

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN TIMIȘOARA

FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. BOLDUR COSTAN RADU MIRCEA

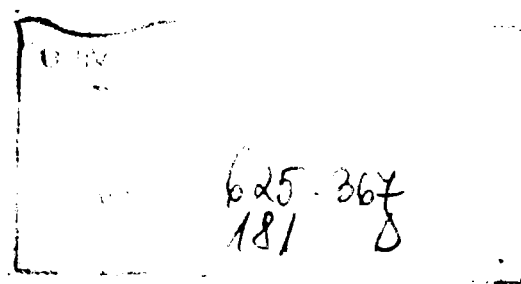
OPTIMIZAREA TRASEULUI FLUIDELOR ȘI A  
TRANSFERULUI DE CĂLDURĂ ÎN SCOPUL  
MĂRIRII DURABILITĂȚII GURILOR DE VÂNT LA  
FURNALE DE 1000 m<sup>3</sup>

Conducător științific

Profesor doctor inginer GYULAI FRANCISC

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

TIMIȘOARA  
1999



# CUPRINS

Cuprins	pag 2
Introducere	pag 5
<b>Cap 1</b> Stadiul actual al investigațiilor privind procesele din furnal și analiza importanței gurilor de vânt	pag 8
1.1 Investigarea proceselor din furnal	pag 8
1.1.1 Conexiunea dintre materiile prime , pregătirea lor și procesele din fața gurii de vânt	pag 8
1.1.2 Procesele din furnal și influența lor asupra gurii de vânt	pag 16
1.1.3 Procese de ardere din creuzetul furnalului și influența lor asupra gurii de vânt	pag 23
1.2 Considerații asupra gurilor de vânt	pag 29
1.2.1 Dispozitivul gurilor de vânt	pag 29
1.2.2 Influența evoluției parametrilor de insuflare a aerului asupra condițiilor de exploatare a gurilor de vânt	pag 34
1.2.3 Investigarea deteriorării gurilor de vânt	pag 37
1.2.3.1 Considerații privind mecanismul deteriorării gurilor de vânt	pag 37
1.2.3.2 Considerații privind solicitarea termică a gurilor de vânt	pag 42
1.3 Studiul parametrilor constructivi ai gurilor de vânt de înaltă durabilitate ce echipează furnalele din țară și din străinătate	pag 50
1.4 Concluzii,definirea problemelor elaborate și investigate în lucrare	pag 62

<b>Cap 2</b> Studiul, proiectarea și realizarea unor modele de guri de vânt	pag 66
2.1 Solicitățile termice ale gurilor de vânt	pag 66
2.2 Elemente inițiale de calcul și proiectare	pag 72
2.3 Calcul și proiectarea dimensională a 3 modele de guri de vânt	pag 75
2.4 Compararea soluțiilor realizate cu cele oferite de literatură	pag 87
2.5 Concluzii	pag 93
 <b>Cap 3</b> Studiul și proiectarea unui sistem de măsurare și prelucrare automată a parametrilor de funcționare a furnalului pentru gurile de vânt proiectate	pag 97
3.1 Stabilirea schemei funcționale	pag 97
3.2 Măsurarea parametrilor funcționali	pag 100
3.2.1 Măsurarea parametrilor aerului cald	pag 100
3.2.2 Măsurarea parametrilor combustibilului auxiliar	pag 101
3.2.3 Măsurarea parametrilor oxigenului și a aburului injectate în conducta de aer cald și a aerului comprimat injectat la gurile de vânt	pag 103
3.2.4 Măsurarea temperaturilor pe furnal	pag 105
3.2.5 Măsurarea presiunilor pe furnal	pag 108
3.2.6 Măsurarea nivelului încărcăturii	pag 109
3.3 Concluzii	pag 110
 <b>Cap 4</b> Cercetări experimentale	pag 112
4.1 Diagrame caracteristice	pag 112
4.2 Rezultate experimentale	pag 124
4.3 Concluzii	pag 127

<b>Cap 5</b> Concluzii și propuneri	pag 134
5.1 Concluzii generale	pag 134
5.2 Propuneri	pag 139
<b>Cap 6</b> Contribuții personale	pag 141
Bibliografie	pag 150

# Introducere

Evoluția parametrilor de funcționare a furnalelor în ultimii 20 de ani a fost marcată printr-o mărire a presiunii de insuflare a aerului în furnal, o creștere a debitului și a vitezei de ejecție a aerului și prin dezvoltarea injecțiilor de combustibili auxiliari însoțite de îmbogățirea aerului în oxigen și controlul umidității aerului insuflat.

Din ansamblul rețelei de alimentare a furnalului cu aer cald partea cea mai solicitată este gura de vânt. Echipamentele gurilor de vânt ale furnalelor vechi au fost practic preluate de furnalele moderne dar pe măsura creșterii intensității de funcționare a furnalelor a apărut o accelerare a distrugerii gurilor de vânt. În condițiile de funcționare ale furnalelor vechi durata de serviciu a gurilor de vânt atingea ușor un an ele fiind distruse prin eroziunea părții frontale de către materialele antrenate de curenții de gaze .

În prezent durata de funcționare a gurilor de vânt de construcție clasică nu este mai mare de 30-100 de zile. Datorită faptului că numărul de guri de vânt ale unui furnal crește odată cu volumul acestuia, chiar la o durată de funcționare constantă a gurilor de vânt pierderea de producție la fiecare oprire crește.

Perfecționarea construcției gurilor de vânt , creșterea fiabilității în funcționare are o mare importanță pentru mărirea productivității elaborării fontei.

Gurile de vânt ale furnalelor sunt scoase din funcțiune datorită următoarelor cauze:

- Crăpături sau fisuri.
- Uzură generală.
- Arsuri ( topiri locale ).

Crăpăturile sau fisurile apar în zina imbinărilor sudate sau în partea frontală a gurilor de vânt. Ele se datorează, în primul rând, defectelor de material, de construcție sau de execuție precum și tensiunilor interne datorate alungirii liniare diferite a suprafețelor interioare și exterioare datorită diferențelor de temperatură existente între zona frontală a gurii de vânt ( 1500 – 1700 ° C ) și a insuflării ( 1000 – 1200 ° C ).

Uzura se întâlnește în zona frontală a gurii de vânt și se datorează abraziunii coloanei de materiale, ce spală gura de vânt.

Arsurile reprezintă cauza principală a scoaterii din funcțiune a gurii de vânt și ele se prezintă sub forma unor topiri locale , strict limitate și localizate în zona frontală a gurii de vânt , și se datorează contactului gurii de vânt cu produsele lichide ale șarjei.

Pentru a înțelege mecanismul acestor deteriorări va trebui studiată conexiunea dintre materiile prime, pregătirea lor, procesele din furnal și influența acestora asupra gurii de vânt.

De asemenea este necesar să se studieze influența parametrilor de insuflare a aerului asupra condițiilor de exploatare a gurii de vânt.

Studierea, în continuare a parametrilor constructivi ai gurilor de vânt de înaltă durabilitate ce echipează furnalele din țară și din străinătate aduce informații asupra căilor de creștere a fiabilității acestora utilizate pe plan mondial.

Durabilitatea gurilor de vânt ale furnalelor este determinată, în principal de condițiile de exploatare ale furnalului, de condițiile de răcire ale gurii de vânt și de construcția gurii de vânt.

În consecință, presupunând că se realizează o conducere corectă a proceselor de reducere din furnal, mi-am propus să cercetez posibilitatea de îmbunătățire a fiabilității gurii de vânt pe următoarele căi:

- Evaluarea, cât mai corectă a densității fluxului termic transmis gurii de vânt în condiții reale de funcționare a furnalului și determinarea posibilităților

de reducere a acestei solicitări prin o mai bună conducere a proceselor de furnal.

- Studiarea modalităților de creștere a intensității de răcire a gurii de vânt până la temperaturi la care să asigure o interacțiune normală între produsele lichide ale șarjei și suprafața răcită.

- Folosirea unor materiale adecvate pentru construcția gurii de vânt care să preia în mod eficient fluxul termic și să-l transmită către apa de răcire.

- Adoptarea unor forme ,exterioare corecte a gurii de vânt care să asigure o bună drenare a produselor șarjei și a unei forme interioare care să favorizeze schimbul termic și să minimizeze riscul apariției de tensiuni interne.

În urma concretizării căilor de creștere a durabilității gurilor de vânt și a determinării solicitărilor termice ale acestora, lucrarea de față își propune să studieze și să proiecteze mai multe modele de guri de vânt care să poată fi experimentate în furnal.

Pentru aceasta trebuie studiat și îmbunătățit sistemul de măsurare și prelucrare automată a parametrilor de funcționare ai furnalului pentru a corespunde problematicii abordate iar rezultatele obținute vor fi studiate comparativ cu comportarea anterioară a gurilor de vânt.

# CAPITOLUL 1

## Stadiul actual al investigațiilor privind procesele din furnal și analiza importanței gurilor de vânt

### 1.1 Investigarea proceselor din furnal

#### 1.1.1 Conexiunea dintre materiile prime , pregătirea lor și procesele din fața gurii de vânt

Pentru a obține creșterea durabilității gurilor de vânt este important ca funcționarea furnalului să fie cât mai uniformă.

Prin acest lucru se urmăresc 2 obiective:

- Menținerea, la o valoare constantă, cât mai mică cu putință a densității fluxului termic ce acționează asupra gurii de vânt.
- Evitarea arderii gurilor de vânt datorită acumulării fontei în partea inferioară a acestora.

Procesul de reducere a fierului din minereu are loc prin reducere indirectă și prin reducere directă. În timp ce reducerea indirectă este exotermă ( sau ușor endotermă ) cea directă este puternic endotermă, deci are nevoie de un aport important de căldură , aport ce mărește solicitarea termică a gurilor de vânt.

Proporția reducerii indirecte a oxizilor de fier trebuie deci maximizată; ea depinde de gradul de pregătire a minereurilor și de conducerea procesului.

Minereurile de fier principale utilizate la furnalele din Hunedoara sunt hematita (  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cu 70% Fe), limonita (  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 - 3\text{H}_2\text{O}$  cu 60% Fe) și mai rar siderita (  $\text{FeCO}_3$  cu 30 – 40% Fe ) .



Minereurile hematitice reprezintă principalele minereuri ce se utilizează în producția de fontă. Sunt de origine sedimentară, uneori magmatică formând zăcămintele compacte. Aceste minereuri prezintă o culoare roșie până la cenușiu sau chiar negru, nu conține elemente dăunătoare procesului din furnal și au de obicei steril acid.

Pentru producția de la Hunedoara acest minereu este importat de la Krivoi-Rog ( zăcămintă de origine sedimentară având 70% Fe ) și din Suedia ( 60 – 66% Fe puțin sulf și fosfor ) .

Reducerea indirectă a fierului din aceste minereuri se realizează cu ajutorul gazelor reducătoare.

Pentru ca gazele reducătoare să aibă o circulație favorabilă prin încărcătură și o difuzie corespunzătoare în interiorul bucăților de minereu, granulația acestora trebuie să fie cuprinsă între 10 – 50 ( 60 ) mm.

Pentru obținerea granulației necesare minereul este supus sfărâmării și clasării.

În funcție de gradul de sfărâmare și mărimea inițială a particulelor, pentru sfărâmare se folosesc concasoare cu fălci, concasoare giratorii, concasoare conice, concasoare cu valțuri, dezintegratoare, mori cu ciocane, mori cu bile sau bare, kollegang-uri.

Operațiile de clasare realizează sortarea mineralelor utile după dimensiuni și se execută pentru obținerea unor produse finite între anumite limite de granulație, pregătirea substanțelor minerale în vederea concentrării, raționalizarea sfărâmării și măcinării prin eliminarea granulelor de material care au granulația cerută .

Pentru sortarea minereului care se prezintă sub formă de blocuri și bulgări de dimensiuni mari se folosesc grătarele simple sau mobile. Suprafața de ciuruire a grătarelor este constituită din bare simple sau profilate cu distanța dintre ele cuprinsă între 0 și 300mm. Pentru clasarea materialelor mărunte o largă răspândire o au ciururile vibrante

Mișcarea imprimată granulelor este perpendiculară pe suprafața de clasare. Frecvența vibrațiilor este ridicată ( 700 – 3500 vibr/min ) la o amplitudine redusă ( 1,5 – 2mm ) .

Un alt minereu de fier utilizat la Hunedoara este limonita (  $2 \text{Fe}_2 \text{O}_3 - 3\text{H}_2\text{O}$  ) cu 60% Fe. Minereurile limonitice apar sub formă de agregate pământoase, sunt de origine secundară , au o culoare galben de ocru , brună sau neagră, luciu mat, greutate specifică 3,3 – 4g/cm<sup>3</sup>. Aceste minereuri se exploatează pentru Hunedoara în munții Poiana Ruscă la Teliuc.

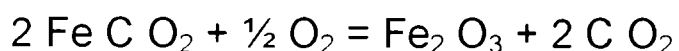
De asemenea în zona Ghelar – Teliuc se exploatează pentru siderurgie carbonat de fier (  $\text{FeCO}_3$  ) cunoscut sub denumirea de siderită . Minereurile sideritice sunt de origine sedimentară și metamorfice , au o culoare brună până la cenușiu și un conținut de fier de 30 – 40%. Datorită conținutului mic de fier sideritele nu se prelucrează ce atare în furnal, ele se supun unei operații de prăjire în urma căreia conținutul de fier crește , devin poroase și sfărâncioase fiind în acelaș timp și ușor reductibile. .

Prin operația de prăjire se urmărește o concentrare sau îmbunătățire a calității minereurilor în scopul mării proporției reducerii indirecte în furnal și deci a reducerii solicitării termice a gurii de vânt . În acest caz prăjirea este oxidantă Prăjirea oxidantă se folosește în cazul sideritei în scopul eliminării  $\text{CO}_2$  a limonitei în scopul eliminării apei de hidratare rămânând astfel oxizii cu un conținut de metal mai mare decât minereul initial și obținându-se afînarea bucatilor de minereu . Prăjirea oxidantă se realizează în cuptoare cu cuvă , cuptoare rotative sau cuptoare cu pat fluidizat folosindu-se un combustibil gazos ,lichid sau solid . Fazele operației de prăjire sînt.

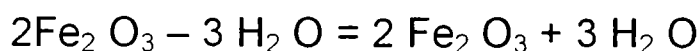
- Uscarea , care începe la temperaturi de 105 – 110° C și presupune eliminarea umidității din minereuri .

- Descompunerea hidraților și a carbonaților la temperaturi de 250 – 900° C când are loc eliminarea apei de constituție și a  $\text{CO}_2$ .

Prin prăjire siderita se descompune.



De asemenea limonita se calcinează după relația

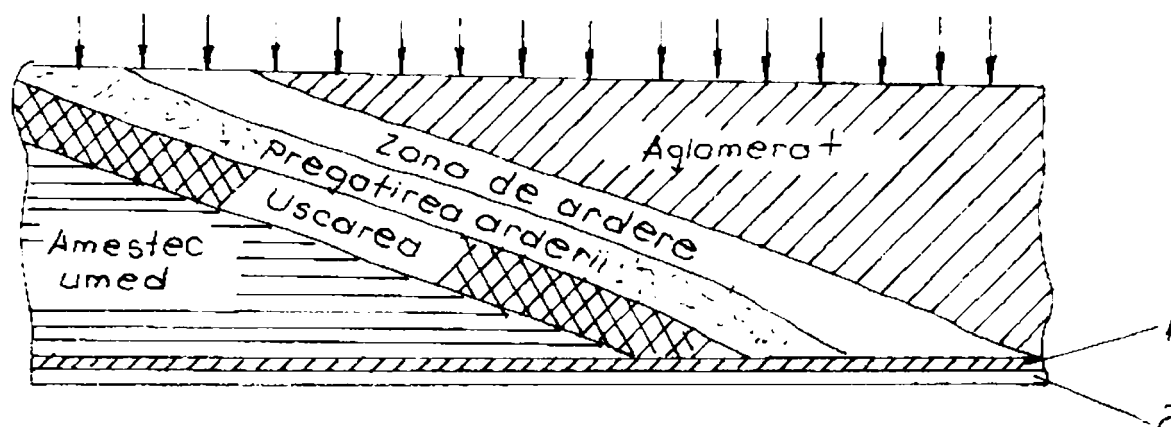


Prin operația de prăjire are loc eliminarea sulfului și eliminarea parțială a arsenului.

În urma operației de sfărîmare și clasare a minereurilor și combustibilului încărcat în furnal, efectuată în scopul obținerii unei plaje granulometrice favorabile a încărcăturii rezultă o mare cantitate de materiale mărunte. În același timp tehnologia îmbogățirii materialelor necesită, pentru a înlătura cât mai mult din sterilul acestora măcinarea lor mărunță și este necesar ca printr-un procedeu de preparare să fie transformate în bucăți. Aglomerarea se realizează prin aspirarea aerului prin stratul de material instalat pe benzi continue de tipul Dwight-Lloyd. Folosirea materialului sub formă de aglomerat sau pelete (fierul în cea mai mare parte  $\text{Fe}_2 \text{ O}_3$  ușor reductibil, în aglomerat fiind limitat conținutul de  $\text{Fe O}$  sub 12 – 15% prin adăugare de fondant bazic) e avantajoasă pentru limitarea solicitării termice a gurii de vânt deoarece favorizează creșterea proporției reducerii indirecte a oxizilor de fier.

De sus în jos, pe o bandă de aglomerare se deosebesc o primă zonă de răcire a aglomeratului format și de preîncălzire a aerului aspirat, apoi zonele de ardere a combustibilului și de aglomerare a minereului, de uscare a materialelor și de umezire a încărcăturii (vezi figura 1).

Temperatura de ardere în stratul superficial în care aprinderea combustibilului a fost amorsată atinge 1000 – 1200°C iar ulterior pe măsura coborârii zonei de ardere a combustibilului și de aglomerare temperatura atinge 1300 – 1400°C.

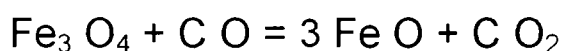
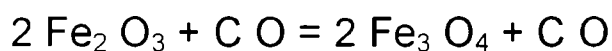
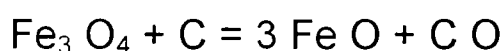
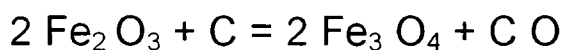


1 - Pat de protecție

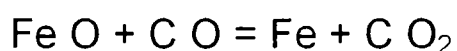
2 – Grătar

- figura 1 –

În această zonă de temperatură ridicată , sub acțiunea reducătoare a carbonului din combustibilul preîncălzit continutul în încărcătură , a oxidului de carbon și în parte a hidrogenului rezultat din descompunerea umidității din încărcătură se formează oxid feros și oxid magnetic de fier după reacțiile:



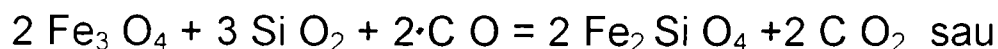
În continuare



Aceste reacții de reducere a oxidului feric sunt mult favorizate când în încărcătură se găsește o cantitate mai mare de carbon ( coeficientul mare de

utilizare a căldurii în perioada de aglomerare determină un consum de combustibil de 3 – 7% din masa încărcăturii și un bilanț termic favorabil).

În condițiile realizării unui aglomerat obișnuit , fără fondant, oxidul feros din aglomeratul final atinge valori de 20 – 25%. Abundența oxidului feros și a oxidului magnetic de fier în prezența bioxidului de siliciu în zona de ardere a stratului supus aglomerării favorizează reacția de formare a silicaților de fier din care cel mai important este faialitul conform reacției:

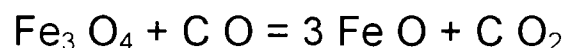
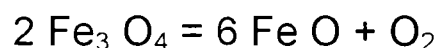


a cărei temperatură de topire este 1209°C. Faialitul împreună cu oxidul feros și bioxidul de siliciu formează complecși de tipul:



care dau eutectice cu temperaturi de topire de 1177 – 1178°C, producând topirea abundantă a aglomeratului cea ce va determina ca, după solidificare aglomeratul să aibă o rezistență mecanică foarte mare, dar o fiabilitate scăzută.

Prin adăugare de fondant bazic ( calcar sau var ) în încărcătură reacțiile de formare a faialitului sunt stânjenite de prezența oxidului de calciu față de care Si O<sub>2</sub> are o afinitate mai mare decât față de Fe O. Practic Ca O scoate Fe O din faialită iar oxidul feros rezultat împiedică dezvoltarea de la stânga la dreapta a reacțiilor reversibile.



aceasta explicând în mare măsură faptul că aglomeratul autofondant are mai puțin Fe O decât aglomeratul obișnuit.

Ca urmare a faptului că oxidul feric nu este stabil la temperaturi mari în zona de ardere și aglomerare concomitent cu reacțiile de reducere și disociere a carburanților au loc și reacții de disociere a oxizilor de fier după reacțiile reversibile.



Prima reacție de disociere are loc la temperaturi cuprinse între 1300 - 1350 °C iar a 2-a la temperaturi mai mari , însă ea este favorizată de formarea faialitului ca urmare a reacției dintre FeO și SiO<sub>2</sub>.

În cazul aglomeratelor obișnuite reducerea oxizilor de fier la oxid feros cu formarea faialitei, are o importanță deosebită întrucât aceasta determină caracteristicile de bază ale aglomeratului final. Faialita se caracterizează printr-un punct de fuziune scăzut și favorizează formarea de compuși complecși cu temperaturi de topire scăzute producând topirea abundantă a aglomeratului , ceea ce îi determină o rezistență mecanică foarte mare după solidificare . Pe de altă parte , un aglomerat cu un conținut de faialită ridicat va avea în furnal o reductibilitate foarte scăzută și un punct de fuziune scăzut , materialul ajungând neredus în zonele cu temperaturi înalte ale furnalului, urmînd ca reducerea să se facă în cea mai mare parte direct pe seama carbonului din cocs, ceea ce determină un aport suplimentar de căldură și deci creșterea solicitării termice a gurii de vînt.

De aceea , procesul de aglomerare trebuie astfel condus încât să se evite formarea abundantă a oxidului feros care determină formarea abundantă a silicaților de fier.

Cu cât consumul de combustibil este mai ridicat, cu atât se obține o formare mai abundantă a silicaților de fier și invers , cu cât consumul de combustibil este mai redus, cu atât conținutul de FeO și de silicați ai aglomeratului va fi mai redus, fapt care va determina o reductibilitate mai bună însă o rezistență mecanică mai slabă. De asemenea, prin adăugarea de fondanți bazici ( calcar , var ) conținutul de FeO este limitat sub 12 – 15% , iar problemele legate de faialită nu se mai pun deoarece prezența oxidului de calciu defavorizează formarea silicaților de fier .

Se obține astfel un aglomerat ușor reductibil a cărui folosire este avantajoasă deoarece mărește proporția reducerilor indirecte din furnal și reduce proporția reducerilor directe a fierului din minereu , reduceri puternic endoterme, limitând în acest fel solicitarea termică a gurii de vânt.

Prin procesul de aglomerare se realizează și o eliminare totală sau parțială a elementelor dăunătoare conținute în minereuri cum ar fi sulful, zincul, arsenul.

Acest lucru este de asemenea important deoarece una din cauzele arderii gurilor de vânt este dizolvarea peliculei de oxid de cupru de la partea inferioară a gurii de vânt de către zgura lichidă de furnal. Ori, cantitatea minimă de zgură este determinată de cerința unei bune desulfurării a fontei ( cantitatea de sulf din zgură nu poate depăși 2,7 – 3% ).

Creșterea cantității de materii prime cu granulație fină și foarte fină (sub 0,2mm ) cu un conținut ridicat de fier impune o altă metodă de pregătire a minereurilor, adoptarea peletizării sau aglomerării făcându-se funcție de granulație, peletizarea aplicându-se la minereuri cu o granulație sub 0.2 mm din care minimum 60% să aibă o granulație sub 0,06 mm în timp ce aglomerarea prelucrează minereuri cu granulație cuprinsă între 0,2 și 10 mm.

