
159	397.4111023
160	421.7568970
161	446.3053589
162	474.8940735

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
163	502.0677795
164	300.9375610
165	326.6697998
166	352.2971497
167	377.7472229
168	402.9320374
169	427.9627991
170	453.3398438
171	479.8286438
172	505.5717773
173	304.8536682
174	331.5934143
175	357.6903687
176	383.3845520
177	408.7890625
178	434.0515442
179	459.3728027
180	484.7675476
181	509.4413147
182	310.6043396
183	337.4317627
184	363.6255493
185	389.3897400
186	414.8522339
187	440.1129761
188	465.2055054
189	489.9548340
190	513.8552246
191	317.1580811
192	343.8366394
193	369.9560242
194	395.6717834
195	421.0932617
196	446.2841797
197	471.2084045
198	495.6322632
199	519.1117554

TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE

LA PERETII TURBOMOTORULUI Q = 117 kW

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	21

date pt. flux termic Q = 117 kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	5142.00
32	18	27	5142.00
48	27	36	5142.00
64	36	45	5142.00
80	45	54	5142.00
96	54	63	5142.00
112	63	72	5142.00
129	72	82	5142.00
146	82	91	5142.00
162	91	100	5142.00
178	100	109	5142.00
194	109	118	5142.00
210	118	127	5142.00
226	127	136	5142.00
242	136	145	5142.00
258	145	154	5142.00
274	154	163	5142.00
290	163	172	5142.00
306	172	181	5142.00
322	181	190	5142.00
338	190	199	5142.00

date pt. convecție

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize= 199
semilatimea benzii, mband= 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	55.8946571
2	157.6971588
3	220.1987152
4	274.4627075
5	330.1374207
6	395.4599915
7	487.8310547
8	678.6060791
9	1416.7095947
10	89.1578751
11	163.5923004
12	221.4343719
13	274.2510681
14	328.6902771
15	391.4027405
16	473.0704651
17	596.5068970
18	813.3372192
19	108.7939377
20	170.3816071
21	223.4236603
22	273.6317139
23	325.4869995
24	383.9731140
25	455.9891052
26	552.3264160
27	689.6672363
28	124.0432358
29	177.0421600
30	225.5374756
31	272.5979309
32	321.0680847
33	374.6322021
34	437.8460999
35	516.1574707
36	615.9548340
37	136.2147980
38	182.9542694
39	227.4169006
40	271.2848206
41	315.9733582
42	364.4851379
43	420.1665039
44	485.7053833
45	563.7527466
46	145.9916077
47	187.8905945
48	228.9091492
49	270.0007324
50	310.6104736
51	354.0691223
52	403.5879517
53	459.8134155
54	523.7758179

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
55	153.7458191
56	191.7443390
57	229.8631439
58	269.4404602
59	305.2467346
60	343.3238220
61	388.3132629
62	437.6604614
63	491.6983643
64	159.6394653
65	194.4270935
66	229.6119690
67	271.4548950
68	299.9507141
69	331.2003784
70	374.5824890
71	418.7905273
72	465.0082703
73	163.6216125
74	196.1824799
75	228.9826202
76	262.3681946
77	294.1697998
78	326.8153687
79	363.7269897
80	403.2994385
81	446.6709595
82	493.6705627
83	175.7519073
84	206.5449982
85	237.2104187
86	267.9335938
87	298.4158630
88	329.9715576
89	363.9978943
90	400.6388855
91	451.4377441
92	177.0146027
93	205.6870117
94	234.4379272
95	263.1310120
96	291.8399963
97	321.1235962
98	351.6204529
99	383.6735535
100	417.4096680
101	185.4574432
102	212.9865723
103	240.2076721
104	267.1567993
105	294.0076904
106	321.0869751
107	348.6880493
108	376.9730225

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
109	405.1922913
110	193.4249420
111	219.8377686
112	245.6056366
113	270.8672485
114	295.8228455
115	320.6770630
116	345.6034241
117	371.1297302
118	396.5664673
119	201.1926880
120	226.5152740
121	250.8028717
122	274.3731689
123	297.4458923
124	320.1227722
125	342.4965515
126	366.2261353
127	389.9846802
128	209.1874237
129	233.2607880
130	255.9070740
131	277.7642517
132	299.0007935
133	319.4896545
134	338.9720459
135	362.2452087
136	385.1373901
137	218.1943359
138	240.2074585
139	260.8989258
140	281.0941467
141	300.6271362
142	318.7778931
143	333.7935791
144	359.7207336
145	382.4852600
146	229.9882965
147	246.9790344
148	265.5530396
149	284.5374146
150	303.1451111
151	320.6055298
152	335.8555298
153	361.0399170
154	382.9283142
155	234.8423615
156	251.0886230
157	269.3785400
158	288.1514587
159	306.7686462
160	325.0253296
161	343.4340210
162	364.8724060