Peletizarea comportă măcinarea minereurilor până la obținerea unei granulații suficient de fine și uniforme apoi producerea peletelor crude și în final întărirea peletelor. Prajirea peletelor crude se face la temperaturi de 1350°C pentru hematite. În primă fază până la 400 – 500°C încălzirea peletelor se face încet temperatura menținându-se constantă până la terminarea proceselor de reclistareizare a oxizilor de fier, de disociere a carbonaților și a formării silicaților și aluminaților de calciu. Reclistalizarea hematitei și formarea unor topituri care prin solidificare realizează legătura între granulele peletei are loc între 900 și 1300°C. Arderea la o temperatură mai joasă nu permite obținerea de pelete rezistente , iar la o temperatură prea ridicată se

produce o topire superficială care conduce la scăderea porozității și reductibilității peletelor iar uneori la aglomerarea mai multor pelete.

Folosirea de minereuri cu porozitate ridicată obținută prin aglomerare, peletizare sau prăjire favorizează procesul de reducere indirectă limitând solicitarea termică a gurii de vânt.

De asemenea pentru a avea un mers uniform al furnalului minereurile se supun operației de omogenizare. Aceasta constă în amestecarea unora sau mai multor sorturi de minereu cu compoziție chimică variabilă și obținerea unui produs cu variație minimă în constituenți principali față de o valoare medie.

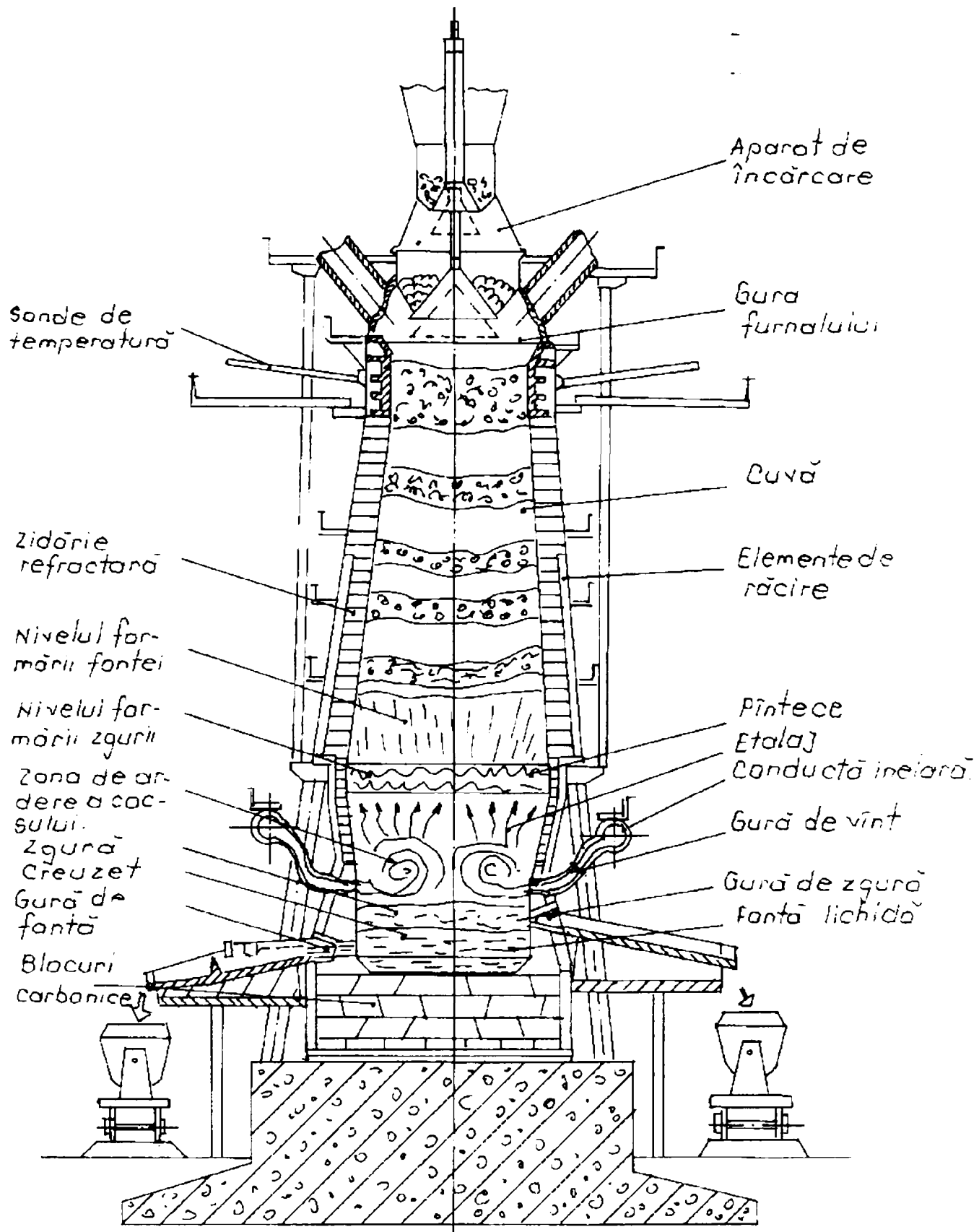
Când materiile prime au o compoziție variabilă, cantitatea de zgură trebuie mărită pentru a evita variații mari în compoziția zgurii și a fontei. Excesul de zgură poate conduce la creșterea consumului de combustibil și la înrăutățirea permeabilității la gaze a încărcăturii și la înrăutățirea coborârii materialelor în furnal. Aceasta generează o funcționare uniformă a furnalului cu consecințe nefavorabile asupra durabilității gurii de vânt. Prin folosirea de minereuri omogenizate, cu granulație favorabilă și porozitate ridicată, ușor reductibile, mersul furnalului fără zgură în exces este deosebit de uniform iar condițiile de exploatare ale gurilor de vânt sunt constante și durabilitatea lor este maximă.

### **1.1.2 Procesele din furnal și influența lor asupra gurii de vânt**

Principala calitate a furnalului este aceea de a fi un foarte bun schimbător de energie atât termică cât și chimică. Contactul intim și nemijlocit dintre încărcătura metalică și combustibil, circulația în contracurent, descendentă, a materiilor prime (minereuri, calcar, cocs) și ascendentă a gazelor reducătoare produse prin arderea cocsului în fața gurilor de vânt sunt



factorii care asigură buna desfășurare a proceselor de reducere și de topire în furnal.



- figura 2 -

625.367/181D

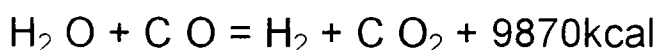
Știința și Ingineria  
 1974  
 București, editura

Fiind un agregat cu mers continuu, furnalul prezintă pe înălțimea sa toate fazele de elaborare de la materia primă până la produsul final (vezi figura 2).

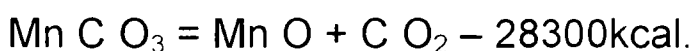
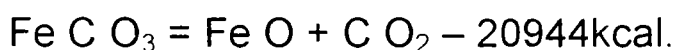
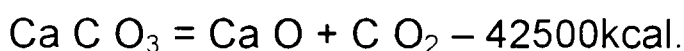
În fața gurilor de vânt, cocsul încălzit până la incandescență în urma trecerii lui prin furnal întâlnește aerul cald insuflat până la temperatura de 900 – 1200°C. În zona oxidantă formată carbonul din cocs arde până la C O<sub>2</sub> cu o degajare puternică de căldură. Reacția având loc la temperaturi cu mult peste 1000°C, C O<sub>2</sub> format este instabil și se transformă aproape instantaneu în C O prin reducere cu carbonul din cocsul incandescent. Astfel conținutul de oxigen din gaze scade dinspre gurile de vânt spre axa furnalului, conținutul de C O crescând corespunzător.

Deși carbonul din cocs arzând la C O produce numai 2340kcal/kgC față de 7950kcal/kgC, la arderea carbonului până la C O<sub>2</sub> în fața gurilor de vânt temperatura de ardere atinge totuși 1800 – 1900°C. Aceste temperaturi sunt mai mult decât suficiente pentru topirea fontei și zgurei. Gazele arse, cu temperatură înaltă, formate străbat coloana de materiale cedând acestora temperatura lor, ele răcinduse treptat până la temperaturi de 150 – 250°C, temperaturi cu care părăsesc furnalul trecând în instalația de epurare.

Încărcătura metalică ( minereuri, aglomerat, pelete, deșeuri metalice ) împreună cu cocsul și calcarul încărcate în straturi succesive la gura furnalului coboară treptat fiind încălzite de gazele de ardere. Pe măsura coborârii, în încărcătură au loc următoarele transformări fizico-chimice: evaporarea umidității, descompunerea hidraților ( limonite ), eliberarea apei de cristalizare ( între 100 și 400°C ).



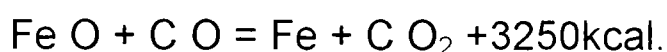
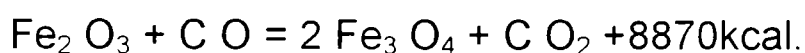
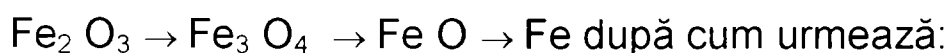
descompunerea carbonaților și degajarea de C O<sub>2</sub> ( între 600 și 1000°C ).



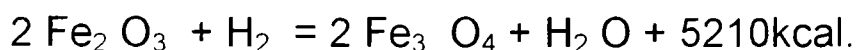
degajarea volatilelor din coacs (până la 1000°C), gazeificarea unor compuși cu temperaturi de volatilizare inferioare celor din furnal ( săruri alcaline, zinc ).

Reducerea încărcăturii metalice începe la temperaturi cuprinse între 250 – 450°C în funcție de natura minereurilor. Pe măsura coborârii bucăților de minereu în zona temperaturilor cuprinse între 600 și 1000°C au loc reacții intense de reducere a oxizilor de fier cu ajutorul oxizilor de carbon.

Reducerea are loc în etape , oxizii de fier superiori reducându-se la oxizi inferiori și apoi la fier metalic în scesiunea :



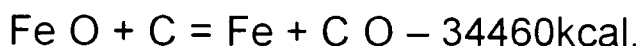
Alt agent reducător este hidrogenul



La temperaturi sub 810°C, oxidul de carbon este un reducător mai eficace decât hidrogenul, în timp ce la temperaturi peste 810°C devine mai activ hidrogenul; de aici avantajul pe care îl prezintă pentru procesul de reducere directă existența hidrogenului în gazul reducător, deci folosirea adaosurilor de gaz metan, păcură, vapori de apă în aerul insuflat.

Zona cuprinsă între 600 și 1000°C este zona reducerilor directe, carbonul neparticipând direct la reducere ci numai prin intermediul oxidului de carbon, spre deosebire de zonele joase unde carbonul participă direct la reducere. În zona reducerilor indirecte se îndepărtează 55-60% din totalul oxigenului din minereu, legat de fier. Zona reducerilor indirecte coboară până

către baza cuvei. Sub acest nivel, de la nivelul la care temperatura gazelor este de 1950°C și până în creuzet cu excepția spațiului în care are loc arderea, oxizii metalici încă nereduși din părțile centrale ale bucăților mari de minereu, la temperaturi peste 1000°C se reduc direct cu carbon:



Reducerea indirectă cu C O este exotermă ( sau ușor endotermă ).  
reducerea directă cu H<sub>2</sub> este exotermă în timp ce reducerea directă cu C este puternic endotermă, necesită un aport mare de căldură sporind solicitarea termică a gurilor de vânt, deci se urmărește limitarea reducerilor directe.

Proporția reducerii indirecte a oxizilor de fier depinde în principal de gradul de pregătire a minereurilor și de conducere a procesului:

a)Folosirea minereurilor sub formă de aglomerat și pelete ( fierul în cea mai mare parte Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub> , ușor reductibil ), în aglomerat fiind de dorit limitarea conținutului de Fe O sub 12 – 15% prin adăugare de fondant bazic.

b)Folosirea minereurilor cu o granulație favorabilă repartizării uniforme a gazelor reducătoare prin încărcătură și difuzia acestor gaze în interiorul bucăților. Limita inferioară a dimensiunii bucăților de minereu este de 8 – 10 mm, limita superioară fiind de 50 – 60mm pentru minereurile ușor reductibile, 25 – 30 mm pentru cele greu reductibile și 10 – 30 mm pentru aglomerat.

c)Folosirea de minereuri cu porozitate cât mai ridicată obținută prin aglomerare, peletizare sau prăjire.

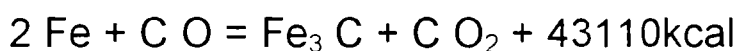
d)Dirijarea circulației gazelor reducătoare prin cuva furnalului prin variația schemei de încărcare și a măririi încărcăturii impune un control curent al compoziției gazului de furnal și verificarea compoziție de C O<sub>2</sub> pe diametrul cuvei superioare unde se urmărește obținerea de valori cât mai ridicate ale raportului C O<sub>2</sub> / (C O + C O<sub>2</sub> ) , peste 0,4 – 0,45 .

e)Compoziția gazului reducător prezintă importanță la temperaturi sub 900 – 950°C la care are loc reducerea indirectă, intensificarea reducerii în zona respectivă putându-se obține prin adaus de hidrogen în gazele obținute

prin arderea cocsului în fața gurilor de vânt ( introducere de hidrogen sau vapori de apă în aerul suflat prin gurile de vânt ) și prin creșterea proporției de C O în dauna azotului în gazele din zona de ardere prin îmbogățirea aerului în oxigen.

f) Creșterea presiunii gazelor din furnal îmbunătățește difuzia și frânează reacțiile de reducere directă cu carbon.

Fierul metalic rezultat din reacțiile de reducere împreună cu carbonul din cocs formează Fe<sub>3</sub> C (cementita).



În acest fel conținutul de carbon din aliajul Fe C crește până la 3 – 4%. Fierul redus se transformă în fontă ceea ce ușurează topirea (față de fierul metalic care are temperatura de topire 1520°C fonta se topește la 1150°C). În zona temperaturilor înalte la 1200°C începe formarea picăturilor de fontă ce coboară în creuzet. În zona imediat inferioară, în pântec, începe topirea sterilului minereurilor și formarea zgurilor primare bogate în oxizi de fier și de mangan. Coborând în creuzet zgurile își modifică compoziția inițială înglobând și Ca O și capătă compoziția fizico-chimică necesară desfășurării reacțiilor din creuzet dintre fontă și zgură . Caracteristicile sale fizice ( fuzibilitate , vâscozitate ) influențează temperatura în creuzet , mișcarea gazelor și a materialelor în creuzet cât și cinetica proceselor din creuzet .

Astfel, fuzibilitatea influențează temperatura din creuzet ; dacă zgura este ușor fuzibilă se topește la un nivel ridicat în furnal și topindu-se va absorbi căldură fără a-și ridica temperatura ; după ce trece în stare lichidă ea continuă să se încălzească însă se deplasează mai repede decât materialele solide ale încărcăturii astfel încât nu-și poate mări temperatura în aceeași măsură favorizând funcționarea rece a creuzetului. Zgura greu fuzibilă trece în stare lichidă la temperatură mai înaltă și la nivele mai coborâte în furnal favorizând funcționarea mai caldă a furnalului .

Proprietățile zgurii nu influențează numai temperatura creuzetului ci și coborîrea încărcăturii; zgura văskoasă, care curge greu, îngreunează extraordinar funcționarea furnalului; ea se lipește de pereți, inclusiv de cei ai gurii de vînt favorizînd cruste ce se retopesc și se solidifică continuu, dizolvă pelicula de oxid de cupru de la partea frontală a gurii de vînt cauzând arderea acesteia, se scurge greu din furnal provocând încărcarea creuzetului și lipește bucățile de cocs de pereții etalajului împiedicînd repartizarea normală a curentului de gaze .

Importantă este și bazicitatea zgurilor și capacitatea lor de desulfurare deoarece cantitatea minimă de zgură este determinată de capacitatea unei bune desulfurări a fontei ( concentrația sulfurii în zgură nu poate depăși 1,7 – 3% ) Excesul de zgură poate conduce la creșterea consumului de combustibil deci la mărirea sarcinii termice pentru gura de vînt iar în cazul mersului intens al furnalului poate conduce la înrăutățirea permeabilității la gaze a încărcăturii și la înrăutățirea coborîrii materialului în furnal ceea ce micșorează procentul reducerii indirecte solicitînd termic suplimentar gura de vînt. De asemenea, zgurele în exces spală partea frontală inferioară a gurii de vînt dizolvînd pelicula de oxid de cupru de la suprafața acesteia .

Este deci important ,pentru a proteja gurile de vînt să se lucreze cu zguri ușor fuzibile avînd fluiditate și capacitate de desulfurare ridicată, favorizînd funcționarea rece a creuzetului, mărind proporția reducerilor indirecte și evitînd spălarea pereților gurii de vînt de zgurile în exces, lucru realizat prin corectarea compoziției chimice a acestora ( adăugarea de oxid manganos și oxid feros etc ) .

Tot în creuzet zgura dizolvă cenușa cocsului ars la gurile de vînt și capătă compoziția finală cu care este evacuată din furnal. Datorită faptului că zgura are greutatea specifică de  $2\text{kg} / \text{dm}^3$  iar fonta  $7\text{kg} / \text{dm}^3$  ele se separă în două straturi suprapuse și sunt evacuate separat. La elaborarea fontei cu cocs cantitatea de zgură este de 0,3 – 0,4

### 1.1.3. Procesele de ardere din creuzetul furnalului și influența lor asupra arderii gurilor de vânt .

Arderea combustibilului și obținerea gazelor reducătoare are loc în creuzet și în partea inferioară a etalajului cu aerul cald introdus prin gurile de vânt amplasate simetric pe periferia creuzetului. Datorită vitezei de intrare a aerului ( 100 – 150 m/s ) și a coborârii cocsului din etalaj în interiorul zonei de ardere bucățile de cocs descriu o zonă de rotație ( circulația cocsului ) ceea ce face ca partea centrală a zonei de ardere să nu fie ocupată de materiale solide ( vezi figura 3 ) .

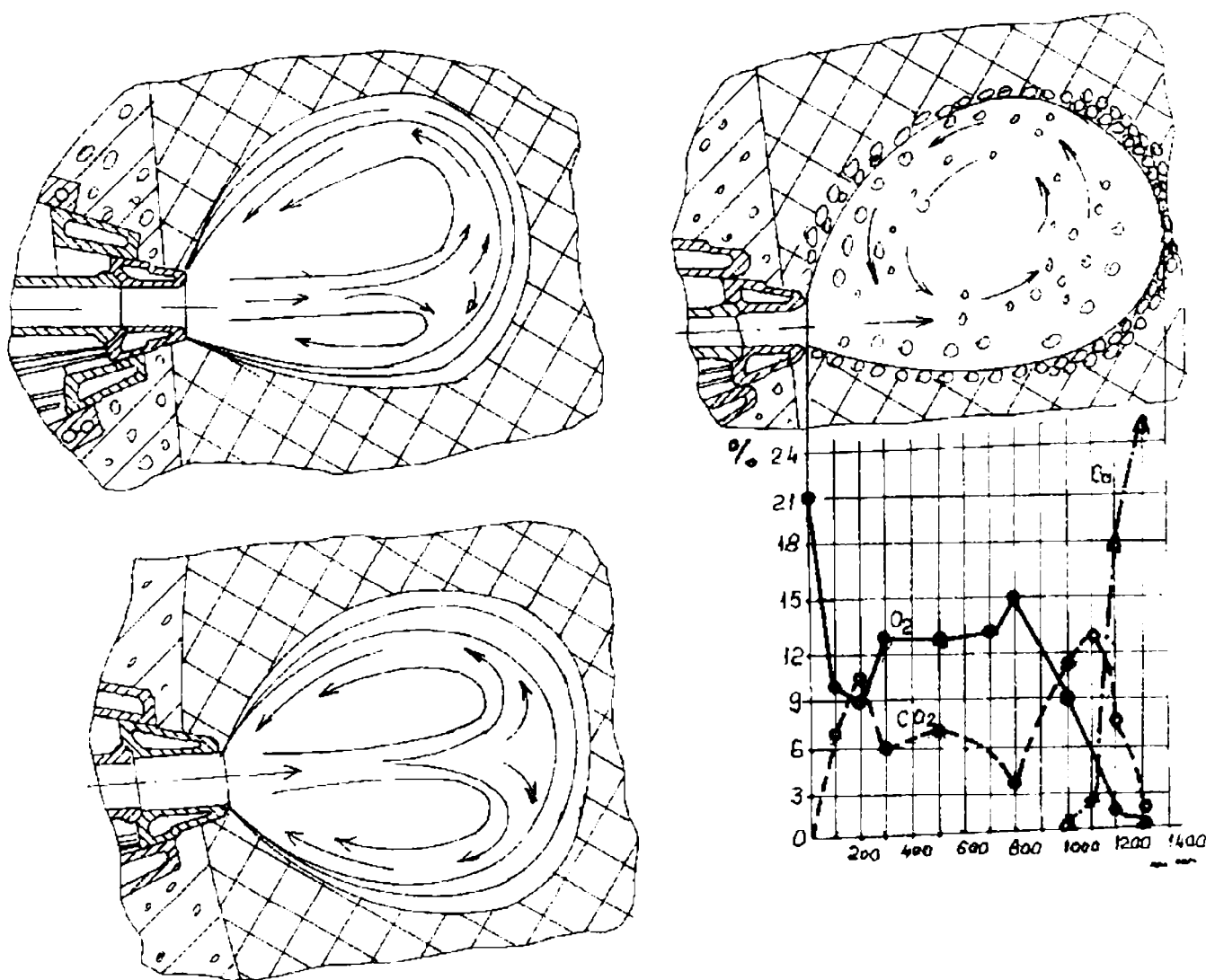
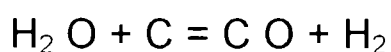
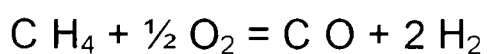
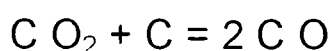
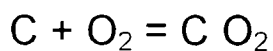


Figura 3 – Schema circulației cocsului în zona de ardere

În planul gurilor de vânt , zona în care are loc arderea și gazeificarea reprezintă un inel format din interacțiunea spațiilor de ardere din fata fiecărei guri de vânt ; către această zonă, în care combustibilul solid este gazeificat se deplasează bucățile de combustibil de la nivelele superioare, Continuitatea gazeificării combustibililor imprimă caracterul continuu al tuturor proceselor din furnal ;totodată are ca efect deplasarea în jos a întregii încărcături cu viteze diferite , după cum materialele din zonele superioare sunt mai aproape sau mai departe de verticala corespunzătoare zonei de ardere .

Prin gazeificarea combustibilului se obține întreaga cantitate de gaze reducătoare ,oxid de carbon și hidrogen necesare procesului de reducere ; o bună parte din cantitatea de căldură consumată în furnal ( circa 60% ) se dezvoltă în zona de ardere-gazeificare, tot aici se obțin temperaturile cele mai ridicate din furnal ( 1800 – 2000°C ) necesare pentru obținerea temperaturii de evacuare a fontei și zgurei .

Prin reacția carbonului cu oxigenul se formează oxizii C O și C O<sub>2</sub> urmată de reacția dintre C O<sub>2</sub> și C ( cocs ) astfel încât, la limitele zonei de ardere nu se mai află gaze oxidante ci numai un amestec de gaze reducătoare ( C O + H<sub>2</sub> ) și azot :



În figura 4 se arată, pe bază de măsurători , variația compoziției gazului în zona de ardere-gazeificare în funcție de viteza aerului insuflat.Temperaturile maxime în interiorul zonei de ardere corespund conținutului maxim de C O<sub>2</sub> și din figură rezultă că există două asemenea maximumuri ( peste 2000° C ) unul situat în apropierea gurii de vânt și celălalt în partea opusă gurii de vânt .