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
163	385.2497253
164	234.4241028
165	253.7204742
166	272.9382019
167	292.0228882
168	310.9087219
169	329.6791077
170	348.7091064
171	368.5727844
172	387.8773499
173	237.3607483
174	257.4126282
175	276.9824829
176	296.2503052
177	315.3008728
178	334.2449951
179	353.2331848
180	372.2764587
181	390.7790527
182	241.6730804
183	261.7907410
184	281.4331970
185	300.7535095
186	319.8475952
187	338.7904053
188	357.6070251
189	376.1663208
190	394.0890198
191	246.5876770
192	266.5936890
193	286.1803589
194	305.4643555
195	324.5276794
196	343.4181519
197	362.1085815
198	380.4237976
199	398.0308533

TRANSMITEREA CALDURII DE LA GAZELE DE ARDERE

LA PERETII TURBOMOTORULUI Q = 84 kW

ne	nn	nntimp	neconv	neflux
338	199	0	29	21

date pt. flux termic

Q = 84 kW

neflux	n1	n2	flux
16	9	18	3428.00
32	18	27	3428.00
48	27	36	3428.00
64	36	45	3428.00
80	45	54	3428.00
96	54	63	3428.00
112	63	72	3428.00
129	72	82	3428.00
146	82	91	3428.00
162	91	100	3428.00
178	100	109	3428.00
194	109	118	3428.00
210	118	127	3428.00
226	127	136	3428.00
242	136	145	3428.00
258	145	154	3428.00
274	154	163	3428.00
290	163	172	3428.00
306	172	181	3428.00
322	181	190	3428.00
338	190	199	3428.00

date pt. convecție

necon	n1	n2	alfa	tetae
1	1	10	29.10	35.00
17	10	19	29.10	35.00
33	19	28	29.10	35.00
49	28	37	29.10	35.00
65	37	46	29.10	35.00
81	46	55	29.10	35.00
97	55	64	29.10	35.00
113	64	73	29.10	35.00
130	73	83	29.10	35.00
147	83	92	29.10	35.00
163	92	101	29.10	35.00
179	101	110	29.10	35.00
195	110	119	29.10	35.00
211	119	128	29.10	35.00
227	128	137	29.10	35.00
243	137	146	29.10	35.00
254	146	155	29.10	35.00
275	155	164	29.10	35.00
291	164	173	29.10	35.00
307	173	182	29.10	35.00
323	182	191	29.10	35.00
2	1	2	29.10	35.00
4	2	3	29.10	35.00
6	3	4	29.10	35.00
8	4	5	29.10	35.00
10	5	6	29.10	35.00
12	6	7	29.10	35.00
14	7	8	29.10	35.00
16	8	9	29.10	35.00

numarul de ecuatii, nsize= 199
semilatimea benzii, mband= 12

valoarea functiei necunoscute in noduri (temperatura, grd.c, presiunea, m col apa)

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
1	48.9297714
2	116.7980881
3	158.4657898
4	194.6417542
5	231.7582092
6	275.3065796
7	336.8872986
8	464.0706482
9	956.1395874
10	71.1052475
11	120.7281799
12	159.2895660
13	194.5006714
14	230.7934418
15	272.6017456
16	327.0469055
17	409.3378601
18	553.8914185
19	84.1959534
20	125.2543869
21	160.6157532
22	194.0877686
23	228.6579285
24	267.6486511
25	315.6593323
26	379.8842163
27	471.4447937
28	94.3621521
29	129.6947479
30	162.0249481
31	193.3985596
32	225.7119904
33	261.4214172
34	303.5639954
35	355.7715759
36	422.3031921
37	102.4765015
38	133.6361542
39	163.2778931
40	192.5231628
41	222.3155060
42	254.6567230
43	291.7776184
44	335.4701843
45	387.5017700
46	108.9943771
47	136.9270325
48	164.2727356
49	191.6670990
50	218.7402649
51	247.7126923
52	280.7252197
53	318.2088928
54	360.8504944