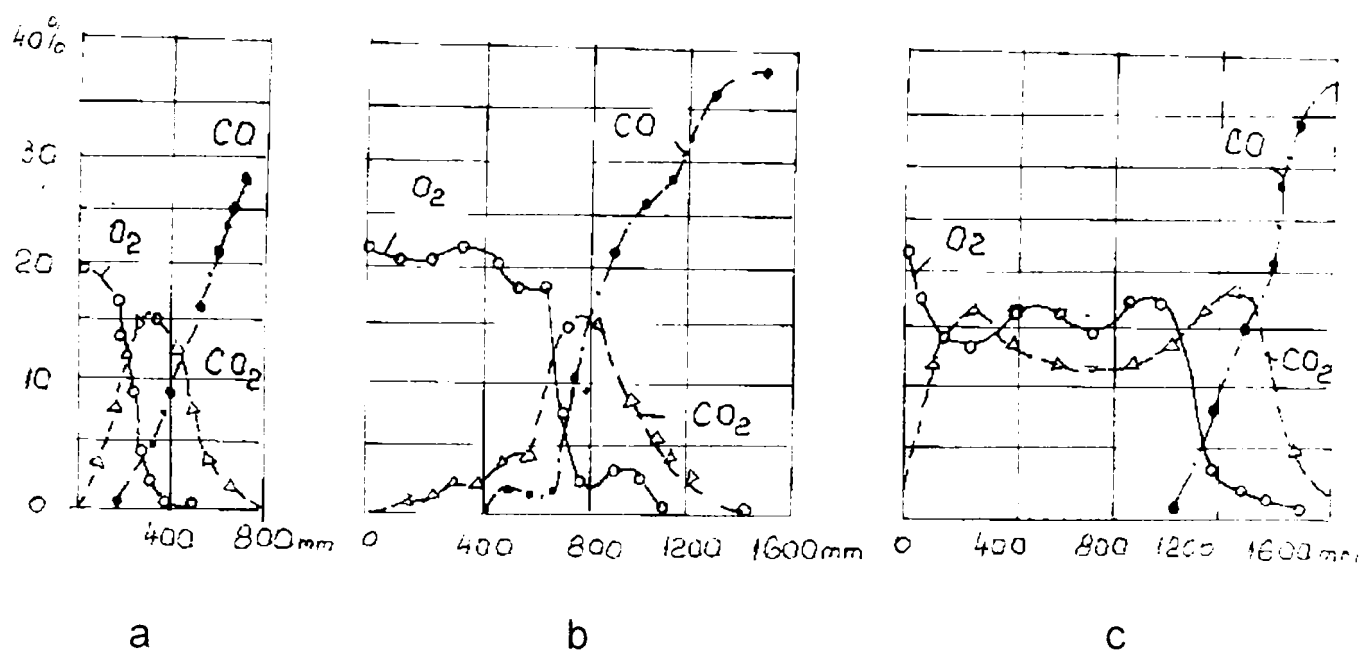


figura 4 – Variația compoziției gazului în fața gurii de vânt cu creșterea energiei cinetice a aerului insuflat

- a – viteze mici ale aerului insuflat – ardere în strat fix
- b – viteze mijlocii
- c – viteze mari

Mărimea zonei de ardere depinde de cantitatea de aer insuflată prin gurile de vânt, de factorii de care depinde viteza reacției carbonului cu oxigenul și cu bioxidul de carbon precum și de viteza de ieșire a aerului din orificiul gurii de vânt .

Creșterea debitului de aer insuflat prin gurile de vânt cu menținerea constantă a vitezei duce la o creștere a volumului zonei de ardere însoțită de o extindere în plan orizontal . Dacă odată cu debitul crește și viteza aerului extinderea pe orizontală este mai accentuată .

Viteza cu care aerul intră în creuzet cuprinsă între 150 și 200m/s influențează lungimea zonei de ardere în planul gurilor de vânt. La depășirea unei anumite limite a debitului și vitezei aerului la gura de vânt se costată

creșterea frecvenței arderii gurilor de vânt datorită acumulării fontei în partea inferioară a acesteia . Acumularea fontei este provocată de accentuarea , cu creșterea debitului de aer a unei circulații de gaze sub nivelul planului gurilor de vânt .

În condițiile în care se desfășoară arderea combustibililor în creuzetul furnalului ( temperaturi de 1800 – 2000°C și carbon în exces ) gazele oxidante  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  vor fi integral consumate obținându-se la limita zonei de ardere  $CO$ ,  $H_2$  și  $N_2$ .

În figura 5 sunt date cantitățile de aer suflat și de gaze rezultate ( în  $Nm^3/kg C$  ) precum și conținuturile de  $CO$  și  $H_2$ , pentru condițiile uzuale de desfășurare a procesului de ardere – gazeificare din creuzetul furnalului: ( conținut de oxigen în aerul suflat între 21 și 30%; valori ale raportului  $CH_4 / C$  între 0 și 0,5  $Nm^3/kg C$  ).

Se observă că, în cazul insuflării în creuzet a aerului atmosferic cu 21%  $O_2$  și 1% vapori de apă, pentru arderea la  $CO$  a 1kg C, este necesar 4,404  $Nm^3$  aer obținându-se 5,338  $Nm^3$  gaze reducătoare cu compoziția 35%  $CO$ ; 0,8%  $H_2$  și 64,2%  $N_2$ .

Dacă aerul este îmbogățit în oxigen, cantitățile de aer necesar arderii vor fi mai mici ( 3,66  $Nm^3$  aer/kg C cu 25%  $O_2$ , respectiv 3,07  $Nm^3$  aer/kg C cu 30%  $O_2$  ) iar debitul de gaz reducător va fi mai scăzut ( 4,61  $Nm^3$  gaz/kg C pentru aer cu 25%  $O_2$ , respectiv 4,01  $Nm^3$  gaz/kg C pentru aer cu 30%  $O_2$  ) având un conținut mai ridicat de  $CO + H_2$  ( 40,5%  $CO$  pentru aer cu 25%  $O_2$ , respectiv 46,5%  $CO$  pentru aer cu 30%  $O_2$  ) și un conținut mai scăzut de  $N_2$ . De asemenea, crește și temperatura teoretică de ardere (de la 1950°C pentru 21%  $O_2$  la 2130°C pentru 25%  $O_2$ , respectiv 2300°C pentru 30%  $O_2$  ).

Creșterea temperaturii în zona de ardere și micșorarea cantității de gaze în cazul îmbogățirii aerului suflat în oxigen, au ca efect micșorarea zonei de ardere și deplasarea în jos a zonei de ardere și a zonei de formare a zgurilor primare, datorită modificării condițiilor de schimb de căldură.

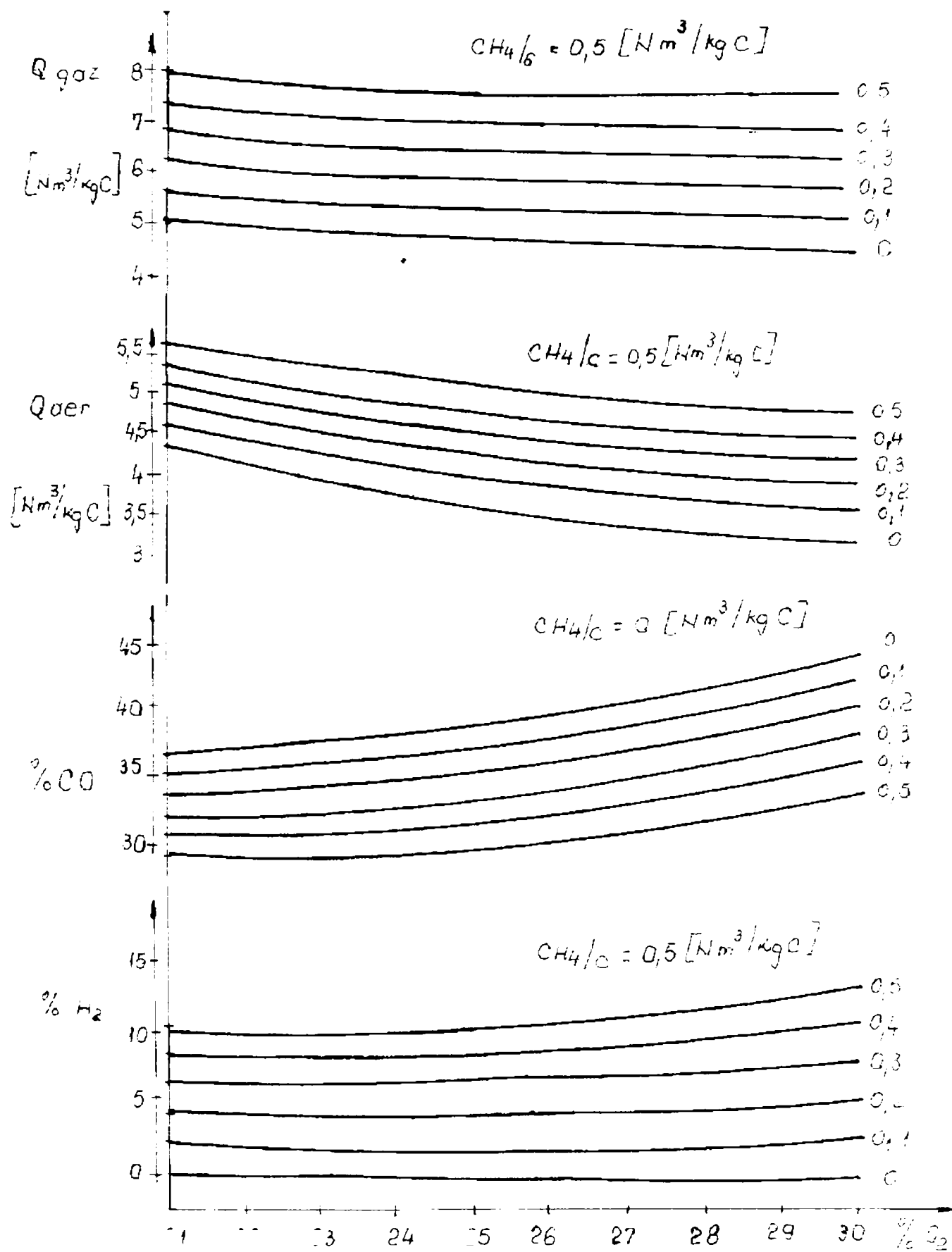


Figura 5 – Cantitatea și compoziția gazelor reducătoare care rezultă din diferite condiții de exploatare

Efectele pot fi: extinderea zonei reducerilor indirecte și creșterea intensității de funcționare a furnalului întrucât cu creșterea conținutului de oxigen în aerul suflat are loc o scădere a temperaturii gazelor la gura furnalului, dar și solicitări termice suplimentare pentru gura de vânt datorită creșterii temperaturii.

Temperatura medie în zona de ardere depinde în principal de cantitatea de gaze, de temperatura aerului suflat și de cantitățile de oxigen și de vapori de apă ale acestuia. Adăosurile de vapori de apă în aerul insuflat au ca efect o răcire a zonei de ardere. Adăosurile de combustibili auxiliari, care prin arderea în condițiile din creuzet furnizează mai puțină căldură decât cea obținută prin arderea cocsului în timp ce cantitatea de gaze este mai mare, au de asemenea un efect de răcire.

Temperatura teoretică de ardere trebuie însă să fie menținută la un nivel constant impus de necesitatea asigurării unei temperaturi medii în creuzet, astfel încât să se asigure reducerea integrală a oxizilor de fier, compoziția necesară a fontei și zguri precum și evacuarea unei zguri calde și fluide, care să nu se lipească de pereții frontali ai gurii de vânt favorizând arderea acesteia.

Pentru furnalele de  $1000\text{m}^3$ , funcționând cu aer îmbogățit în  $\text{O}_2$ , cu umiditate controlată și adaos de combustibili auxiliari, s-a elaborat pentru calculul temperaturii teoretice de ardere relația :

$$T_{ta} = 469,5 + 36,34\% \text{ O}_2 - 39,37\% \text{ C H}_4 - 7,44 * G1 + 0,714 T_a \text{ unde :}$$

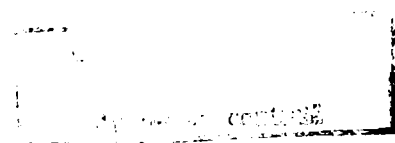
$T_{ta}$  = temperatura teoretică de ardere.

$\% \text{ O}_2$  ;  $\% \text{ C H}_4$  = conținutul de oxigen și gaz metan în [ % ]

$G1$  = conținutul de apă în aer [  $\text{gr}/\text{Nm}^3$  aer ]

$T$  = temperatura aerului suflat [  $^{\circ}\text{C}$  ]

Este mai rațională și economică utilizarea în furnal a oxigenului împreună cu combustibili auxiliari deoarece folosirea acestora și a oxigenului duce la creșterea proporției reducerilor indirecte, datorită în special



hidrogenulu, deci la o micșorare a consumului total de combustibil și a solicitării termice a gurii de vânt .La folosirea gazului metan drept combustibil auxiliar se recurge la creșterea temperaturii aerului insuflat cu 70 – 75% pentru fiecare 1% C H<sub>4</sub> în aerul suflat sau se trece la insuflarea combinată de gaz metan și aer îmbogățit în oxigen în care caz creșterea temperaturii aerului este mai mică .

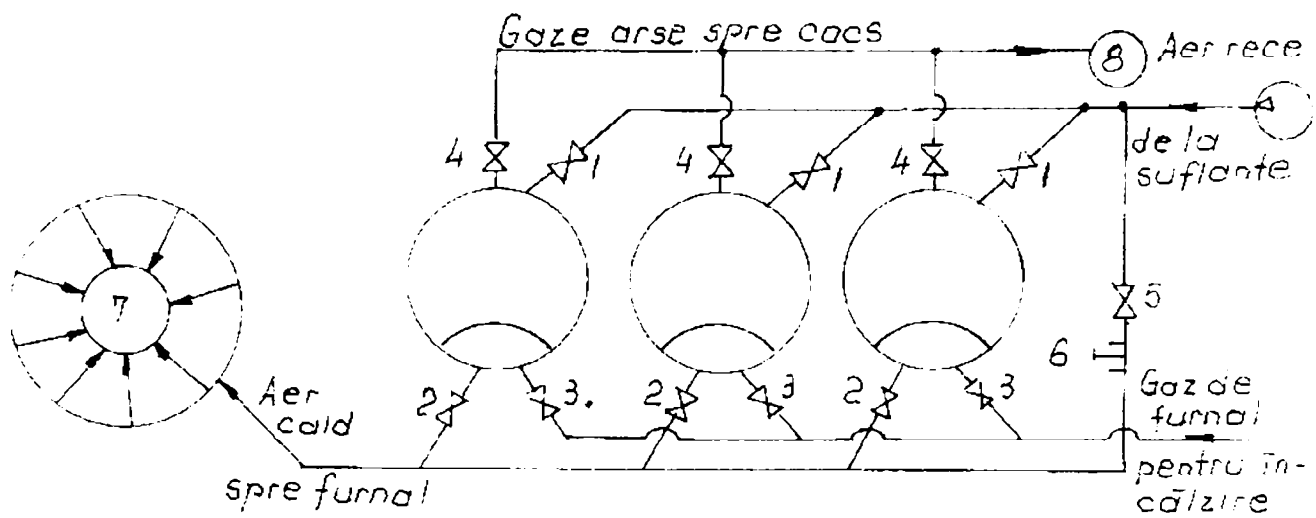
Tot în scopul intensificării reducerilor indirecte cu ajutorul hidrogenului se folosește metoda creșterii conținutului de vapori de apă în aerul insuflat (față de 8 – 9 g/Nm<sup>3</sup> în aerul atmosferic uscat se folosesc 20 – 30 g/Nm<sup>3</sup> ) cu creșterea corespunzătoare a temperaturii acestuia ( 9° C pentru fiecare gram de H<sub>2</sub> O /Nm<sup>3</sup> aer ) sau cu îmbogățirea aerului în oxigen. Aastă metodă este importantă și prin faptul noul nivel de umiditate se poate menține riguros constant ( față de umiditatea naturală a aerului care are variații mari ) funcționarea cu umiditate controlată asigurând condiții constante de exploatare pentru gura de vânt.

În aceste condiții se obține pentru o temperatură teoretică de ardere de 1850°C, menținută constantă, o temperatură a aerului suflat de 1100°C la un debit de gaz metan insuflat de 3000Nm<sup>3</sup>/h, un debit de oxigen de 4000Nm<sup>3</sup>/h și un debit de aer cald insuflat de 110000Nm<sup>3</sup>/h.

## **1.2 Considerații asupra gurilor de vânt**

### **1.2.1 Dispozitivul gurilor de vânt**

Cantitatea de aer necesară pentru arderea unei tone de cocs este 2400 – 2700Nm<sup>3</sup>. Consumul de aer pentru producerea unei tone de fontă depinde de consumul specific de cocs. Determinarea cantității de aer suflat se face pe baza bilanșurilor de materiale și termice a procesului de producere a fontei ținând cont și de pierderile de debit și presiune de la mașinile suflante la gurile de vânt.



I , II , III – Preîncălzitoare de aer

1 – șubăr de aer rece

5 – supapă de amestec

2 – șubăr de aer cald

6 – supapă de siguranță

3 – artător de gaze

7 – furnal

4 – șubăr de gaze arse

8 – coș

figura 6 – Schema instalației de insuflare și pregătire a aerului

Pierderile de aer sînt de ordinul 5 – 8% în cazul furnalelor noi și ajung la 10 – 15% la o uzură avansată a instalațiilor. Pierderile de presiune pe conducte și în instalațiile de preîncălzire ( Cowpere ) ajung la 0,2 – 0,5 daN/cm<sup>2</sup> sau în cazuri speciale la 0,35 – 0,4 daN/cm<sup>2</sup>.

În aceste condiții se ajunge la o presiune a aerului insuflat, la nivelulul grilor de vînt, de 1,8 – 2,2 daN/cm<sup>2</sup> și un debit de aer suflat în furnal de 1950 – 2200 Nm<sup>3</sup>/min.

În figura 6 s-a prezentat schema instalației de insuflare și pregătire a aerului. Se observă că aerul rece de la suflante avînd o temperatură de 50 – 100°C este încălzit în Cowpere pînă la o temperatură de 1100 – 1200°C după care este insuflat în furnal.

Pentru creșterea durabilității gurii de vânt prin asigurarea de condiții constante de funcționare este important ca instalațiile de pregătire a aerului să urmărească nu uscarea, ci condiționarea aerului, adică menținerea umidității la nivel constant prin uscare în perioadele cu umiditate atmosferică ridicată și umezire în caz contrar. Umezirea aerului până la un nivel de umiditate constant este favorabilă, în primul rând datorită înlăturării variațiilor de umiditate, dacă se compensează pierderile de căldură la descompunerea aerului în creuzetul furnalului de către carbonul cocsului prin ridicarea temperaturii aerului.

Aducerea aerului preîncălzit la gurile de vânt se face prin intermediul conductei inelare așezată în jurul furnalului la o înălțime de 2,5 – 3 m deasupra gurilor de vânt fiind suspendată printr-un dispozitiv special de stâlpii furnalului.

Determinarea numărului gurilor de vânt se face ținând seama de mărimea furnalului și de încărcătura cu care va lucra. La furnalele care lucrează cu încărcătură mărunță se impune un număr mai mare de gurii de vânt, distanța dintre ele fiind de 1,3 – 1,6 m. La furnalele care lucrează cu o încărcătură bine plătită se poate admite o dispoziție mai rară a gurilor de vânt, distanța dintre ele fiind de 1,7 – 2 m.

Gura de vânt pătrunde în creuzetul furnalului cu 200 – 300 mm producând o îndepărtare a focarului arderii de la perete și pătrunderea lui mai adânc în interiorul creuzetului.

La diametre mari de creuzet se recomandă viteze de insuflare de 150 – 200m/s iar la diametre mai mici viteze de 70 – 100m/s. Fixându-se viteza de insuflare a aerului în furnal și cunoscând debitul de aer se poate calcula secțiunea totală a gurilor de vânt, iar după numărul gurilor de vânt se poate calcula și diametrul gurilor ce trebuie să fie cuprins între 150 și 200mm. Diametrul optim se determină experimental după o perioadă mai lungă de funcționare în funcție de mărimea optimă a energiei cinetice a aerului.

Primele furnale foloseau aer neîncălzit introdus în creuzet prin guri ce aveau forma unor racorduri scurte din fontă sau oțel cu secțiune dreptunghiulară, Ulterior ele au fost înlocuite prin guri răcite, mai rezistente, de forma unei cutii cu o serpentină de țevă turnată la interior. Mai rezistente s-au dovedit gurile de vânt din cupru, care nu crăpau, cum adesea se întâmplă cu cele din fontă.

Pentru a ușura schimbarea gurilor de vânt și pentru a micșora consumul de piese de rezervă gura de vânt a început să fie făcută din mai multe tronsoane, iar ajutorul a fost unit cu racordul de vânt prin articulații sferice.

Dispozitivul gurii de vânt folosit în prezent a început să capete răspândire în jurul anului 1890. El constă dintr-o gură de vânt din cupru goală pe interior și răcită cu apă, o ramă de răcire din cupru turnat deasemenea răcită cu apă, o manta din fintă în care se află o serpentină de răcire, un tub de racord , un cot mobil cu vizor și un cot fix cu articulație.

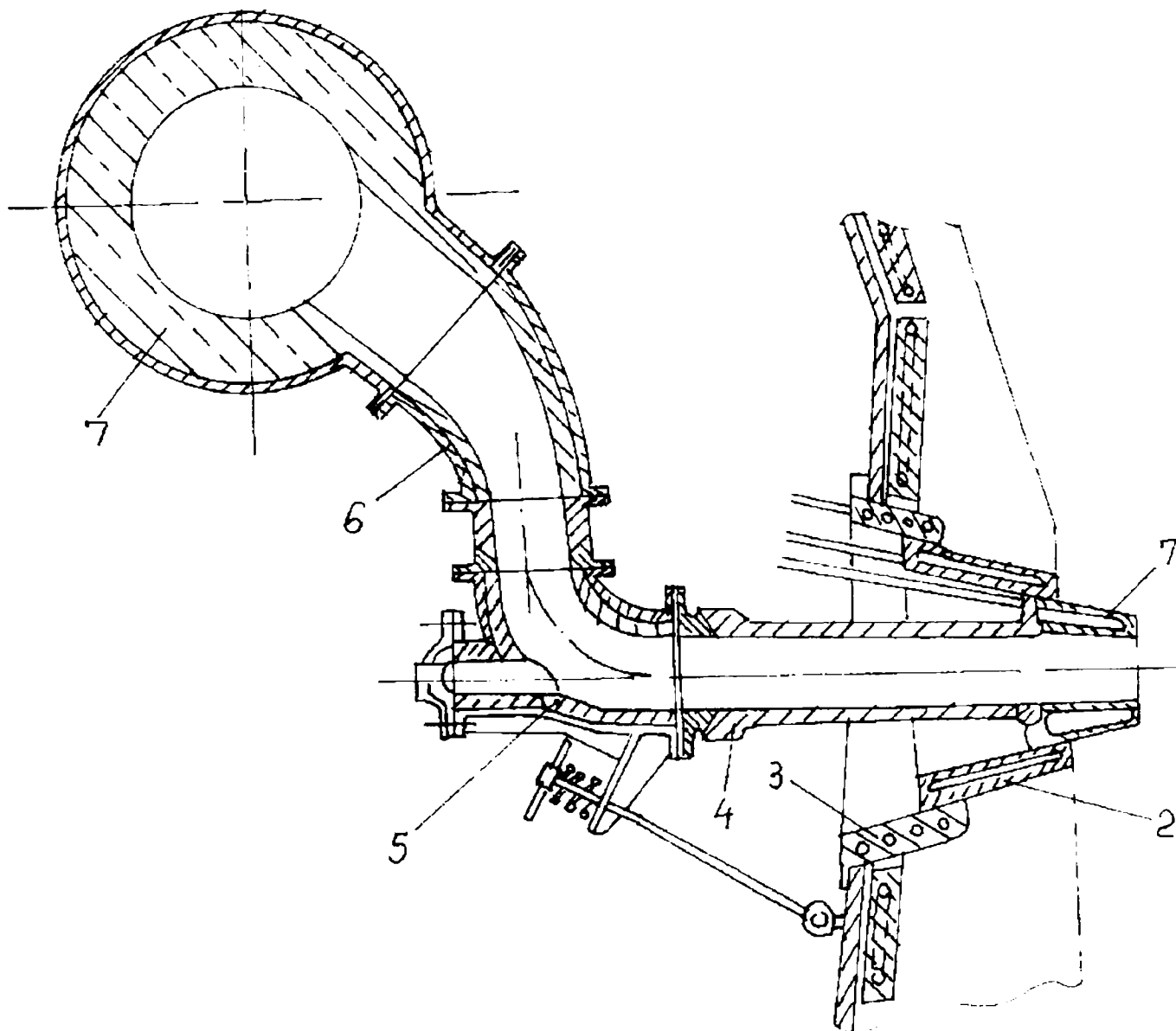
Gura de vânt, răcitorul gurii de vânt, și rama de răcire sunt de formă conică pentru a ușura înlocuirea în caz de avarie. Gura de vânt intră în interiorul creuzetului cu 200 – 300 mm și este așezată în răcitorul de cupru care o cuprinde, iar răcitorul de cupru este așezat la rândul lui în rama de răcire.