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
55	114.1638489
56	139.4962006
57	164.9087372
58	191.2935944
59	215.1644287
60	240.5491333
61	270.5421143
62	303.4402466
63	339.4655151
64	118.0929565
65	141.2846985
66	164.7412720
67	192.6365509
68	211.6337433
69	232.4668579
70	261.3882751
71	290.8602905
72	321.6721191
73	120.7477341
74	142.4549713
75	164.3217163
76	186.5787354
77	207.7798157
78	229.5435333
79	254.1512604
80	280.5328979
81	309.4472656
82	340.7803345
83	128.8345947
84	149.3633118
85	169.8069000
86	190.2890015
87	210.6105042
88	231.6476593
89	254.3318787
90	278.7591858
91	312.6250916
92	129.6763763
93	148.7913208
94	167.9585876
95	187.0872955
96	206.2266235
97	225.7490234
98	246.0802612
99	267.4490051
100	289.9396973
101	135.3049469
102	153.6576691
103	171.8050842
104	189.7711487
105	207.6717529
106	225.7245941
107	244.1252899
108	262.9819641

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
109	281.7947998
110	140.6165924
111	158.2251282
112	175.4037170
113	192.2447815
114	208.8818359
115	225.4513092
116	242.0688934
117	259.0864258
118	276.0442505
119	145.7950745
120	162.6768036
121	178.8684998
122	194.5820465
123	209.9638672
124	225.0817871
125	239.9976501
126	255.8173523
127	271.6564026
128	151.1248779
129	167.1737976
130	182.2713013
131	196.8427887
132	211.0004730
133	224.6597137
134	237.6479797
135	253.1633759
136	268.4248657
137	157.1294861
138	171.8049164
139	185.5992279
140	199.0627136
141	212.0846710
142	224.1851959
143	234.1956940
144	251.4804230
145	266.6567993
146	164.9921265
147	176.3192902
148	188.7019653
149	201.3582153
150	213.7633514
151	225.4036560
152	235.5703278
153	252.3598785
154	266.9521484
155	168.2281799
156	179.0590057
157	191.2522888
158	203.7675781
159	216.1790314
160	228.3501892
161	240.6226654
162	254.9148712

nr. nod	valoarea temperaturii in nod
163	268.4997864
164	167.9493103
165	180.8135834
166	193.6253967
167	206.3485413
168	218.9391174
169	231.4527130
170	244.1393890
171	257.3818359
172	270.2515259
173	169.9070892
174	183.2750397
175	196.3216095
176	209.1668243
177	221.8672333
178	234.4966431
179	247.1554413
180	259.8509521
181	272.1860046
182	172.7819824
183	186.1937714
184	199.2887421
185	212.1689606
186	224.8983612
187	237.5269165
188	250.0713501
189	262.4441833
190	274.3926392
191	176.0583801
192	189.3957367
193	202.4535065
194	215.3095245
195	228.0184326
196	240.6120605
197	253.0723572
198	265.2825012
199	277.0205383

NOTITA AUTOBIOGRAFICA

Nationalitatea: romana

Data si locul nasterii: 31 iulie 1955, Arad

Pregatirea profesionala:

- 1962 - 1975 Scoala elementara, medie si liceul nr. 2 "Miron" Arad
- 1980 absolvirea Facultatii de Mecanica Timisoara sectia Material Rulant cu lucrarea de diploma in domeniul adaptarii turbomotoarelor aeronautice pentru tractiunea feroviara

Activitatea profesionala

- 1980 - 1996 inginer la S.C. ASTRA Vagoane Arad S.A. - Fabrica de Vagoane Calatori
 - ◇ coordoneaza activitatea in domeniul Debitare Presaj
 - ◇ participa ca proiectant la constructia si modernizarea ramelor de metrou cu tractiune tiristorizata
 - ◇ coordoneaza Serviciul Programare Lansare si Urmarirea Productiei - Fabrica de Vagoane Calatori
 - ◇ coordoneaza activitatea fabricatiei la Vagoane Speciale
 - ◇ specializare in domeniul managementului industrial la concernul "Siemens" Deutschland
 - ◇ lucrari la simpozioane pe tema poluarii turbomotoarelor
 - ◇ 1982 - 1996 stagiul de doctorat la Universitatea "Politehnica" Timisoara