La gura de vânt, apa este adusă și îndepărtată cu o țevă care se racordează la fața dinapoi. Țeava de aducere conduce apa la partea dinainte a gurii de vânt . La fel este răcit și răcitorul din cupru al gurii de vânt.

Rama de răcire are flanșe și se fixează pe blindaj cu ajutorul unor buloane cu pană.

Gura de vânt cu tubul de racord și acesta din urmă cu cotul fix sunt îmbinate pe suprafețe sferice șlefuite, datorită cărui fapt, se obține etanșeitatea acestor îmbinări în cazul deplasărilor posibile ale conductei de aer cald.





- 1 – Gură de vânt
- 2 – Răcitorul de cupru al gurii de vânt
- 3 – Ramă de răcire
- 4 – Tubul de vânt
- 5 – Cotul mobil cu vizor
- 6 – Cotul fix
- 7 – Conducta inelară

Figura 7 – Dispozitivul gurii de vânt

Gura de vânt, răcitorul din cupru și rama de răcire sunt așezate în deschiderile din peretele gurii de vânt. Intervalul dintre rama de răcire și elementele de răcire ale zidăriei se astupă cu chit de fontă iar intervalele dintre dispozitivul gurii de vânt și blocurile carbonice ale creuzetului se astupă cu masă refractară.

Cotul mobil este articulată cu cel fix cu ajutorul unei perechi de verigi îmbinate cu pene, care asigură etajitatea îmbinării suprafețelor articulate în poziția de lucru și posibilitatea rôtirii cotului mobil față de cel fix la slăbirea penelor, în care caz cotul continuă să rămână suspendat de verigi.

Tubul de racord și gura de vânt, respectiv cotul mobil și tubul de racord, se strâng împreună cu ajutorul unui șurub articulată de fixare cu arc care asigură o forță de strângere constantă

Pentru a micșora pierderile de căldură, mai ales în cazul aerului cu temperatură mare, cotul mobil și cotul fix sunt căptușite cu beton refractar iar tubul de racord se realizează cu pereți dubli. Tubul din interior se confecționează din oțel refractar, iar cel din exterior din oțel carbon de calitate, stratul de aer dintre acestea având rolul de izolator.

### **1.2.2 Influența evoluției parametrilor de insuflare a aerului asupra condițiilor de exploatare a gurii de vânt**

Debitul de aer suflat prin gurile de vânt depinde de condițiile tehnologice de funcționare a furnalului care determină consumul specific de cocs ( t/t de fontă ) și de aer ( Nm<sup>3</sup>/t de fontă ), de calitatea cocsului și de intensitatea de funcționare a furnalului.

În tabelul alăturat se prezintă debitul de aer insuflat la furnale de diferite mărimi în condiții diferite de funcționare.

Tabelul 1

Volum furnal [ m <sup>3</sup> ]	Consum de aer [ Nm <sup>3</sup> /min ]		
	Aer atmosferic	Aer atmosferic cu adaos de metan	Aer cu 30% oxigen cu adaos de metan
2700	4000 – 4500	3600 – 4000	3000 – 3400
2000	3200 – 3550	2900 – 3200	2400 – 2700
1700	2900 – 3200	2600 – 2900	2200 – 2450
1400	2500 – 2800	2300 – 2550	1900 – 2100
1000	1950 – 2200	1750 – 1950	1050 – 1650

Determinarea cantității de aer suflat se face pe baza bilanțurilor de materiale și termice ale procesului de producere a fontei. Debitele de aer scad odată cu utilizarea sub formă de adaosuri a gazelor naturale și a oxigenului.

Presiunea necesară a aerului  $P_a$ , furnizat de suflantă rezultă din însumarea pierderilor de presiune din furnal  $\Delta p_i$  și din rețeaua conductelor de aer  $\Delta p_r$ , cu presiunea dorită la gura furnalului  $P_g$ , conform relației :

$$P_a = \Delta p_r + \Delta p_i + P_g$$

Pierderea de presiune  $\Delta p_r$ , din conductele de aer rece și cald și preîncălzitoarele de aer cald este de ordinul a 0,3 – 0,4 at.

În tabelul de mai jos se prezintă valorile pentru presiunile uzuale la gura furnalului și pierderile de presiune din furnal.

Tabelul 2

Volum [ m <sup>3</sup> ]	Presiunea la gura furnalului [ at ]	Pierderile de presiune din furnal [ at ]
2700	1,2 - 2,5	1,2 - 1,5
1700	0,8 - 1,3	1,1 - 1,3
1400	0,8 - 1,1	0,9 - 1,15
1000	1,0 - 1,1	0,8 - 1,1

Preîncălzirea aerului se realizează în preîncălzitoare ceramice de tip regenerativ ( cowpere ) de tip obișnuit sau cu puț de ardere separat. Deoarece preîncălzitoarele funcționează alternativ ( pe aer, pe gaz ) un furnal are 3 – 4 preîncălzitoare. Suprafața totală de schimb de căldură este de 60 – 80 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> volum de furnal. La un astfel de preîncălzitor, produsele de ardere avînd temperatura de 1150 – 1200°C trec prin grilaj încălzindu-l. apoi sunt eliminate prin coșul de fum la 150 – 200°C. După ce grilajul a fost încălzit suficient arderea gazului se întrerupe iar prin grilaj se suflă aer. Se asigură astfel temperaturi ale aerului suflat în creuzetul furnalului de ordinul a 1000–1200°C

Din ansamblul rețelei de alimentare a furnalului cu aer cald partea cea mai solicitată este gura de vînt. Astfel, evoluția parametrilor de funcționare a furnalelor în ultimii 20 de ani a fost marcată printr-o mărire a presiunii de suflare ,o creștere a presiunii și a vitezei de ejecție a aerului și prin dezvoltarea injecțiilor de combustibili auxiliari însoțite de îmbogățirea aerului în oxigen și controlul umidității aerului. - 36 -

Echipamentele gurilor de vânt ale furnalelor vechi au fost preluate de furnalele moderne dar, pe măsura creșterii intensității de funcționare a furnalelor a apărut o accelerare a distrugerii gurilor de vânt. În condițiile de funcționare ale furnalelor vechi durata de serviciu a gurilor de vânt atinge ușor un an, ele fiind distruse prin eroziunea părții frontale de către materialele antrenate de curenții de gaze .

În prezent, durata de funcționare a gurilor de vânt de construcție clasică nu este mai mare de 30 – 100 de zile.

Datorită faptului că numărul de guri de vânt ale unui furnal crește odată cu volumul acestuia, chiar la o durată de funcționare constantă a gurilor de vânt, pierderea de producție la fiecare oprire crește.

### **1.2.3 Investigarea deteriorării gurilor de vânt**

#### **1.2.3 Considerații privind mecanismul deteriorării gurilor de vânt**

După aspectul lor exterior deteriorările gurilor de vânt pot fi grupate astfel :

Crăpături sau fisuri

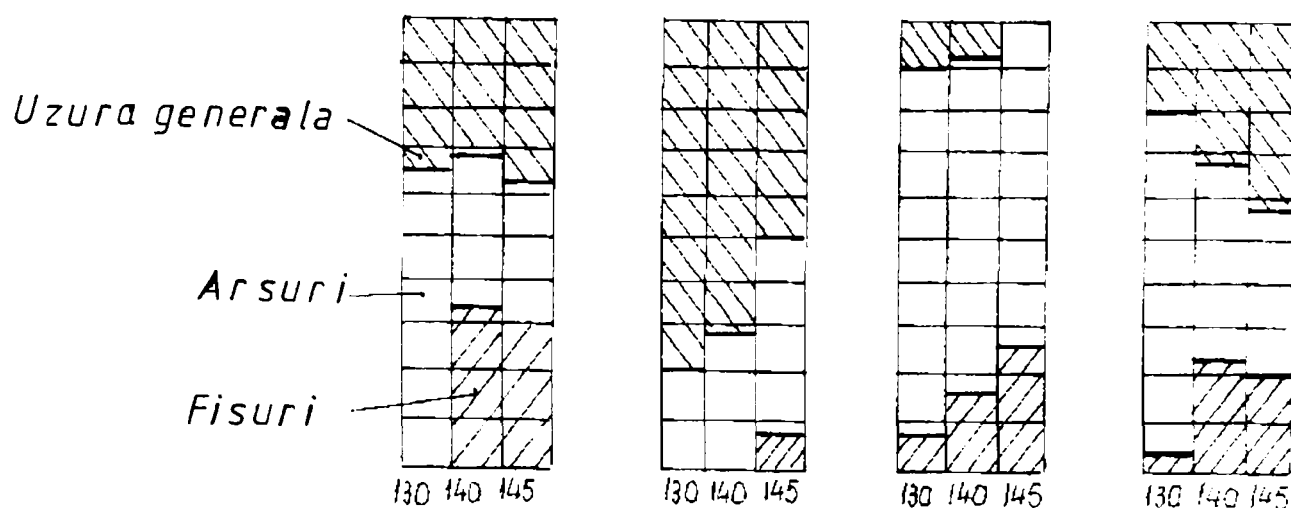
Uzură generală

Arsuri ( topiri locale )

În figura 8 se prezintă tipurile de degradări și frecvența lor exprimată în procente din numărul total de guri de vânt înlocuite pe o perioadă de 2 ani.

Crăpăturile sau fisurile, mai mult sau mai puțin importante se găsesc în suduri, lipituri sau în partea frontală a gurii de vânt. Fisurarea este datorată în primul rând defectelor de construcție, de material sau de execuție. Totuși, golurile datorită contracției, fisurile din turnare și diferențele prea mari de execuție ale pereților, generatoare de tensiuni interne, pot fi la originea acestui defect în cazul unor solicitări termice sau mecanice mari.

	Fornal 5	Fornal 9	Fornal 9	Ansamblu furnale
Capacitate	750 m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup>	
Diametrul creuzetului	6,5 m	7,5 m	7,5 m	
Număr guri de vânt	17	20	20	
Tipul de fontă	Thomas	Thomas	Afinare	
Temperatura aerului	1260°C	970°C	1050°C	
Debitul aerului	65000m <sup>3</sup> /h	110000m <sup>3</sup> /h	110000m <sup>3</sup> /h	



Diametrul interior al gurilor de vânt [ mm ]

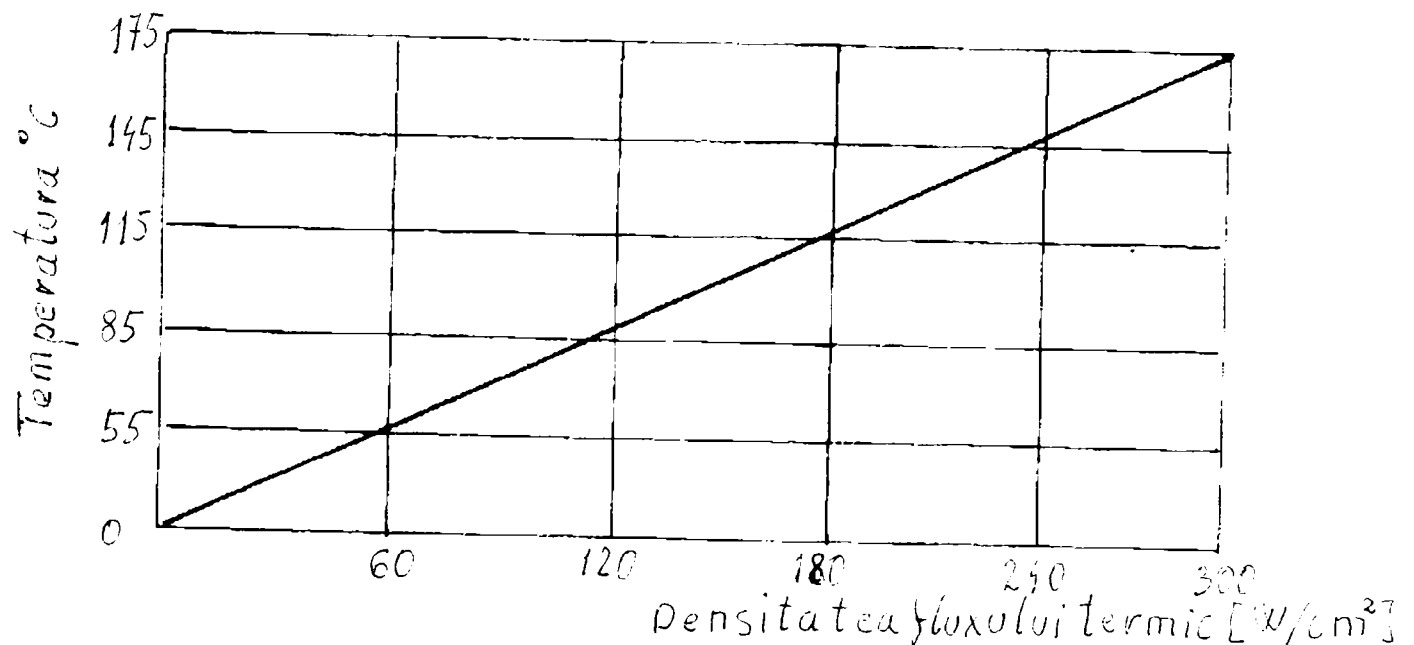
Figura 8 – Tipurile de degradări și frecvența lor.

Uzura se întâlnește la partea frontală a gurii de vânt, este aproape uniformă, și se datorește abraziunii materzalelor solide ce spală gura de vânt. Pentru furnalele funcționând cu aer îmbogățit în oxigen, pe partea aerului, se constată o reducere a grosimii peretelui gurii de vânt, probabil datorată oxidării lente a cuprului de către oxigenul aflat în concentrație mare în aerul cald suflat.

Arsurile ( topirile locale ) se prezintă în general sub forma unor topiri locale , strict limitate și localizate în partea frontală și partea inferioară a gurii de vânt.

Partea frontală a unei guri de vânt , aflată în interiorul furnalului, este supusă unui flux termic de densitate mare.

B: I: Ginsburg și K. I. Kotov au determinat prin calcul relația dintre această densitate și temperatura care se stabilește pe peretele de 7 mm grosime al unei guri de vânt.



Aceasta este prezentată în figura 9.

Densitatea fluxului termic [ W/cm<sup>2</sup> ]

Figura 9 – Variația densității fluxului termic cu temperatura.

Măsurători au determinat temperaturi de ordinul a 92 – 178° C La asemenea temperaturi ale peretelui, este posibilă formarea unor cruste, împiedicând o răcire eficientă a peretelui din cupru, mai ales dacă apa de răcire este dură și viteza de circulație a apei mică. Astfel s-au găsit depozite de impurități aderând foarte puternic la peretele din cupru. În colțuri, sub defectele de turnare, grosimea acestor straturi poate atinge 6 – 10 mm

Aceste depuneri sunt formate în principal din fosfat și sulfat de calciu, cu o pondere mare de oxid de cupru și puțin fier, carbonați și cloruri.

În tabelul 3 se prezintă compoziția chimică a pietrei depuse în partea frontală a gurii de vânt.

Tabelul 3

Fe O	Ca O	Mg O	Si O <sub>2</sub>	Cu <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S O <sub>2</sub>	Oxizi alcalini Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaCO <sub>2</sub>
3,5	25,5	4,5	7,5	19,0	12,0	16,0	12,0

Punctul de plecare la distrugerea gurilor de vânt, adică topirea cuprului, corespunde amplasamentului preferat al depunerilor. Aceasta corespunde colțurilor, unde circulația apei este mai proastă, schimbul de căldură defectuos și unde condițiile pentru depunerea pietrei sunt cele mai favorabile.

O altă cauză a distrugerii gurilor de vânt este formarea garnisajelor pe sau sub gurile de vânt.

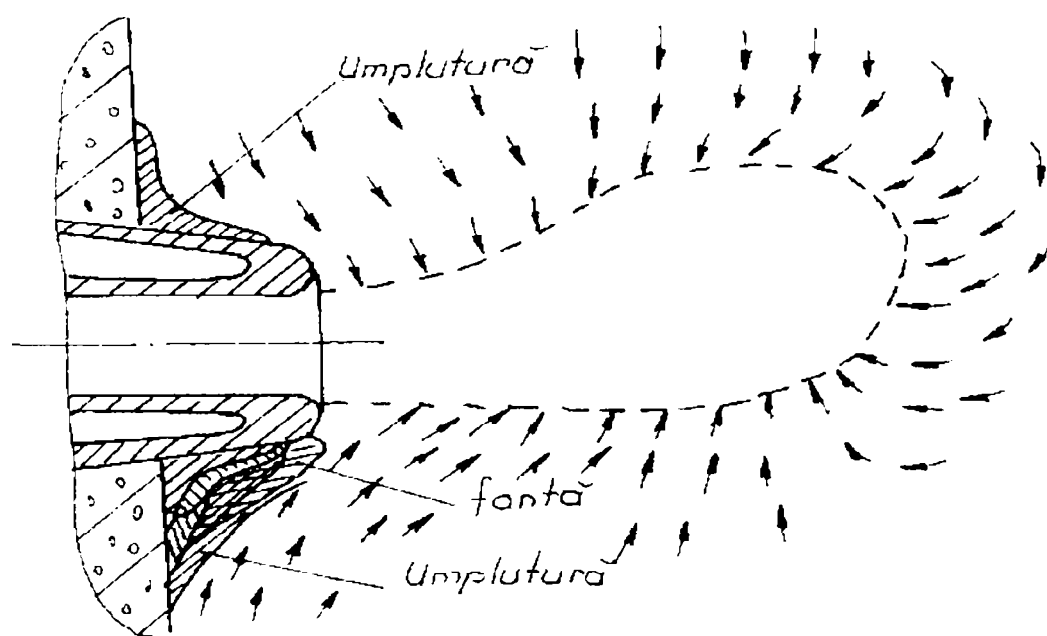


Figura 10 – Schema formării garnisajelor în jurul gurilor de vânt.



Atacul asupra gurilor de vânt se produce prin alierea cuprului ca urmare a picurării repetate de fontă combinată sau nu cu zgură. Prima picătură de fontă căzând pe suprafața gurii de vânt, se solidifică și formează o crustă, dar aceasta poate să se retopească sub efectul unor picături ulterioare. În același timp, eficacitatea răcirii scade ca urmare a conductivității mici a crustei bogate în fier, în comparație cu a cuprului (cementita are o conductivitate termică de  $7,2 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ , față de  $320 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ ). La început, în cuprul metalic, difuzează foarte puțin din metalul lichid de la suprafață; picurarea continuând, mica picătură de metal este menținută în mișcare și reacție și difuzia progresează; creșterea concentrației de impurități din cupru determină scăderea concentrației acestuia și procesul se amplifică. În continuare, zgura lichidă poate dizolva pelicula de oxid de cupru de la suprafața gurii de vânt.

Formarea acestor cruste poate avea mai multe cauze. O accentuare a mișcării periferice în furnal duce la o recrudescență a arderii gurilor de vânt deoarece minereul și calcarul ajung în zona de lucru insuficient pregătite; zgura este insuficient de supraîncalzită, ceea ce provoacă formarea de cruste în zona gurilor de vânt,

Zgurile foarte bazice, cu intervale mici de solidificare, au de asemenea tendința să formeze cruste sub gurile de vânt, tensiunea superficială ridicată a zgurilor bazice făcând printre altele mai dificilă topirea acestor cruste.

Formarea crustelor în creuzet în cazul repartiției neuniforme a gazului natural la gurile de vânt poate fi explicată printr-o răcire a creuzetului în apropierea gurilor prin care debitul de gaze injectat este prea mare.

Efectul distructiv al fontei care se adună pe asemenea cruste este mai pronunțat când, în anumite condiții, se pot forma deasupra unor mici punți de fontă, curenți de gaze autogenici, datorită cărora fonta proaspătă vine în mod constant să spele pereții din cupru ai gurilor de vânt. Dacă anumite guri de vânt nu durează decât câteva zile aceasta se datorează în general faptului că, crustele care au dus la distrugerea gurilor de vânt anterioare nu au fost

înlăturate înaintea amplasării celor noi; fonta lichidă poate atunci să se adune din nou pe aceste cruste și să distrugă gura de vânt care tocmai a fost înlocuită.

### 1.2.3.2 Considerații privind solicitarea termică a gurilor de vânt.

Trebuie să se facă distincție între cantitatea globală de căldură evacuată cu apa de răcire și densitatea fluxului termic local de transferat. fluxul termic  $q$  fiind cantitatea de căldură transmisă prin unitatea de suprafață în unitatea de timp.

Dacă se consideră creșterea globală de temperatură a apei de răcire pe traseul intrare ieșire din gura de vânt, evaluarea fluxului termic transferat apei de răcire se face fără dificultăți. Această indicație însă nu reflectă valorile locale ale fluxului termic maxim.

Fluxul termic transferat nu este uniform pe toată suprafața gurii de vânt: el este maxim pe partea frontală a gurii de vânt. În figura 11 se prezintă imaginea generală a repartiției fluxului termic.

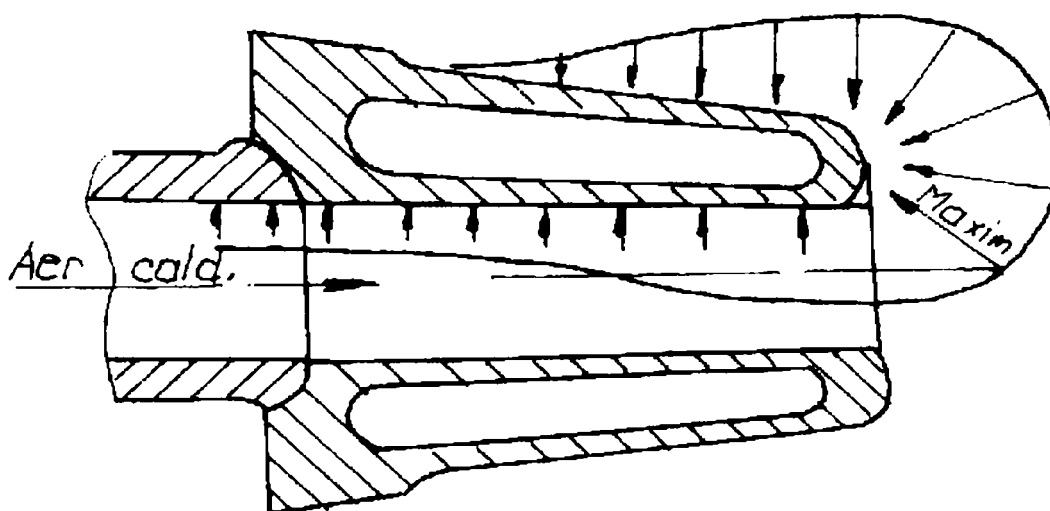


Figura 11 – Schema repartiției fluxului termic la o gură de vânt.

Cunoașterea valorii maxime a fluxului termic de transportat este necesară pentru a pune în evidență mijloacele cele mai potrivite pentru a-l prelua.

Temperatura în fața gurilor de vânt, în cazul utilizării unor cantități apreciabile de combustibili auxiliari și a aerului îmbogățit și încălzit la temperaturi ridicate este de ordinul a 1800 – 2100°C . În aceste condiții, transmiterea de căldură se face prin radiație, convecția devenind practic neglijabilă.

Expresia fluxului termic transmis prin radiație este conform legii Ștefan – Boltzmann :

$$q_R = \varepsilon \sigma_o ( T_a^4 - T_m^4 ) \text{ - Unde:}$$

$$\varepsilon = \text{puterea de emisie aparentă} = 0,85 \text{ ( corpul negru are } \varepsilon = 1 \text{ )}$$

$$\sigma_o = \text{constanta de radiație Ștefan – Boltzmann} = 5,76 \text{ W/ } ^\circ\text{K}^4$$

$T_a$  = temperatura absolută a zonei de ardere, practic egală cu temperatura teoretică de ardere.

$T_m$  = temperatura absolută a peretelui gurii de vânt, poate varia între 92 – 170°C în funcție de tipul de răcire utilizat; este neglijabilă în raport cu  $T_a$ .

Fluxul termic unitar transmis prin radiație este în condițiile anunțate de maximum:

$$q_R = 0,85 * 5,76 * 10^{-8} ( 2373^4 - 373^4 ) = 1551 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

$$q_R = 1550 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Fluxul termic transmis prin convecție este dificil de stabilit, viteza de circulație a gazelor prin fața gurii de vânt fiind necunoscută. Acest flux poate fi estimat la  $120 * 10^3 \text{ W/m}^2$ .

Fluxul termic unitar total poate avea valoarea maximă:

$$q_{\max} = ( 1550 + 120 ) * 10^3 = 1670 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că temperatura zonei de ardere este de un asemenea nivel că fluxul termic maxim transmis este practic numai prin radiație și că el este

independent de condițiile de răcire.

Acest flux depășește ca nivel fluxurile transmise obișnuit în termotehnica industrială.

După cum am mai afirmat, acest flux este impus de intensitatea de funcționare a furnalelor moderne și el este transmis către apa de răcire, prin gurile de vânt care trebuie să facă eficace această răcire.

Expresia transferului de căldură între fluid și peretele gurii de vânt, conform legii lui Newton este de forma:

$$Q = \alpha * \Delta T \quad - \text{unde :}$$

$\alpha$  = coeficientul de transfer global de căldură, dependent de calitatea schimbukui termic.

$$\Delta T = \text{ecartul global de temperatură ( T perete – T fluid )}$$

Dacă  $\alpha$  este mare,  $\Delta T$  rămîne suficient de mic încât conservarea materialului gurii de vânt este asigurată. Dacă  $\alpha$  este mic,  $\Delta T$  crește punând în pericol materialul.

Fluxul termic transmis apei de răcire de la un perete încălzitor urmează curba Nukiyama, care dă variația fluxului termic în funcție de diferența de temperatură între perete și apa de răcire. Variația fluxului termic transmis apei de răcire este o funcție de diferența dintre temperatura peretelui și temperatura de saturație ( sau fierbere ) a apei. În figura 12 este dată această diferență.

În zona 1 ( vezi figura 12 ) schimbul de căldură se face prin convecție naturală și fluxul crește treptat. Zona 2 caracterizează schimbul de căldură cu vaporizare de suprafață numită fierbere nucleară. În această zonă fluxul crește rapid, bulele de vapori formați provoacă o mișcare accelerată a apei la suprafața de contact și, prin urmare, favorizează degajarea lor. Densitatea fluxului termic transmis apei de răcire crește până când cantitatea de vapori

formați acoperă complet suprafața peretelui și apa nu mai vine în contact direct cu aceasta.

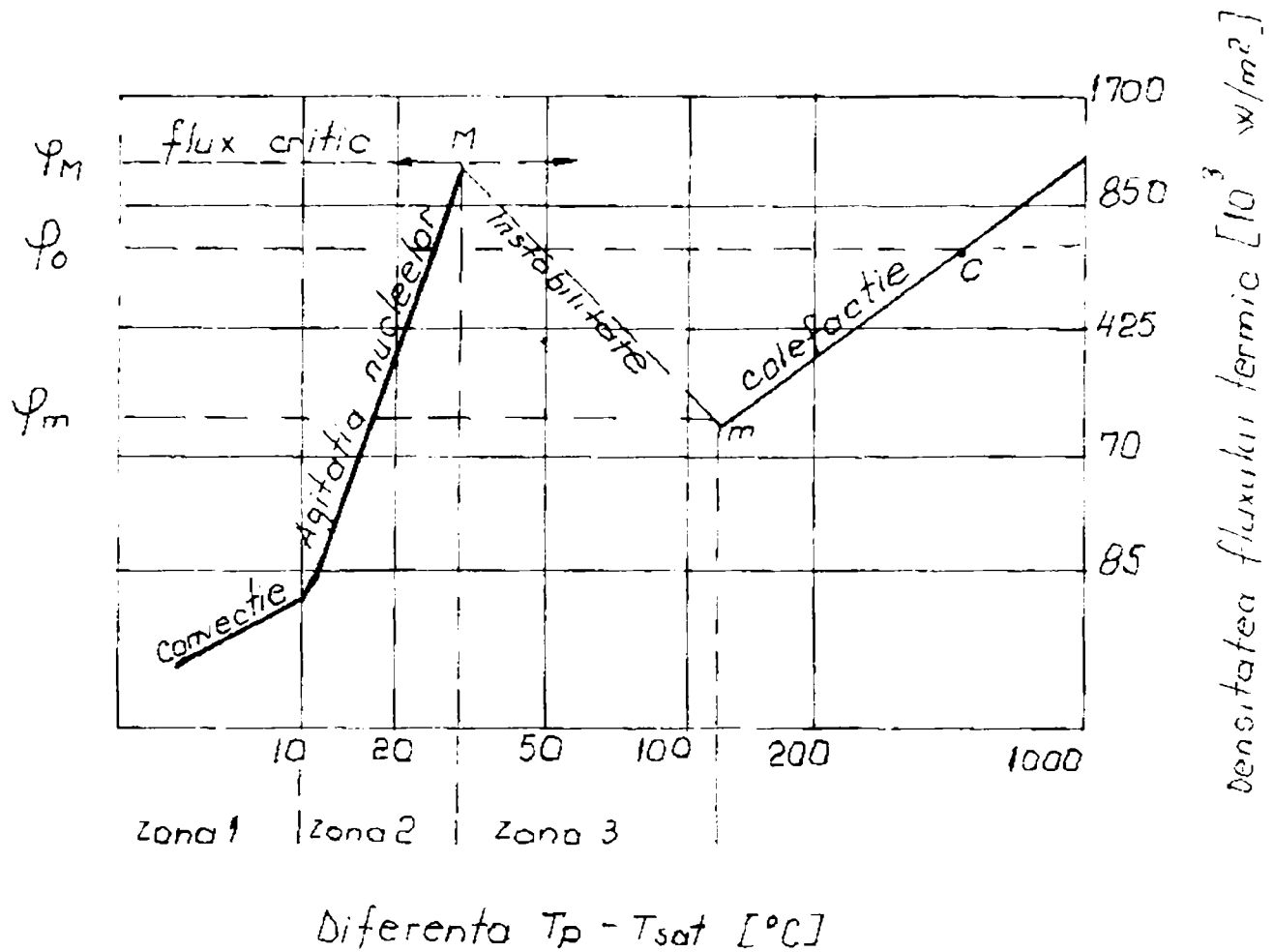


Figura 12 – variația densității fluxului termic în funcție de intervalul de temperatură

Coeficientul de schimb de căldură perete vapori fiind mult mai mic decât cel corespunzător sistemului perete apă, fluxul transmis scade puternic cu toată creșterea temperaturii peretelui. Vârful de flux maxim se definește ca flux critic. Acest domeniu, instabil, caracterizează trecerea de la domeniul fierberii nucleare la vaporizarea peliculară. După această zonă, fluxul transmis reîncepe să crească cu creșterea temperaturii peretelui și schimbul de căldură se face prin intermediul unui film continuu de vapori. În această zonă temperatura peretelui poate atinge valori periculoase, dar fluxul transmis este inferior fluxului critic.

Dacă se notează cu  $V$  viteza iar cu  $\Delta T_{is}$  intervalul de temperatură dintre temperatura fluidului la intrare și temperatura sa de saturație,  $\Delta T_{is} = T_{sat} - T_i$ , expresia fluxului termic unitar este:

$$q = K_1 * \Delta T_{is} * V^{0,8}$$

Este evident că mijloacele pentru mărirea capacității de transfer caloric al unui sistem sunt:

- ridicarea temperaturii de saturație deci a presiunii fluidului.
- scăderea temperaturii de intrare a fluidului deci răcirea lui.
- ridicarea vitezei fluidului.

În concluzie, pentru o instalație dată, pentru care intervalul  $\Delta T_{is} = T_{sat} - T_i$  e dat, un flux determinat provoacă peretelui o temperatură al cărui nivel este univoc determinat de viteza apei de răcire

Transmiterea de căldură prin convecție prin peretele gurii de vânt determină o diferență de temperatură dintre fețele exterioară și interioară a acestuia, a cărei valoare este conform legii lui Fourier:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} * \Delta T \Leftrightarrow \frac{q * \delta}{\lambda} = \Delta T$$

Unde:

$q$  = fluxul termic unitar transmis

$\delta$  = grosimea peretelui

$\lambda$  = coeficientul de conductivitate termică a materialului.

⇒ Fluxul termic transmis crește cu creșterea coeficientului de conductivitate termică a materialului.

Conductivitatea termică a câtorva materiale uzuale este prezentată în tabelul 4.

Geometria peretelui, mai ales la grosimi mari, poate deasemenea să conducă la înrăutățirea schimbului termic.

Tabelul 4

Materialul	Conductivitatea termică [ W/m°C ]
Cupru pur	386
Cupru pentru guri de vânt	300 – 350
Cupru cu 0,63 % P	100
Oțel moale	46

Astfel, pentru o suprafață curbă, ca în figura 13, factorul multiplicator de flux este dat de relația:

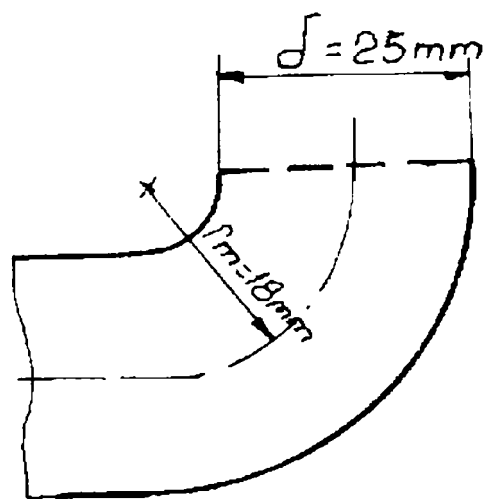


Figura13 – Geometria peretelui gurii de vânt ca multiplicator de flux termic.

$$K_q = \frac{1 + 0,5Y}{Y} \ln \frac{1 + 0,5Y}{1 - 0,5Y}$$

Unde

$$Y = \frac{\delta}{R_m}$$



$\delta$  = grosimea peretelui

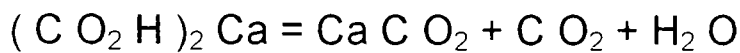
$R_m$  = raza de curbura

Pentru  $R_m = 18\text{mm}$  și  $\delta = 25\text{mm}$ , factorul multiplicator de flux este egal cu 2,11.

Depunerea de piatră se datorește dezechilibrului chimic provocat de o creștere prea mare a temperaturii apei naturale, nededurizate.

În acest caz pot precipita două tipuri de săruri de naturi diferite.

- carbonatul de calciu rezultat din descompunerea bicarbonatului de calciu sub acțiunea căldurii conform ecuației:



- mai rar sulfat de calciu dacă limita de solubilitate este depășită.

Bariera termică formată din depunerile de piatră provoacă o creștere suplimentară a temperaturii peretelui, putând merge până la distrugerea lui.

În figura 14 este prezentată influența depunerii de piatră asupra temperaturii peretelui gurii de vânt.

Există două modalități pentru evitarea acțiunii dăunătoare a pietrei:

- creșterea vitezei apei de răcire astfel ca temperatura peretelui interior să rămână la o valoare inferioară temperaturii de depunere a pietrei.

- evitarea depunerii prin tratarea apei sau prin folosirea sistemului de răcire în circuit închis.

O imagine mai completă privind influența diferiților factori asupra durabilității gurilor de vânt o dau relațiile obținute de cercetătorii japonezi:

Dacă notăm  $\Delta t_s$  = temperatura de saturație și  $V$  = viteza apei, fluxul termic unitar, de ardere a gurii de vânt va fi:

$$q = K_2 * \Delta t_s * V^{0,45} \quad \text{unde:}$$

$$K_2 = 1,73 * 10^3 * \lambda^{0,64} + 5,6 * T_m^{-2400}$$

$\lambda$  = conductivitatea termică a materialului [ W/m°C ]



$T_m$  = temperatura de topire a materialului [ °C ]

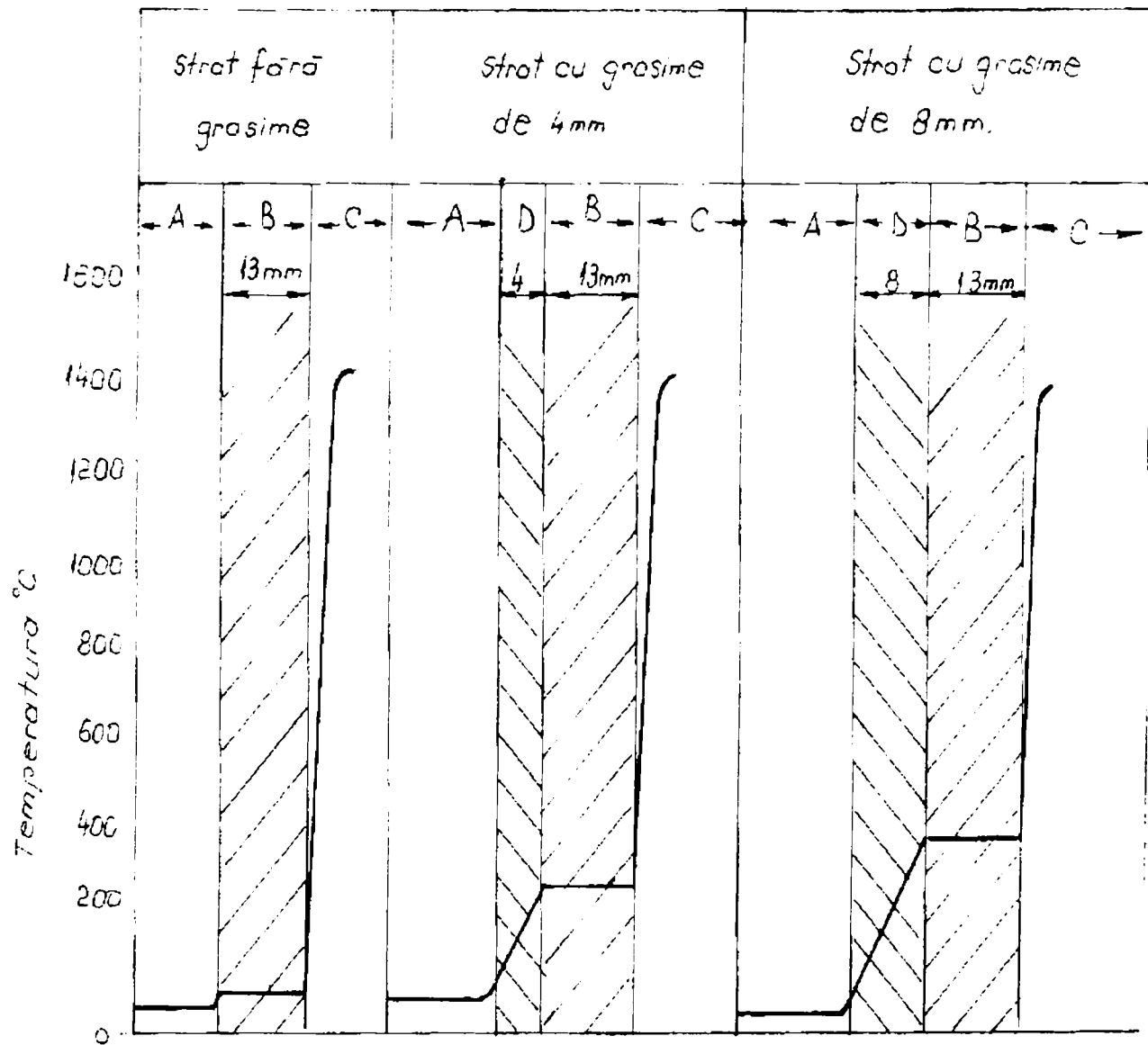


Figura 14 – Influența depunerilor de piatră asupra temperaturii peretelui gurii de vânt

Asemenea condiții se asigură prin construirea de guri de vânt cu secțiune variabilă a circuitului de răcire, în concordanță cu valoarea fluxului termic de preluat, și prin execuție îngrijită, atât în privința formei geometrice, cât și a materialului.

### 1.3 Studiul parametrilor constructivi ai gurilor de vânt de înaltă durabilitate ce echipează furnalele din țară și din străinătate

O foarte bună durabilitate a unei guri de vânt s-a atins la Zaparoj Stali și a fost de 9,2 luni. La un furnal din acest combinat, pe parcursul unui an, au ars doar trei guri de vânt, celelalte fiind schimbate din alte cauze.

Particularitatea principală a gurii de vânt de construcție Zaparoj Stali este o parte frontală masivă din cupru de grosime până la 90 mm ( vezi figura 15 ) destinată pentru ștergerea șocurilor termice a maselor lichide de fontă. Jumătatea superioară a corpului gurii de vânt este încărcată cu sormait pentru protecție față de acțiunea de uzură a cocsului care circulă în fața gurii de vânt.

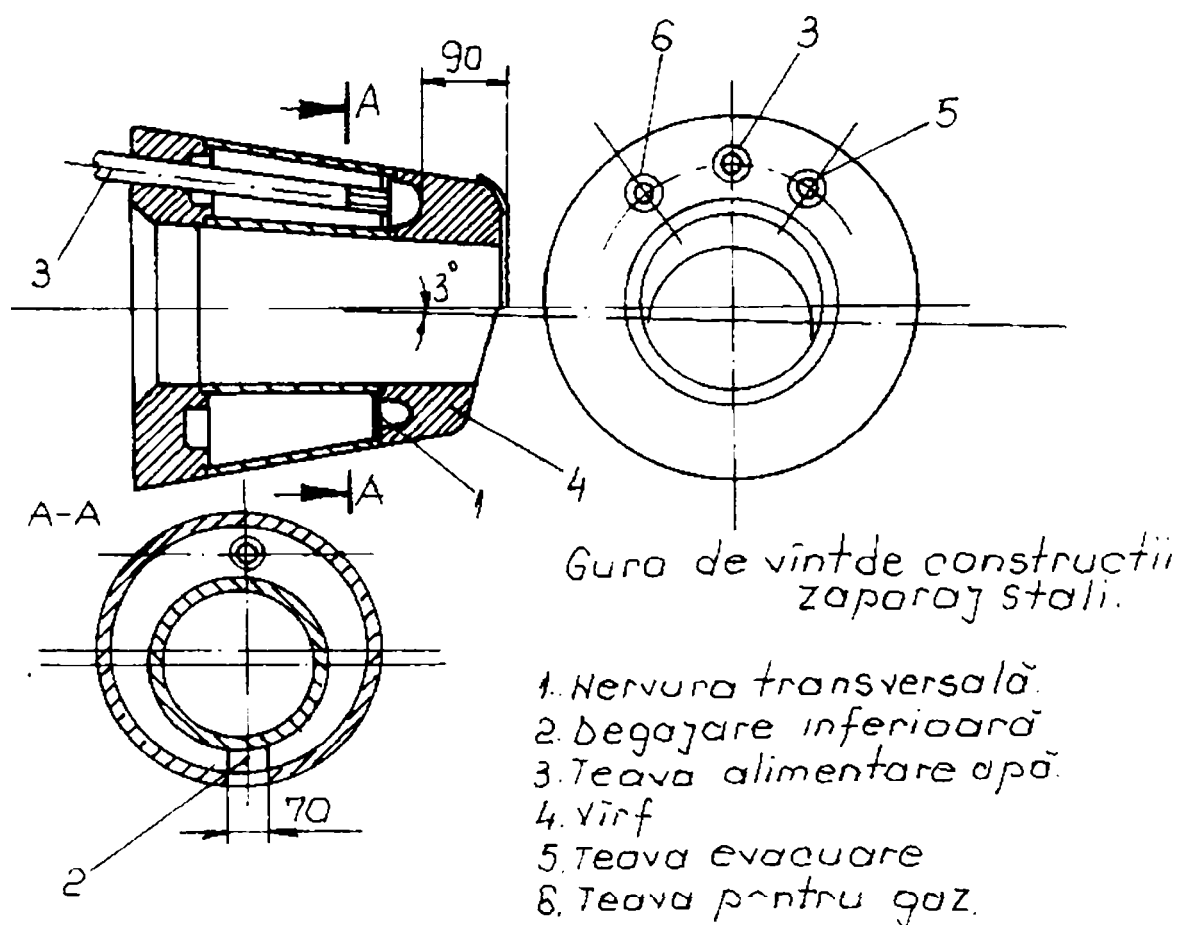
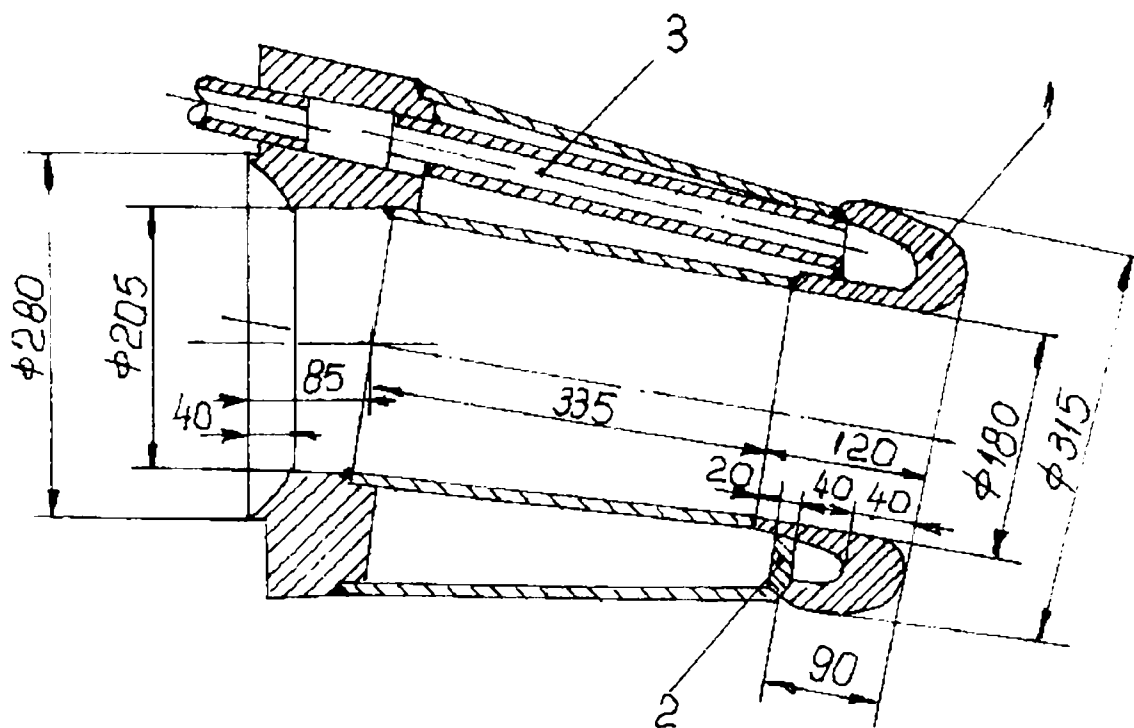


Figura 15 – Gură de vânt de construcție Zaparoj Stali.

Jumătatea inferioară a vârfului are o înclinație de  $17^\circ$  față de verticală, ceea ce limitează partea inferioară și o protejată față de fonta și zgura lichidă. Înclinarea axului canalului de insuflare a aerului la gura de vânt față de orizontală este de  $2 - 3^\circ$ . În scopul îmbunătățirii, răcirii gura de vânt este împărțită de către o nervură transversală de oțel în două părți; partea anterioară, având o secțiune variabilă, pentru asigurarea unei viteze de curgere a apei de  $4 - 5 \text{ m/s}$ , excluzându-se astfel formarea bulelor de vapori. Pentru evacuarea apei din partea anterioară a gurii de vânt, în zona inferioară a nervurii inelare, se practică o degajare prin care apa de răcire trece în partea posterioară a gurii de vânt. Viteza de circulație a apei este aici de  $0,1 - 0,3 \text{ m/s}$ .

Încercarea unor guri de vânt cu două camere de intrare și ieșire separată a apei s-a efectuat la unul din furnalele combinatului din Nognitogorsk (vezi figura 16).



1 – vârf

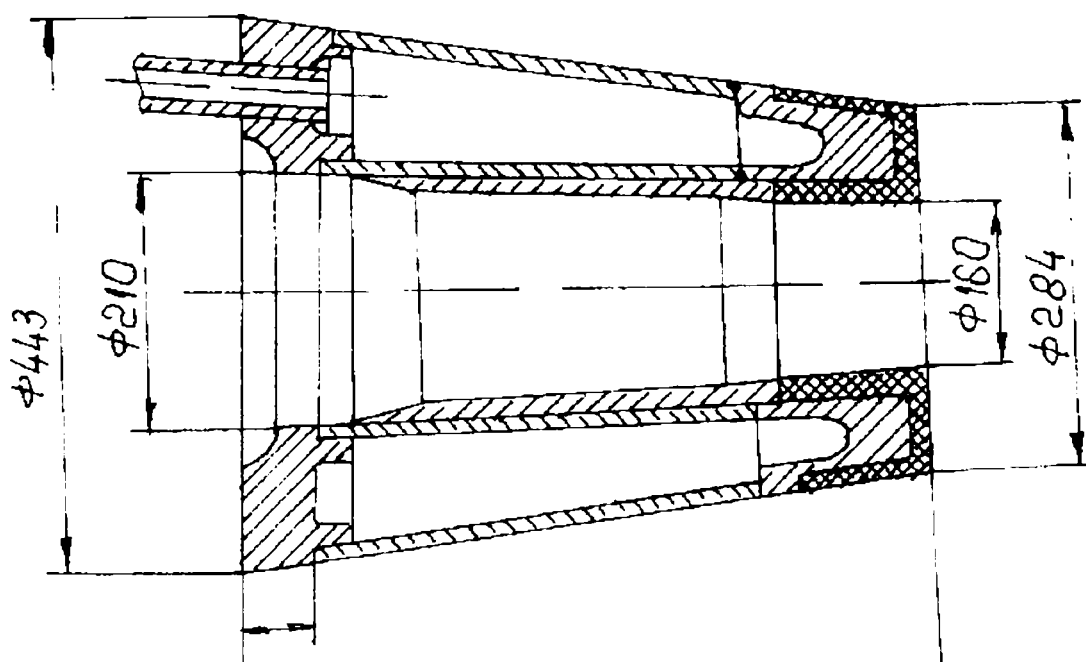
3 – țevă de alimentare cu apă

2 - nervură

Figura 16 – Gură de vânt cu două camere

În timpul unui an de exploatare au ieșit din funcționare, datorită arderii, numai 3 din cele 14 guri de vânt schimbate în această perioadă.

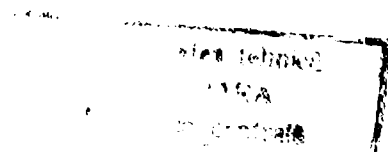
Un interes deosebit îl prezintă construcția unei guri de vânt ( vezi figura 17 ) având partea frontală blindată cu un aliaj refractar. Grosimea vârfului s-a mărit până la 95 mm. În timpul experimentării s-a observat arderea lor în partea frontală în zona inferioară. De aceea, s-a executat cu o ușoară înclinație, menținându-se o garnitură refractară de bioxid de zirconiu și o bucșă din acelaș material ca și blindajul, Durabilitatea acestor guri a crescut cu 1 – 2,5 luni și a atins un maxim de 4 – 5,5 luni.



- 1 – blindaj refractar
- 2 – căptușeală refractară

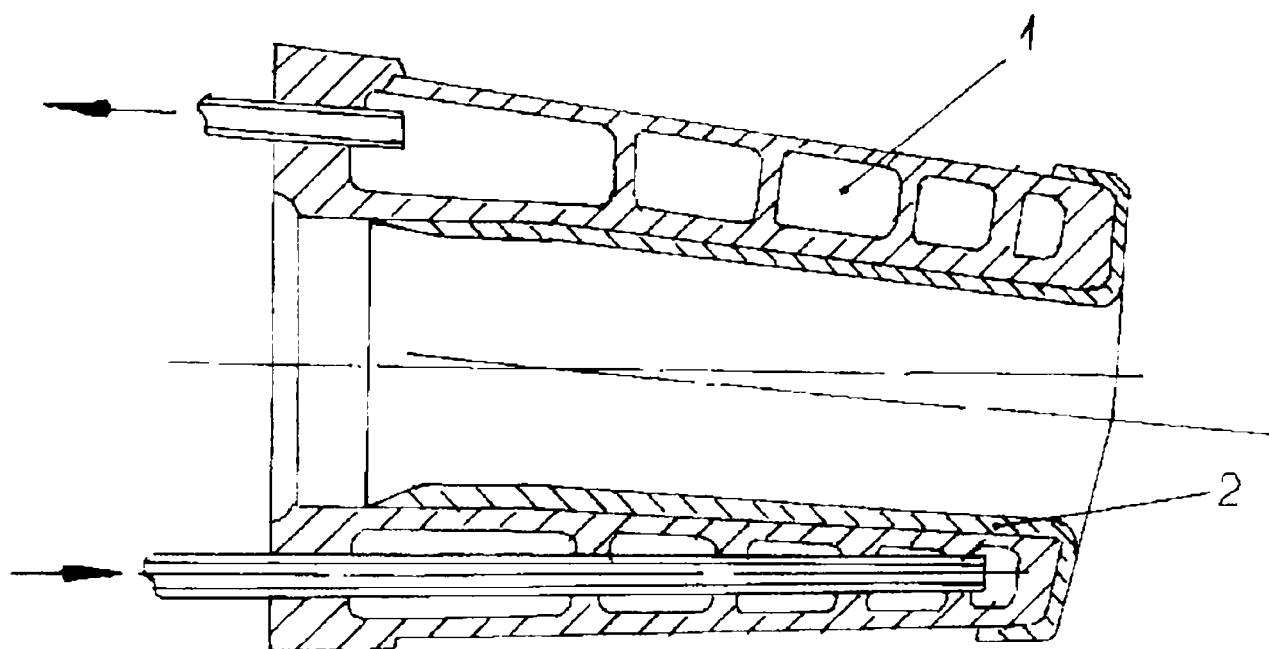
Figura 17 – gură de vânt perfecționată.

Trecerea la guri de vânt blindate permite, în urma micșorării pierderilor de căldură și a creșterii, în aceste condiții, a temperaturii aerului insuflat cu 20 – 25°C o economie de coals de circa 20 to/zi.



În procesul de exploatare a furnalului s-a evidențiat faptul că, prin înclinarea axei gurii de vânt cu 3 – 15 ° față de orizontală se îmbunătățesc condițiile de drenaj ale materialelor de sub gura de vânt și ca urmare crește durabilitatea gurii de vânt cu 25 – 30 %. În exploatarea furnalului cu guri de vânt înclinate, procentul de scoatere din funcțiune a gurilor de vânt datorită arderii este de 14 – 17 %.

La combinatul siderurgic Cosimo din Japonia durabilitatea gurilor de vânt este de 10 luni și chiar mai mare (14 luni ). S-au folosit guri de vânt elaborate de firma Saar Metalwerke din Germania care se caracterizează prin faptul că, în corpul gurii de vânt există o spirală dublă prin care circulă cu viteză mare apa de răcire ( vezi figura 18 ). fără schimbarea direcției.



1 – canal spiral

2 – căptușeală refractară

Figura 18 – Gură de vânt Saar Metalwerke

Aceste guri de vânt funcționează cu pierderi de presiune mici și consum redus de apă de răcire. Întregul corp al gurii de vânt este încărcat cu un aliaj refractar cu compoziție 80 % Ni și 20 % Cr.

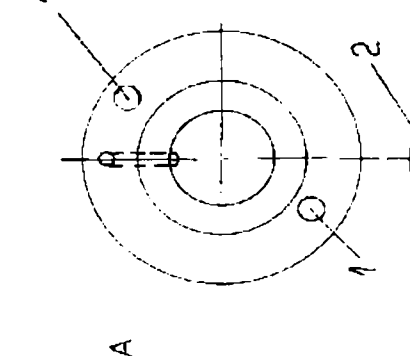
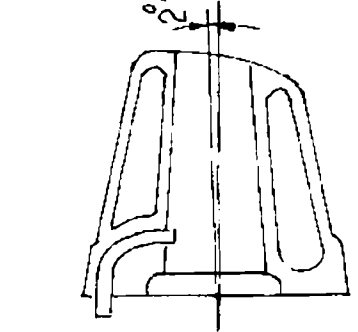
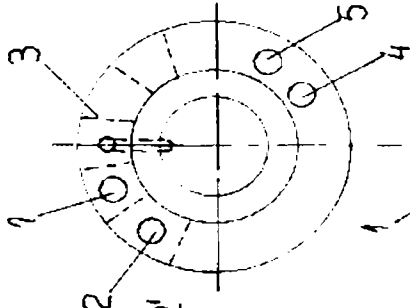
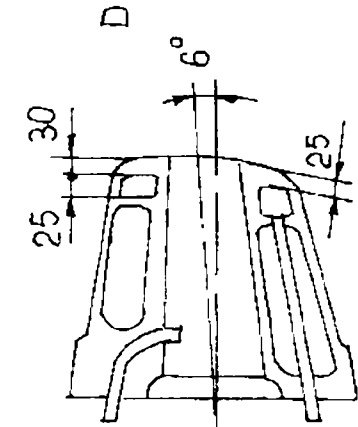
O gură de vânt de construcție asemănătoare a fost folosită la furnalele Treland Steel din S. U. A. În gura de vânt, fluxul de apă de răcire trece prin niște canale executate după o spirală. Lungimea totală a canalelor este de 4,57 m, consumul de apă de răcire este de 190 l/min, viteza de circulație a apei în canale este de peste 3,05 m/s. Durabilitatea acestui tip de gură de vânt a crescut de 3 ori față de una obișnuită, în condițiile micșorării consumului de apă de răcire.

În figura 19 sunt reprezentate tipuri de guri de vânt folosite la furnalele din Tukiama Jilnia Nipon Cacan. Această firmă a elaborat și experimentat 10 tipuri diferite de guri de vânt care se deosebesc între ele prin rezolvarea constructivă a sistemului de răcire a gurii de vânt.

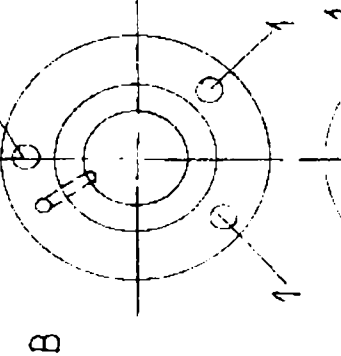
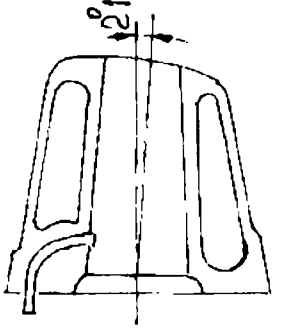
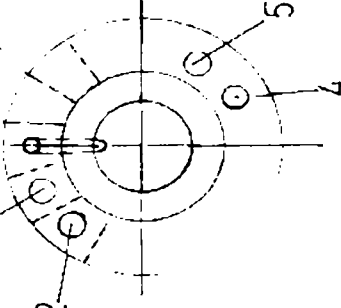
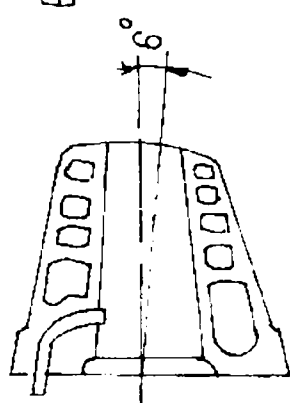
Anterior, la aceste furnale viteza maximă a apei era de 4 – 5 m/s. în corp de 1,5 m/s, grosimea vârfului de 40 mm, unghiul de înclinare de  $2^{\circ}$  12'. Ulterior, viteza apei s-a mărit la 15 – 16 m/s iar, pentru o intensificare a răcirii, partea superioară a corpului s-a efectuat cu nervuri, crescând astfel viteza de circulație a apei cu 4 – 5 m/s. Datorită acestui lucru, grosimea vârfului s-a micșorat cu 25 – 30 mm, iar unghiul de înclinare s-a mărit la început până la  $4^{\circ}$  iar apoi până la  $6^{\circ}$ .

Peste aceste măsuri constructive s-a suprapus distribuirea optimă a încărcăturii atât radial cât și periferic, obținându-se un mers rațional al procesului de furnal, și în consecință, scăderea importantă a procentului de scoatere din uz a gurilor de vânt datorită arderii.

Diferența între construcțiile gurilor de vânt folosite la furnalele uzinelor din Tulsima (Japonia).

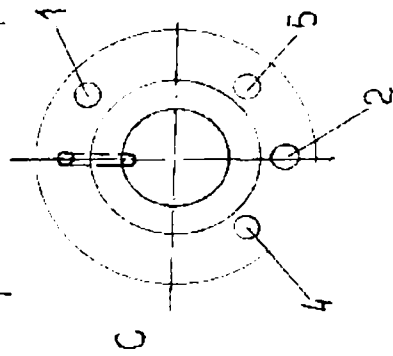
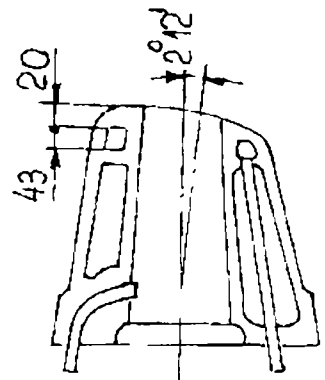


A Gură de vânt cu o ductă de alimentare și alta de evacuare a apei.



B Gură de vânt cu 2 conducte de alimentare și 1 de evacuare.

C Gură de vânt cu cameră dublă de rigidizare.



D Gură de vânt cu cameră dublă și nervuri.

E Gură de vânt cu cameră dublă tip spirală și nervuri de rigidizare.

1. Evacuarea apei din corpul gurii de vânt.
2. Aducțiune apă în corp.
3. Nervură de rigidizare.
4. Aducțiune apă în cavitatea frontală a gurii de vânt.
5. Evacuarea apei din cavitatea frontală.

În continuare voi face o trecere în revistă a câtorva brevete de invenții pentru perfecționarea gurilor de vânt la furnalele moderne.

În figura 20 se prezintă o gură de vânt a cărei cavitate de răcire este împărțită în 2 părți prin intermediul unei nervuri inelare.

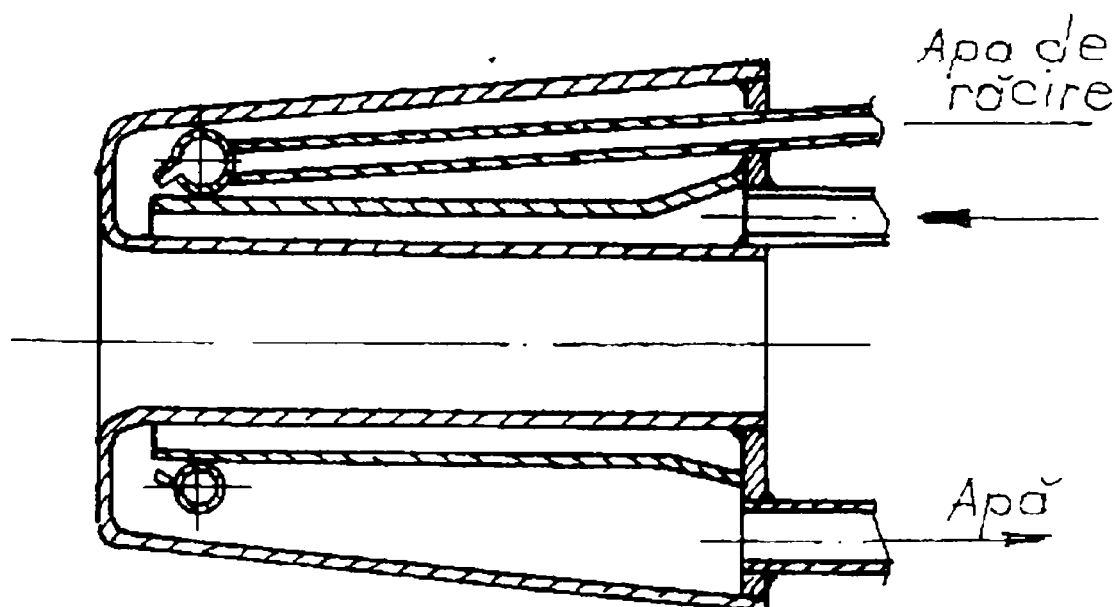
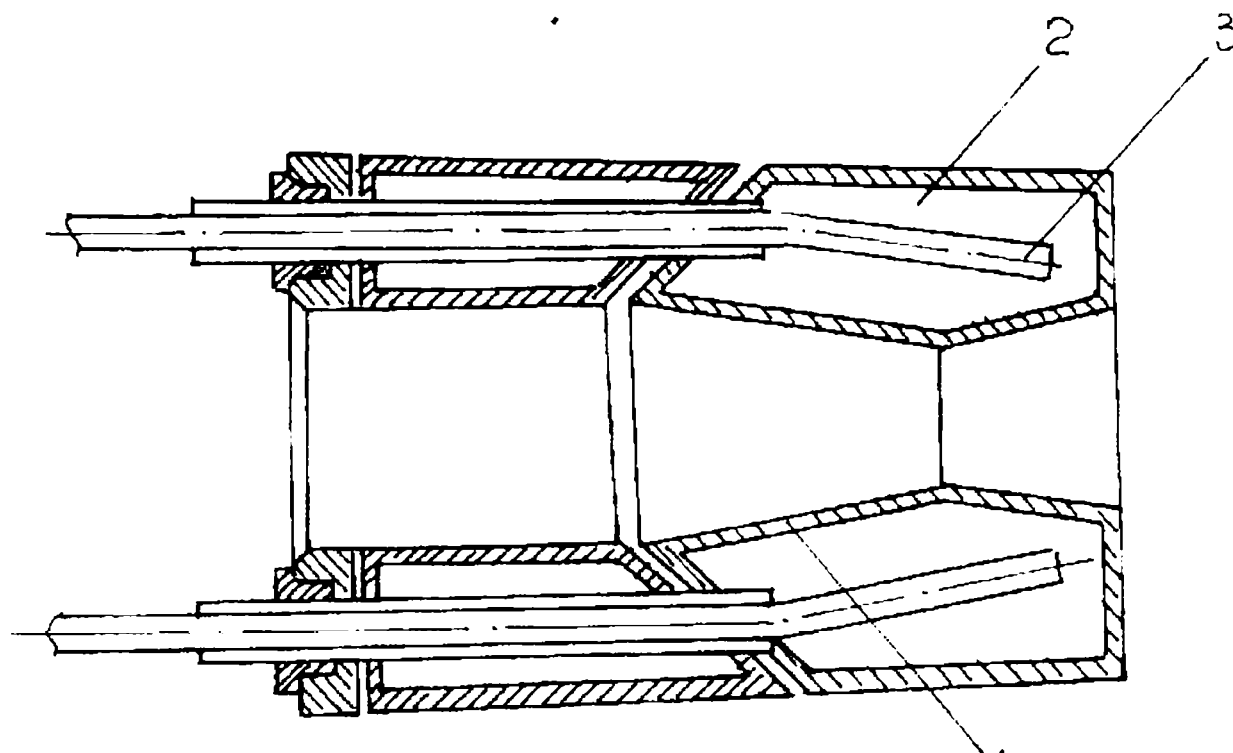


Figura 20 – gură de vânt cu nervură inelară.

Pentru îmbunătățirea răcirii, gura de vânt este dotată cu un inel de răcire prevăzut cu duze dispuse tangențial, în partea sa frontală. Apa de răcire intră pe lângă nervura inelară, răcește peretele interior al gurii de vânt, peretele frontal, apoi restul gurii de vânt, și iese pe conducta de evacuare situată în partea inferioară a gurii de vânt. Un aflus suplimentar de apă de răcire este adus simultan, în partea frontală a gurii de vânt, prin duzele inelului de răcire.



Institutul de cercetări metalurgice din Donețk a propus o gură de vânt formată din două corpuri răcite cu apă, legate între ele prin tiranți răciți ( vezi Figura 21 ).

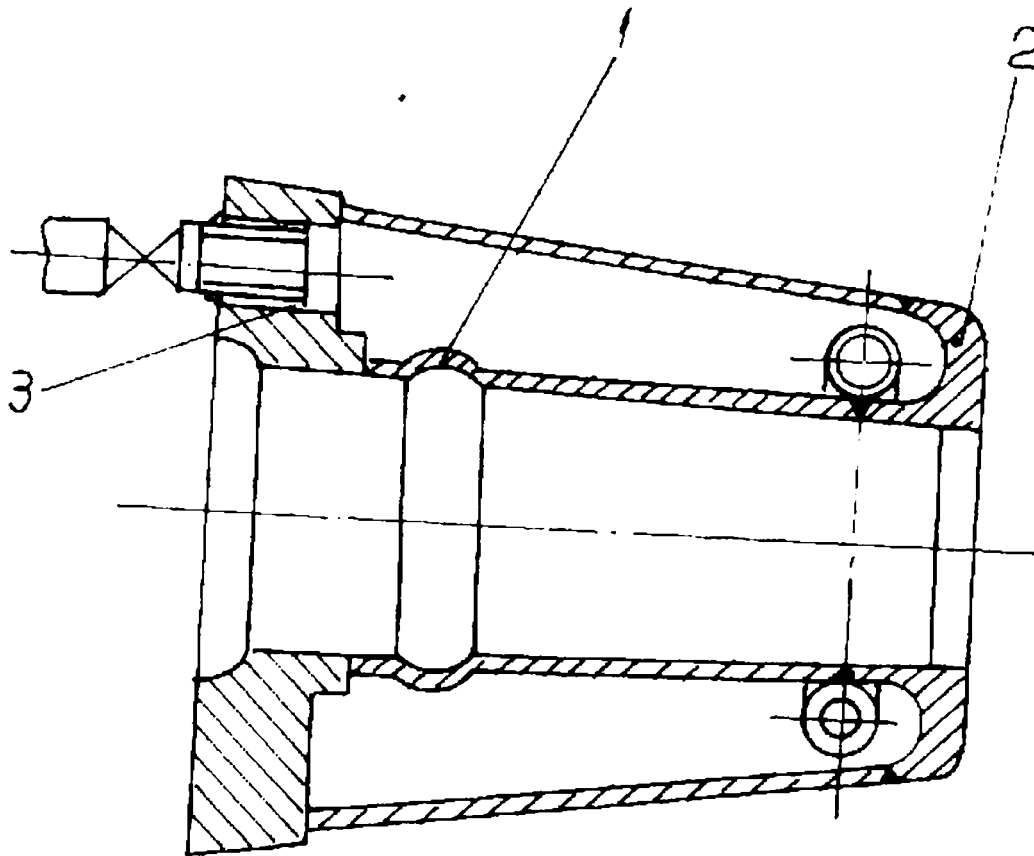


- 1 – tub Venturi
- 2 – cavitatea frontală a gurii de vânt
- 3 – conductă de aducțiune apă

Figura – 21 Gură de vânt cu tub Venturi.

Partea frontală a gurii de vânt are forma de tub Venturii și este legată de partea posterioară, cilindrică, a gurii de vânt cu ajutorul unor tiranți reglabili răciți cu apă. Acest lucru permite reglarea distribuției fluxului de gaz în furnal.

Institutul de mecanizare din Rusia a propus o gură de vânt la care, în scopul creșterii durabilității, corpul este executat cu un element elastic de forma unui burduf inelar, montat pe paharul interior și prevăzut cu o supapă de siguranță dispusă pe flanșă. ( vezi figura 22 )



1 – inel gofrat

2 - vârf

3 - flanșă

Figura 22 – Gură de vânt cu inel gofrat.

Institutul de Construcții de Mașini pentru Metalurgie a propus o gură de vânt care conține 2 seturi de canale longitudinale pentru aducțiunea apei în partea frontală a gurii de vânt și evacuarea ei ( vezi figura 23 ).

Pentru mărirea durabilității gurii de vânt s-a recurs la execuția corpului sub forma unui pahar cu căptușeală refractară pe interior și cu canale longitudinale pentru apă. Corpul este unit cu flanșa collectorului prin 2 camere: o cameră legată cu conducta de aducțiune a apei la gura de vânt și canale în corp care direcționează apa spre vârf, iar o altă cameră comunică cu canalele de evacuare a apei din gura de vânt și canale în corp de evacuare a apei din vârf.

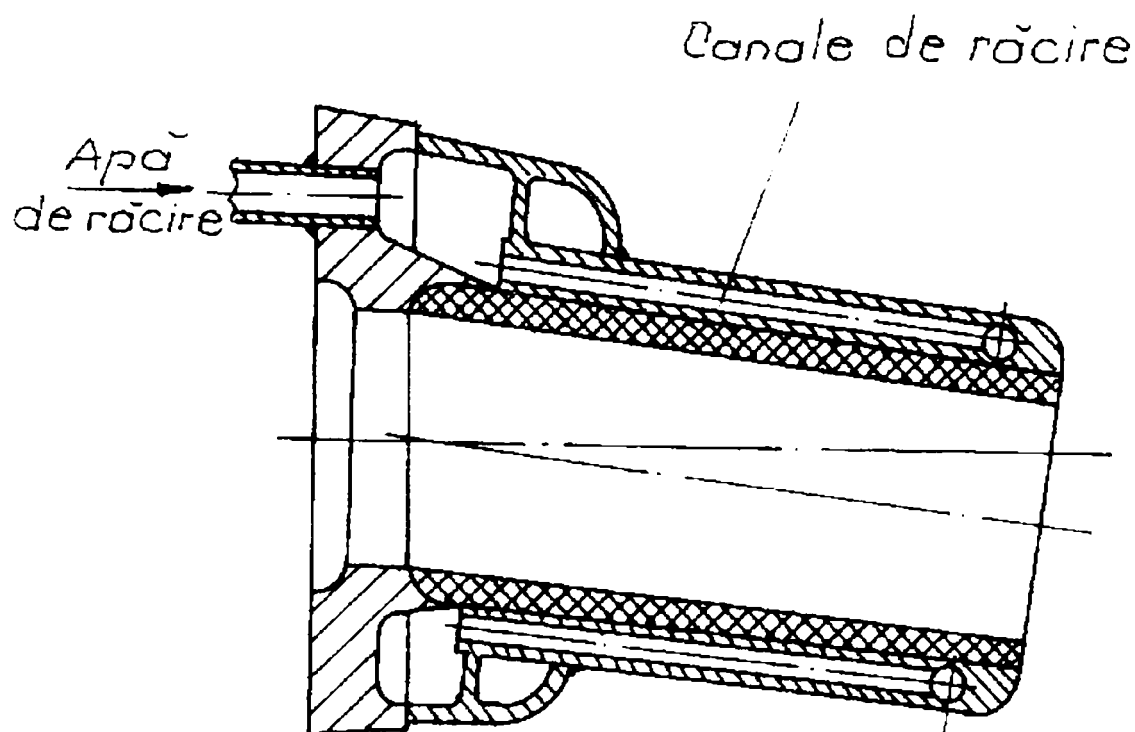


Figura 23 – Gură de vânt cu canale longitudinale.

Într-un brevet japonez este prezentată o gură de vânt în care, pentru asigurarea unei răcirii mai intense în vederea creșterii durabilității, apa se aduce prin 2 conducte care intră în interiorul gurii de vânt în cavitatea umplută cu apă, la o adâncime  $L = 0,50 - 0,80 D$  ;  $D =$  diametrul orificiului de ieșire a gurii de vânt ( vezi figura 24 ).

Conductele sunt încovoiate după o spirală, iar capetele sunt îndreptate sub un unghi la peretele gurii de vânt. Gura de vânt are o singură conductă de evacuare a apei.

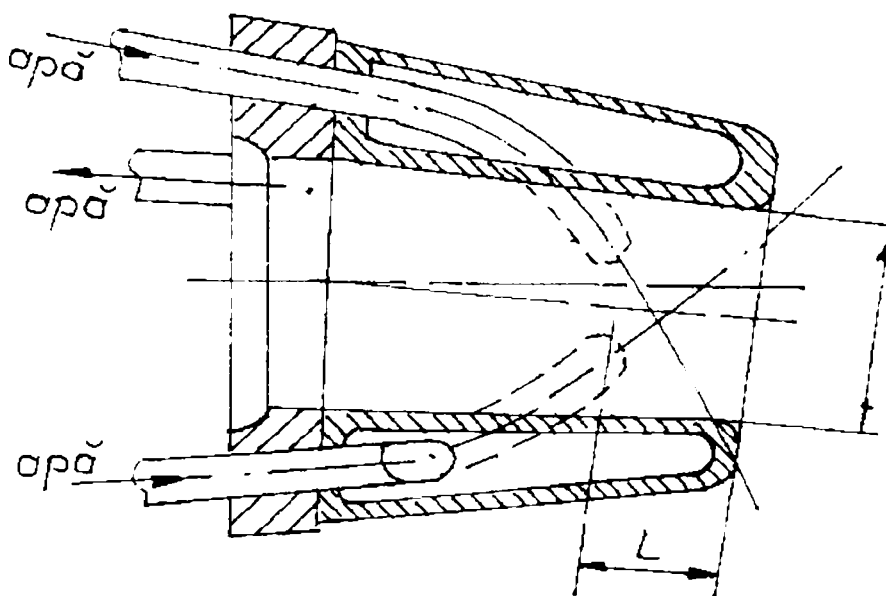
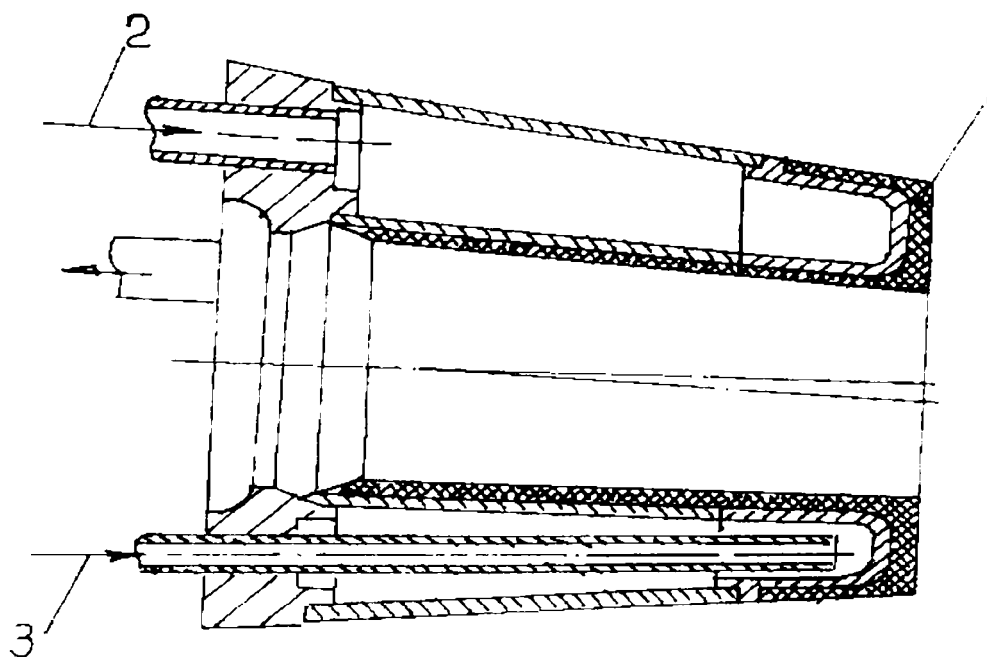


Figura 24 – Gură de vânt cu spirală încovoiată a conductelor de aducțiune a apei de răcire.

Actualmente, pe plan mondial, se fac cercetări printru a găsi soluții de creștere a rezistenței la uzură a părții expuse din gura de vânt. La execuția lor se propune folosirea a diverse adaosuri de aliere, în vederea creșterii rezistenței aliajului și, de asemenea, se dispun acoperiri de protecție pe suprafețele de lucru.

O metodă de dispunere a unei acoperiri de protecție este turnarea aliajului de protecție la circa  $1620 - 1700^{\circ} \text{C}$ , cu un volum egal cu 1,0 până la 1,5 din volumul gurii de vânt a cărei suprafață se protejază, iar răcirea se va face cu viteze de  $80 - 100^{\circ} \text{C} / \text{min}$ .

În figura 25 se prezintă o gură de vânt folosită în Germania, la care căptușeala paharului interior și partea frontală a gurii de vânt sunt acoperite cu un aliaj cu grosimea de 1,0 – 1,5 din grosimea peretelui corpului, iar îmbinarea dintre paharul interior și ramă este umplută cu un unguent pe bază de bioxid de zirconiu. Pentru fixarea stratului principal la gura de vânt s-au sudat niște benzi de alamă. Stratul de protecție, cu grosime de până la 90 mm în partea frontală, este executat din materiale cu un conținut mare de bioxid de zirco-niu. Rama prezintă o suprafață gofrată căptușită.



- 1 – acoperire de protecție
- 2 – apă la baza gurii de vânt
- 3 – apă la vârful gurii de vânt

Figura 25 Gură de vânt cu acoperire de protecție.

Pentru dispunerea acoperirilor de protecție se folosesc top jeturile și plasma. Prima firmă care a studiat, cercetat și aplicat în practică aceste metode a fost Agenka Kahlensaure Industrie din Dusseldorf. Materialele au fost oxid de aluminiu, carbura de wolfram, nitrura de zirconiu.

Duzele erau de construcție specială, dispuse în fața zonei de acoperire în așa fel, încât să asigure un flux direcționat laminar sub formă de con cu unghi ascuțit la vârf, care nu crează distorsiuni jetului.

#### **1.4 Concluzii, definirea problemelor elaborate și investigate în lucrare**

Prefecționarea construcției gurilor de vânt, creșterea fiabilității în funcționare are mare importanță pentru mărirea productivității elaborării fontei.

Durabilitatea gurilor de vânt este determinată, în principal, de numărul lor, de diametru, de construcția gurii de vânt și de condițiile de exploatare ale furnalului.

De mare importanță în funcționarea cu înaltă eficiență a furnalului este alegerea numărului de guri de vânt la proiectare, deoarece la un furnal în mers schimbarea numărului de guri de vânt nu este posibilă; acest lucru se poate efectua numai la reparația capitală a furnalului. Numărul de guri de vânt amplasate într-un furnal trebuie să asigure conducerea optimă a regimurilor tehnologice. În condiții identice de elaborare a șarjei, mărirea numărului de guri de vânt trebuie însoțită de scăderea diametrului lor în așa fel încât, jetul de aer insuflat să aibă energia cinetică necesară unei funcționări optime a părții centrale a cuvei furnalului. Diametre mici ale gurilor de vânt și ale cuvei furnalului conduc însă la mărirea pierderilor hidraulice și la pierderi de presiune sporite pe traseu. La un număr micșorat de guri de vânt pierderile de presiune sunt mai mici deoarece diametrul gurii de vânt trebuie să crească dar, pe de altă parte, distanțele mari între gurile de vânt amplasate la baza furnalului provoacă o încălzire neuniformă a materialului aflat la periferia furnalului.

Astfel, în vatră coboară materiale încălzite neuniform și deci diferit pregătite ceea ce provoacă formarea de garnisaje pe pereții vetrei și pe partea frontală a gurilor de vânt datorită înrăutățirii condițiilor de drenaj. Toate acestea conduc la arderea mai puternică a gurilor de vânt și astfel la scoaterea din funcțiune a furnalului,

Pentru a se obține creșterea durabilității gurilor de vânt este important ca funcționarea furnalului să fie cât mai uniformă. Prin acest lucru se urmărește menținerea la o valoare constantă, cât mai mică, a densității fluxului termic ce acționează asupra gurii de vânt și evitarea arderii gurii de vânt datorită acumulării fontei în partea inferioară a acesteia.

Procesul de reducere a fierului din minereu are loc prin reducere indirectă și prin reducere directă. În timp ce reducerea indirectă este exotermă, cea directă este puternic endotermă, deci are nevoie de un aport de căldură realizat prin mărirea temperaturii aerului insuflat și mărirea cantității de cocs în încărcătură, aport ce mărește solicitarea termică a gurilor de vânt. Proporția reducerii indirecte a oxizilor de fier trebuie deci maximizată: ea depinde de gradul de pregătire a minereurilor și conducerea procesului; acest lucru se re-alizează prin:

- Folosirea minereurilor cu o granulație favorabilă repartizării uniforme a gazelor reducătoare prin încărcătură și difuziei acestor gaze în interiorul bucăților

- Folosirea de minereuri ușor reductibile, cu o porozitate cât mai ridicată obținute prin aglomerare, peletizare sau prăjire.

- Compoziția gazului reducător prezintă importanță la temperaturi sub  $900 - 950^{\circ} \text{C}$ , la care are loc reducerea indirectă; intensificarea reducerii în zona respectivă putându-se obține prin adaos de hidrogen în gazele obținute prin arderea cocsului în fața gurilor de vânt ( introducerea de combustibili auxiliari și controlul umidității aerului insuflat ) și prin creșterea proporției oxidului

de carbon în dauna azotului în gazele din zona de ardere prin îmbogățirea aerului în oxigen.

- Creșterea presiunii gazelor din furnal îmbunătățește difuzia gazelor și frânează reacțiile de reducere directă cu carbon.

Viteza cu care aerul intră în creuzet, cuprinsă între 150 și 200 m/s, influențează lungimea zonei de ardere în planul gurilor de vânt. La depășirea unei anumite limite a debitului și vitezei aerului la gura de vânt se constată creșterea frecvenței arderii gurilor de vânt datorită acumulării fontei în partea inferioară a acestora provocată de accentuarea, cu creșterea debitului de aer, a unei circulații de gaze sub nivelul planului gurilor de vânt

În condiții reale de funcționare a furnalului de  $1000 \text{ m}^3$ , la o conducere corectă a proceselor în furnal, temperatura teoretică de ardere variază între  $1870 - 1920^\circ \text{C}$  temperatura aerului cald fiind cuprinsă între  $880$  și  $1200^\circ \text{C}$ . Aceste temperaturi determină un flux termic unitar maxim transmis părții frontale a gurii de vânt de circa  $q_{\text{max}} = 1670 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$ . Acest flux este impus de intensitatea de funcționare a furnalului și el este transmis către apa de răcire, prin peretele gurii de vânt, care trebuie să facă eficace această răcire.

Pentru a se realiza acest lucru se poate acționa în următoarele direcții:

- Creșterea intensității de răcire până la temperatura la care se asigură o interacțiune normală între produsele lichide ale șarjei și suprafața răcită.

- Folosirea unor materiale speciale ca adaosuri de aliere, dispunerea pe gura de vânt a unor acoperiri refractare care împiedică arderea suprafeței răcite în contact cu fonta lichidă.

- Îmbunătățirea amestecării reactivilor insuflați, pentru creșterea cantității lor și micșorarea consumului specific de cocs.

În condițiile adoptării unor forme exterioare corecte a părții frontale a gurii de vânt care să asigure o bună drenare a produselor șarjei și a folosirii unei instalații de răcire în circuit închis care să minimizeze riscul depunerilor



de piatră pe pereții interiori ai gurii de vânt, mijloacele de mărire a capacității de transfer termic prin pereții gurii de vânt ar fi:

- Ridicarea temperaturii de saturație deci a presiunii fluidului.
- Scăderea temperaturii de intrare a fluidului deci răcirea lui.
- Ridicarea vitezei fluidului.

Pentru o instalație dată, pentru care intervalul temperatură de saturație – temperatură de intrare e dat, un flux determinat provoacă peretelui o temperatură a cărei nivel este univoc determinat de viteza apei de răcire. În concluzie, pentru îmbunătățirea durabilității gurii de vânt trebuiesc determinate și obținute vitezele de circulație ale fluidului de răcire prin diferite secțiuni a gurii de vânt necesare unui bun transfer de căldură.

## CAPITOLUL 2.

### Studiul, proiectarea și realizarea unor modele de guri de vânt.

#### 2.1. Solicitățile termice ale gurilor de vânt.

Pentru determinarea solicitărilor termice ale gurilor de vânt trebuie cunoscute: temperatura absolută a zonei de ardere gazeificare; practic egală cu temperatura teoretică de ardere, parametri de insuflare ai aerului cald și ai reactivilor folosiți, precum și temperatura absolută a peretelui gurii de vânt în condițiile reale de exploatare a furnului.

Pentru calculul temperaturii teoretice de ardere s-au stabilit, cu ajutorul calculatorului electronic, prin metoda regresiei liniare multiple, următoarele relații de calcul:

$$1) T_{ta} = 490,016 + 35,7811 * \% O_2 - 39,5319 * \% C H_4 + 0,710191 * T_a$$

Unde:

$\% O_2$  = conținutul de oxigen în aerul suflat [ % ]

$\% C H_4$  = conținutul de  $C H_4$  în aerul suflat [ % ]

$T_a$  = temperatura aerului suflat [ ° C ]

Pentru această relație coeficientul de corelare multiplă este de 0,99936 iar eroarea standard estimată este de 6,02053. Relația este valabilă pentru  $\% O_2 \in ( 21 - 27 )$ ,  $\% C H_4 \in ( 0 - 10 )$  și  $T_a \in ( 700 - 1300 )$ .

$$2) T_{ta} = 469,484 + 36,366 * \% O_2 - 39,3736 * \% C H_4 - 7,43999 * G_1 + 0,714079 * T_a$$

Unde:

$G_1$  = cantitatea de apă insuflată [ g/Nm<sup>3</sup> ]

Pentru relația 2 au rezultat coeficienți de corelare multiplă de 0,999583 și de eroare estimată de 5,709.

Relația este valabilă pentru % O<sub>2</sub> ∈ ( 21 – 27,2); % C H<sub>4</sub> ∈ ( 0 – 4 ); G<sub>2</sub> ∈ ( 0 – 40,4 )și Ta ∈ ( 700 – 1300°C ).

Pentru furnalul nr. 5 de la S. C. Siderurgica S.A. voi determina temperatura teoretică de ardere pentru diferite valori ale temperaturii aerului și ale debitului de C H<sub>4</sub> insuflat, conform relației 1.

$$T_{ta} = 490,016 + 35,7811 * \% O_2 - 39,5319 * \% C H_4 + 0,710191 * T_a$$

$$Q_{C H_4} = 0.$$

$$T_a \in ( 800 - 900^\circ C ).$$

$$\% O_2 = 21.$$

$$Q_a = 65000 \text{ Nm}^3$$

Tabelul 5

Ta [ ° C ]	Qa [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Q C H <sub>4</sub> [ Nm <sup>3</sup> /s ]	Tta [ ° C ]
800	65000	0	1840
850	65000	0	1845
900	65000	0	1880

Din tabelul 5 se observă creșterea temperaturii teoretice de ardere odată cu creșterea temperaturii aerului insuflat în condițiile menținerii constante a debitului de aer și a folosirii aerului neînbogățit în oxigen și fără adaos de combustibil auxiliar.

$$Q_{C H_4} \in ( 2000 - 3000 \text{ Nm}^3/\text{h} )$$

$$T_a = 950^\circ C$$

$$Q_a = 65000 \text{ Nm}^3$$

$$\%O_2 = 21$$

$$\% \text{C H}_4 = \frac{2000}{65000} * 100 = 3,08\%; \quad \% \text{C H}_4 = \frac{3000}{65000} * 100 = 4,625\%$$

Tabelul 6

Ta [ ° C ]	Qa [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Q C H <sub>4</sub> [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Tta [ ° C ]
950	65000	2000	1795
950	65000	3000	1735

Ddacă se folosește combustibil auxiliar, din tabelul 6 se observă că, pentru aceeași temperatură a aerului insuflat și acelaș debit de aer, temperatura teoretică de ardere scade odată cu creșterea debitului de C H<sub>4</sub> insuflat.

Pentru furnalul numărul 9 de 1000 m<sup>3</sup> s-a obținut

$$Q \text{ C H}_4 = 3000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$Qa \in ( 100000 - 300000 \text{ Nm}^3/\text{h} )$$

$$Ta \in ( 1050 - 1100 \text{ }^\circ \text{C} )$$

$$\% \text{O}_2 = 21$$

$$\% \text{C H}_4 = \frac{3000}{100000} * 100 = 3 \%$$

$$\% \text{C H}_4 = \frac{3000}{110000} * 100 = 2,727 \%$$

Tabelul 7

Tta [ ° C ]	Qa [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Q C H <sub>4</sub> [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Tta [ ° C ]
1	2	3	4
1050	100000	3000	1870
1050	110000	3000	1879
1100	100000	3000	1904

1	2	3	4
1100	110000	3000	1914

Din tabelul 7 rezultă creșterea temperaturii teoretice de ardere odată cu creșterea debitului de aer și a temperaturii aerului insuflat, în condițiile menținerii constante a debitului de C H<sub>4</sub>

În condițiile în care se folosește un adaos sporit de C H<sub>4</sub>, pentru a evita scăderea prea mare a temperaturii teoretice de ardere, se realizează compensarea prin îmbogățirea aerului în oxigen și sporirea temperaturii aerului insuflat.

$$Q_{C H_4} \in ( 0 - 7000 \text{ Nm}^3/\text{h} )$$

$$Q_{O_2} \in ( 0 - 4000 \text{ Nm}^3/\text{h} )$$

$$Q_a = 110000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$T_a \in ( 800 - 1100 \text{ }^\circ\text{C} )$$

$$\%C H_4 = 0$$

$$\%C H_4 = \frac{7000}{110000} * 100 = 6,36\%$$

$$\%O_2 = 21\%$$

$$\%O_2 = \frac{110000 + 4000 / 74}{110000} = 23,65\%$$

Tabelul 8

Ta [ ° C ]	Qa [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Q C H <sub>4</sub> [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Q O <sub>2</sub> [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Tta [ ° C ]
880	110000	0	0	1870
1100	110000	7000	4000	1871

În vederea menținerii constante a temperaturii teoretice de ardere, condiție esențială pentru funcționarea uniformă a furnalului, se funcționează

cu aer cald la temperatură maximă, cu adaos de combustibili auxiliari și îmbogățit în oxigen, obținându-se astfel o creștere a proporției reducerilor indirecte pe seama îmbogățirii în hidrogen a gazelor rezultate în zona de ardere gazei-ficare deci o micșorare a proporției reducerilor indirecte cu cocs în fața gurilor de vânt și prin urmare a reducerii solicitării termice a acestora.

Mentținerea unui regim termic stabil, la o intensitate de funcționare sporită a furnalului se realizează prin corelarea, conform relației 2, a cantității de  $O_2$  și  $C H_4$  introduse, cu cantitatea de apă injectată și temperatura aerului suflat la gurile de vânt.

$$T_{ta} = 469,484 + 36,366 * \% O_2 - 39,3736 * \% C H_4 - 7,43999 * G_1 + 0,714079 * T_a$$

Unde:

$$\% O_2 = \frac{Q_a * 21 + QO_2 * 74}{Q_a}$$

$$\% CH_4 = \frac{QCH_4}{Q_a} * 100$$

$$G_1 = \frac{QH_2O}{Q_a} \Rightarrow$$

$$T_{ta} = 469,484 + 36,366 * \frac{21 * Q_a + 74 * QO_2}{Q_a} - 39,3736 * \frac{QCH_4}{Q_a} - 7,4399 * \frac{QH_2O}{Q_a} + 0,7140 * T_a$$

$$Q_a * T_a = (469,484 + 36,366 * 21)Q_a + 36,366 * 74 * QO_2 - 3937,36QH_2O - 0,7140 * T_a * Q_a$$

$$QH_2O = \frac{(1232,54 + 0,714 * T_a - T_{ta})Q_a + 2688,86 * QO_2 - 3937,36 * QCH_4}{7,4399 * 10^6} [t/h]$$

Tabelul 9

Qa [ Nm <sup>3</sup> /h ]	Ta [ °C ]	Tta [ °C ]	QCH <sub>4</sub> [Nm <sup>3</sup> /h]	QO <sub>2</sub> [Nm <sup>3</sup> /h ]	QH <sub>2</sub> O [t/h]
1	2	3	4	5	6
110000	1100	1870	0	2000	2,91

1	2	3	4	5	6
110000	1100	1870	0	3000	3,27
110000	1100	1870	0	4000	3,63
110000	1100	1870	2000	3000	2,2
110000	1100	1870	3000	3000	1,68
110000	1100	1870	3000	4000	2,04

Din tabelele 7,8 și 9 se observă că în condițiile reale de funcționare a furnalelor de 1000 m<sup>3</sup> temperatura teoretică de ardere variază între 1870 și 1914 °C, temperatura aerului cald fiind cuprinsă între 880 și 1100 °C.

Aceste temperaturi reclamă creșterea intensității de răcire a gurii de vânt până la temperatura la care se asigură o interacțiune normală între produsele lichide ale șarjei și suprafața răcită.

Pentru a se realiza acest lucru trebuie calculate densitatea fluxului termic unitar maxim transmis către gura de vânt și vitezele de circulație a fluidului de răcire prin diferite secțiunile gurii de vânt necesare unui bun transfer de căldură.

Temperatura în fața gurii de vânt este de ordinul a 1870 – 1914 °C. În aceste condiții transmiterea de căldură se face prin radiație, convecția devenind practic neglijabilă.

Expresia fluxului termic transmis prin radiație este, conform legii Ștefan – Boltzmann :

$$q_R = \varepsilon * \sigma a ( T_a^4 - T_m^4 ) \quad - \text{unde :}$$

$$\varepsilon = 0.85 = \text{puterea de emisie aparentă.}$$

$$\sigma a = 5,76 * 10^{-8} [ W/m^2 * ^\circ K^4 ] = \text{constanta de radiație Ștefan –}$$

Boltzmann

$T_a$  = temperatura absolută a zonei de ardere [ ° K ]

$T_m$  = temperatura absolută a peretelui gurii de vânt [ ° K ]

$T_a = 1914 \text{ }^\circ\text{C} = 2187 \text{ }^\circ\text{K}$

$T_m = 92 \text{ }^\circ\text{C} = 363 \text{ }^\circ\text{K}$

Fluxul termic unitar transmis prin radiație este în condițiile anunțate de maximum:

$$Q_R = 0,85 * 5,76 * 10^{-8} ( 2187^4 - 363^4 ) = 1120 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Fluxul termic transmis prin convecție este dificil de stabilit, viteza de circulație a gazelor în fața gurii de vânt fiind necunoscută. Totuși, el poate fi estimat la  $120 * 10^3 \text{ W/m}^2$ .

Fluxul termic unitar total maxim transmis către gura de vânt va fi :

$$Q_{\max} = ( 1120 + 120 ) * 10^3 = 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2.$$

## 2.2 Elemente inițiale de calcul și proiectare.

Din tabelele 7, 8 și 9 se observă că, la un debit de aer cald insuflat de  $110000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  la care se adaugă maxim  $7000 \text{ Nm}^3/\text{h}$   $\text{C H}_4$  și  $4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$   $\text{O}_2$ , temperatura teoretică de ardere variază între  $1870$  și  $1914 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura aerului cald fiind cuprinsă între  $880$  și  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  iar presiunea aerului insuflat aparținând intervalului  $1,8 - 2,2 \text{ at}$  ( vezi tabelul 2 ).

Proprietățile fizice ale aerului la o temperatură medie de  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  sunt:

Conductivitate termică  $\lambda = 80,7 * 10^{-3} \text{ W/m }^\circ\text{K}$

Densitate  $\rho = 0,227 \text{ kg/m}^3$

Vâscozitate cinematică  $\nu = 177,1 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Invariantul Prandl  $Pr = 0,719.$



În aceste condiții, în partea frontală a gurii de vânt, fluxul termic unitar transmis către gura de vânt, a fost calculat, pentru radiație și convecție forțată la valoarea de:

$$q_{\max} = 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2 .$$

Datorită faptului că gazele biatomice  $O_2$ ,  $N_2$  etc. sunt practic transparente la radiații, pe partea interioară a gurii de vânt, pe unde este insuflat aerul cald, transmiterea de căldură către corpul gurii de vânt se face practic numai prin convecție forțată.

Considerând că repartiția debitului de fluid insuflat este uniformă pe cele 19 guri de vânt folosite, debitul pe o gură de vânt va fi:

$$\underline{Q} = \frac{Q_{tot}}{19} = \frac{110000 + 7000 + 4000}{19} = 6368 \text{ Nm}^3 / \text{h.g.v.} = 1,679 \text{ Nm}^3 \text{ s.g.v.}$$

Pentru un diametru al gurii de vânt de 145 mm, viteza aerului cald insuflat va fi:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4 * 1,769}{\pi * 0,145^2} = 107,13 \text{ m / s}$$

Fluxul termic unitar cedat prin convecție forțată gurii de vânt se calculează cu relația:

$$Q = \alpha ( T_{fl} - T_p ) \quad , \text{unde:}$$

$\alpha$  = coeficient de convecție calculat cu ecuația criterială:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d}$$

Nu = criteriul Nussel

Valoarea criteriului Reynolds, calculat pentru o viteză a aerului  $V = 107$  m/s este:

$$Re = \frac{V * d}{\nu} = \frac{107 * 0,145}{177,1 * 10^{-6}} = 87605,8$$

Deoarece  $Re > 2300$  curgerea aerului este turbulentă. În acest caz pentru calculul criteriului Nu se folosește ecuația criterială:

$$Nu = 0,0214 (Re^{0,8} - 100) Pr^{0,4} \left[1 + \left(\frac{d}{L}\right)^{2,5}\right] \left(\frac{T_{fl}}{T_p}\right)^{0,4}$$

Unde:

$L = 0,5\text{m}$  = lungimea canalului de insuflare a aerului

$T_p = 120^\circ\text{C}$  = temperatura peretelui gurii de vânt

Cu acestea se obține:

$$Nu = 0,0214 (8760,5^{0,8} - 100) * 0,719^{0,4} \left[1 + \left(\frac{0,145}{0,5}\right)^{2,5}\right] \left(\frac{1000}{100}\right)^{0,45} = 622,186$$

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 622,186 \frac{80,7 * 10^{-3}}{0,145} = 346 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$q = \alpha(T_{fl} - T_p) = 346(1000 - 120) = 304,725 * 10^3 \Rightarrow q \cong 305 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că, față de partea frontală a gurii de vânt unde densitatea fluxului termic transmis gurii de vânt este  $q_{\max} = 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$  pe partea interioară fluxul termic unitar transmis este mult mai mic  $q = 305 * 10^3 \text{ W/m}^2$ .

Datorită faptului că partea laterală exterioară a gurii de vânt este protejată de zidăria refractară a peretelui furnalului, fluxul termic transmis gurii de vânt prin această porțiune este neglijabil în raport cu fluxul termic transmis în partea frontală a gurii de vânt.

Acest flux termic trebuie să fie transmis apei de răcire. La o temperatură de  $80^\circ\text{C}$  apa are următoarele proprietăți fizice:

Conductivitate termică  $\lambda = 0,669 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Densitate  $\rho = 971,8 \text{ kg/m}^3$

Vâscozitate cinematică  $\nu = 0,365 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Invariantul Prandl  $Pr = 2,23$ .

Debitul apei de răcire, pentru o gură de vânt este:  $Q_{ap} = 190 \text{ l/min}$ , iar presiunea apei la intrare în gura de vânt este  $p = 2,5 \text{ bar}$ .

## 2.3 Calculul și proiectarea dimensională a 3 modele de guri de vânt.

Cauzele durabilității mici a gurilor de vânt actuale sunt :

- Imposibilitatea tehnologică de dezbatere completă a gurii de vânt după turnare ceea ce duce la prezența nisipului în miez în cavitatea de răcire, reducându-se mult posibilitățile de răcire a cavității frontale a gurii de vânt.

- Grosimea insuficientă a peretelui frontal ceea ce determină scoaterea din funcțiune prin uzură abrazivă de către colana de materiale a gurii de vânt.

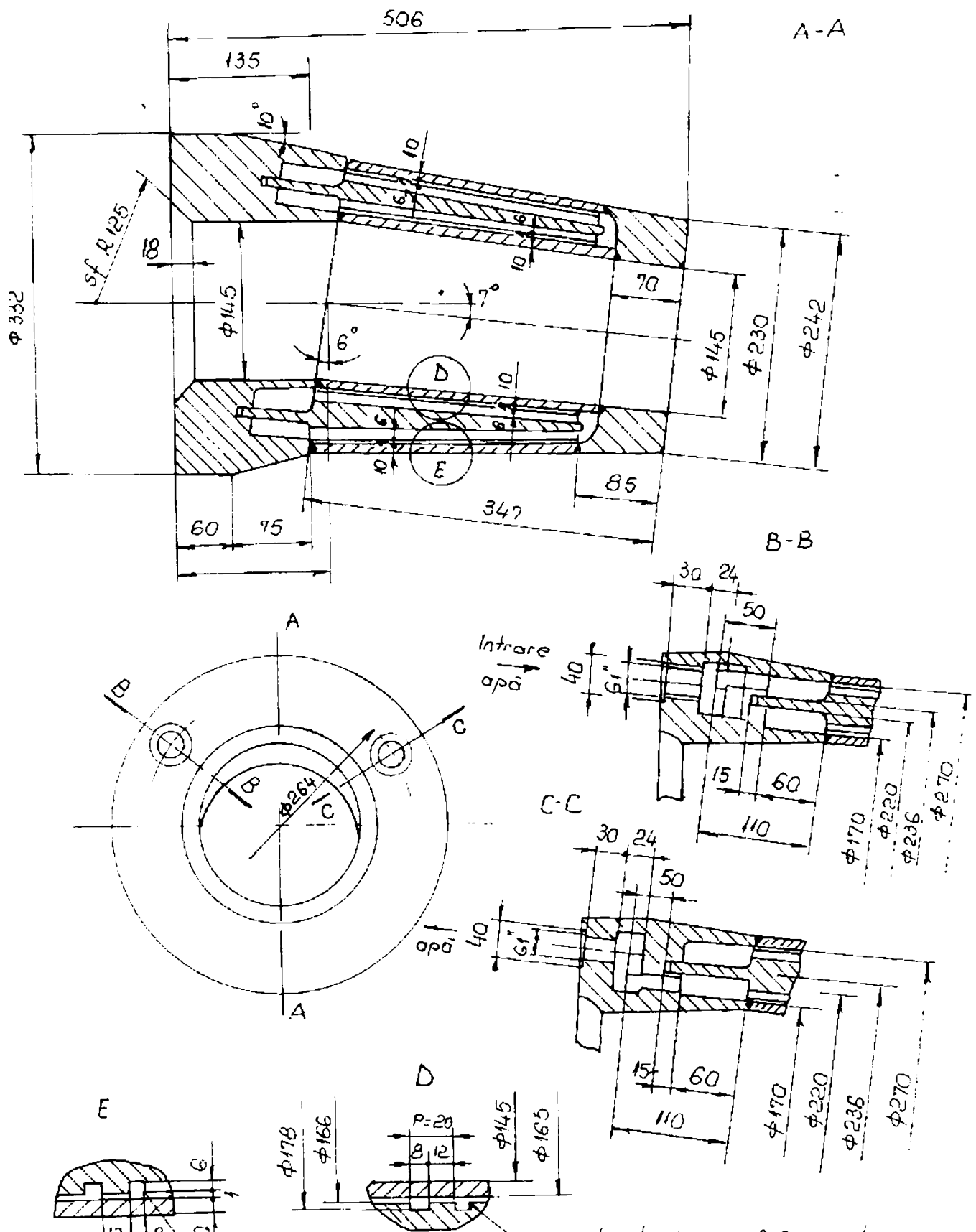
- Nefolosirea nici unui sistem de acoperire de protecție a gurii de vânt, condiție care tehnologic nu poate fi realizată.

- Nu se folosesc instalații de ridicare a presiunii apei pentru creșterea vitezei de circulație a acesteia.

Pentru aceasta s-au realizat și sunt în curs de experimentare 3 variante de guri de vânt a căror proiectare a urmărit creșterea intensității de răcire prin reconsiderare geometrică și tehnologică a execuției.

Varianta 1. – Gură de vânt din cupru, construcție sudată, având forma exterioară identică cu a gurii de vânt turnate care se folosește în prezent la furnalul de 1000 m<sup>3</sup> ( vezi figura 26 ).

În corpul acestei guri de vânt există o spirală dublă prin care apa circulă cu viteză mare. Aceste guri de vânt vor funcționa cu pierderi mici de presiune și fără consum prea mare de apă de răcire. În interiorul gurii de vânt apa de răcire trece prin niște canale executate după o spirală. Lungimea totală a canalelor este de circa 4 m ,consumul de apă de 190 l/min, viteza de circulație a apei prin canale va fi de peste 3 m/s. Se estimează o creștere a durabilității în funcționare de circa 2 ori.



Filet exterior cu 8 începuturi cu pas 8x20 mm dreapta  
 gurub interior cu 8 începuturi cu pas 8x20 mm stânga  
 Fig. 26. Gură de vânt varianta 1

INSTRUMENTARI SA  
 TRUCIAREA  
 Bucuresti

La un debit al apei de răcire de 190 l/min, viteza de circulație a apei în interiorul gurii de vânt va fi:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,190}{8 * 0,008 \left( \frac{0,178 - 0,168}{2} \right)} = 456,73 \text{ m / min} = 7,612 \text{ m / s}$$

Valoarea criteriului Re va fi :

$$Re = \frac{V * dh}{\nu} = \frac{7,612 * 0,007172}{0,365 * 10^{-6}} = 149578 \geq 10^4$$

$$\text{unde : } dh = \frac{4 * S}{Pu} = \frac{4 * 0,008 \left( \frac{0,178 - 0,165}{2} \right)}{2 * \left[ 0,008 + \left( \frac{0,178 - 0,165}{2} \right) \right]} = 0,007172 \text{ m}$$

Deoarece  $Re > 10^4$  curgerea este turbulentă  $\Rightarrow$  voi folosi pentru calculul coeficientului de convecție ecuația criterială a lui Mihaev :

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0,25} * \epsilon l$$

Unde:  $Pr_p = 2,263$  la  $92^\circ\text{C}$

$$Pr = 2,23$$

Pentru  $l/d > 50$ ,  $\epsilon l = 1$

$$Nu = \frac{\alpha * dh}{\lambda} = 0,021 * 149578^{0,8} * 2,23^{0,43} * \left( \frac{2,23}{2,263} \right)^{0,25} * 1 = 407,65$$

$$\Rightarrow \alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = 407,65 * \frac{0,669}{0,007172} = 38036,34 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire de la peretele gurii de vânt la o viteză a apei de 7,612 m/s va fi :

$$q = \alpha ( T_p - T_{fl} )$$

$$q = 38036,34 ( 92 - 20 ) = 2738 * 10^3 \text{ W/m}^2.$$

$$q = 2738 * 10^3 \text{ W/m}^2 > 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că fluxul termic unitar ce poate fi preluat este mai mare decât fluxul termic unitar total cedat gurii de vânt.

La vârful gurii de vânt, viteza apei se reduce cu 0,6 din valoarea inițială, în ipoteza jetului înecat :

Cum

$$V_i = 7,612 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$V = 0,6 * V_i = 0,6 * 7,612 = 4,567 \text{ m/s}$$

Valoarea criteriului Re va fi :

$$Re = \frac{V * dh}{\nu} = \frac{4,567 * 0,007172}{0,365 * 10^{-6}} = 89738,422 \geq 10^4$$

Deoarece  $Re > 10^4$  curgerea este turbulentă  $\Rightarrow$  voi folosi ecuația criterială a lui Mihaev pentru calculul coeficientului de convecție  $\alpha$ .

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0,25} * \epsilon l$$

Unde:

$$Pr = 2,23$$

$$Pr_p = 2,263$$

$$\text{Pentru } d/l = 1 \quad \epsilon l = 1,51$$

$$Nu = 0,021 * 89738^{0,8} * 2,23^{0,43} * \left( \frac{2,23}{2,263} \right)^{0,25} * 1,51 = 311,51$$

$$\Rightarrow \alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = 311,51 * \frac{0,669}{0,007172} = 29057 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire la partea frontală a gurii de vânt va fi :

$$Q = \alpha ( T_p - T_{fl} ) = 29057 ( 92 - 30 ) = 1801,5 * 10^3 \text{ W/m}^2 > 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că și la partea frontală a gurii de vânt fluxul termic unitar ce poate fi preluat este mai mare decât fluxul termic unitar total cedat gurii de vânt.

Dezavantajul acestei guri de vânt este faptul că, pe partea interioară a gurii de vânt, fluxul termic unitar ce poate fi preluat este mult mai mare decât fluxul termic unitar cedat gurii de vânt de aerul cald (  $2738 * 10^3 \text{ W/m}^2$   $305 * 10^3 \text{ W/m}^2$  ) Acest dezavantaj poate fi însă remediat ușor prin mărirea secțiunii de curgere a fluidului prin canalele spirale, măbind lățimea canalelor, pe partea interioară a gurii de vânt, de la 8mm la 16mm.

Varianta 2, - Gură de vânt din Cu, construcție similară cu varianta 1. cu deosebirea că distribuitorul este înlocuit cu o cameră inelară de unde printr-o rețea de conducte spirale apa este adusă și distribuită tangențial în partea frontală a gurii de vânt ( vezi figura 27 )

Partea frontală a gurii de vânt este despărțită de cavitatea centrală printr-un ine în care sunt practicate echidistant degajările necesare pentru montarea prin sudură a conductelor de aducțiune a apei de răcire și pentru evacuarea acesteia. După ce răcește partea frontală, apa circulă liber prin cavitatea acesteia și este evacuată la rețea.

Racordurile pentru introducerea și evacuarea apei de răcire sunt executate în partea superioară a zonei din spate a gurii de vânt decalate

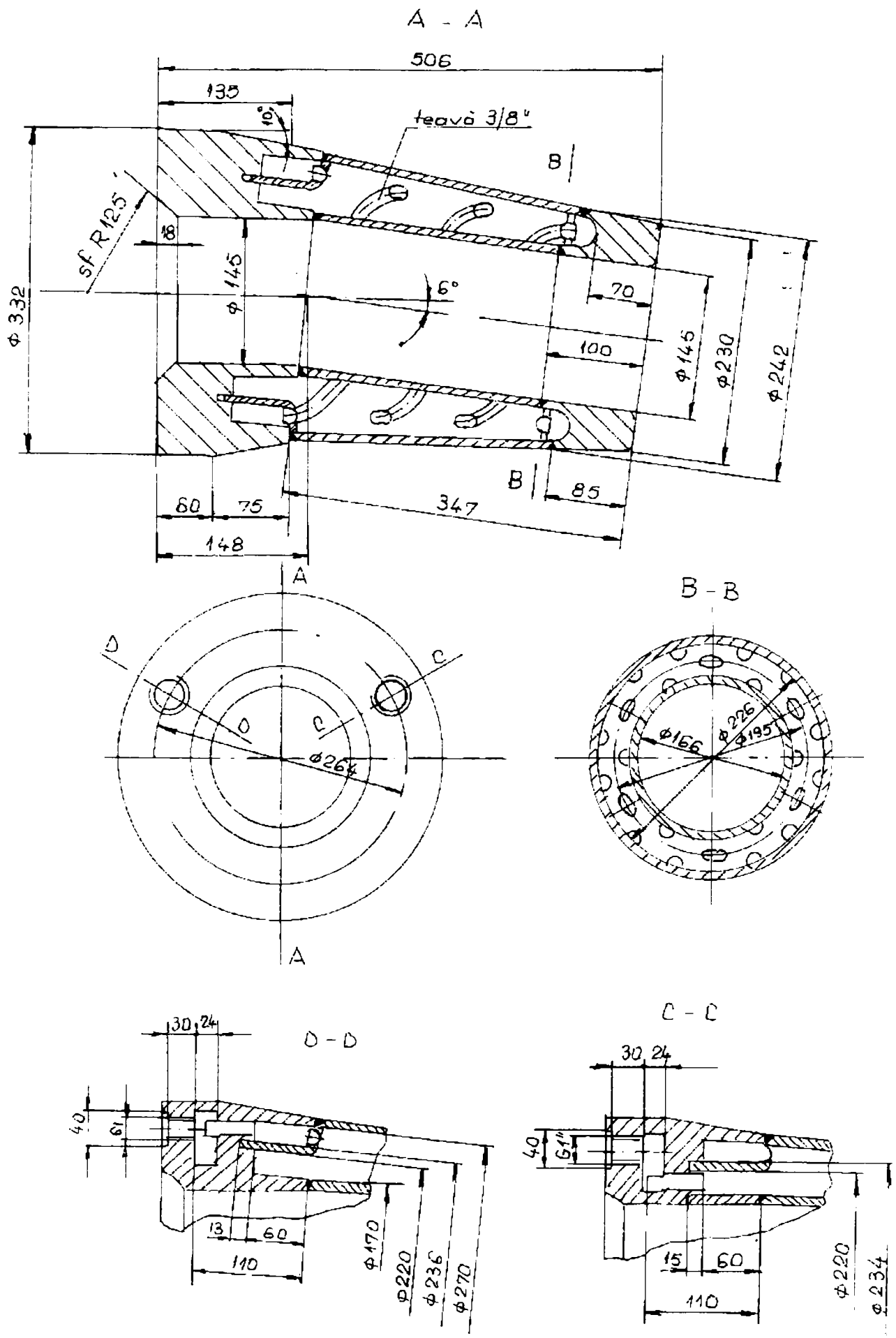


Fig. 21. Gură de vint varianta 2.



între ele cu  $120^\circ$ . Pentru stingerea șocurilor termice și pentru a rezista la uzura prin abraziune partea din față a gurii de vânt are o grosime de 70 mm.

La vârful gurii de vânt, prin cele 6 conducte spirale este distribuit tangențial un debit de apă de răcire :

$$Q_1 = \frac{Q}{6} = \frac{0,190}{6} = 0,031666 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Viteza de curgere a apei în partea frontală a gurii de vânt va fi :

$$V = \frac{Q_1}{S} = \frac{0,031666}{\frac{1}{2} * \frac{\pi * 0,03^2}{4}} = 89,569 \text{ m} / \text{min} = 1,493 \text{ m} / \text{s}$$

Valoarea criteriului Reynolds va fi :

$$Re = \frac{V * dh}{\nu} = \frac{1,493 * 0,018}{0,365 * 10^{-6}} = 73627,397 \geq 10^4$$

$$\text{Unde } dh = \frac{4 * S}{Pu} = \frac{4 * \left( \frac{1}{2} * \frac{\pi * 0,03^2}{4} \right)}{\frac{1}{2} * \pi * 0,03 + 0,03} = 0,018 \text{ m}$$

Deoarece  $Re > 10^4$  curgerea este turbulentă  $\Rightarrow$  Voi folosi ecuația criterială a lui Mihaev pentru calculul coeficientului de convecție.

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0,25} * \epsilon l$$

Unde:  $Pr = 2,23$

$Pr_p = 2,263$  la  $92^\circ \text{C}$

Pentru  $l/d = 5$  ;  $\epsilon l = 1,18$ .

$$Nu = 0,021 * 73627,397^{0,8} * 2,23^{0,43} * \left( \frac{2,23}{2,263} \right)^{0,25} * 1,18 = 472,84$$

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = 472,84 * \frac{0,669}{0,018} = 17573 \text{ W / m}^2$$

Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire la partea frontală a gurii de vânt este :

$$q = \alpha ( T_p - T_{fl} ) = 17573 ( 92 - 20 ) = 1265 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

$$q = 1265 * 10^3 \text{ W/m}^2 > 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că fluxul termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire la vârful gurii de vânt este mai mare decât fluxul termic unitar total cedat gurii de vânt prin convecție și radiație.

La ieșirea din partea frontală a gurii de vânt apa de răcire circulă prin corpul gurii de vânt cu viteza:

$$V = \frac{Q}{S_l} = \frac{0,190}{\frac{\pi}{4} (0,226^2 - 0,166^2) - \frac{\pi}{4} (0,21^2 - 0,18^2)} = 20,474 \text{ m / min} = 0,34 \text{ m / s}$$

Valoarea criteriului Re calculat cu diametrul hidraulic dh este :

$$Re = \frac{0,341 * 0,0301}{0,365 * 10^{-6}} = 28120,822 \geq 10^4$$

$$dh = \frac{4 * \left[ \frac{\pi}{4} (0,226^2 - 0,166^2) - \frac{\pi}{4} (0,21^2 - 0,18^2) \right]}{\pi (0,226 + 0,166)} = 0,0301 \text{ m}$$

Deoarece  $Re > 10^4$  curgerea este turbulentă. În acest caz, pentru calculul coeficientului de convecție voi folosi ecuația criterială a lui Mihaev

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0,25} * \varepsilon l$$

Unde: la 92 °C                      Pr<sub>p</sub> = 2,263

Pentru l/d = 2                      ε l = 1,4

$$Nu = 0,021 * 28120,822^{0,8} * 2,23^{0,43} * \left( \frac{2,23}{2,263} \right)^{0,25} * 1,4 = 249,88$$

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = 249,88 * \frac{0,669}{0,0301} = 5553,81 W / m^2 K$$

Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire la o viteză de 0,3 – 1,4 m/s va fi :

$$q = 5553,81 ( 92 - 30 ) = 344 * 10^3 W/m^2$$

$$q = 344 * 10^3 W/m^2 > 305 * 10^3 W/m^2$$

Se observă că fluxul termic unitar ce poate fi preluat în corpul gurii de vânt este mai mare decât fluxul termic unitar cedat prin convecție forțată de aerul insuflat.

Fluxul termic transferat gurii de vânt nu este uniform pe toată suprafața gurii de vânt; el este maxim pe partea frontală a gurii de vânt ( vezi figura 11 ) ,are o valoare mult mai mică la partea interioară a gurii de vânt pe unde se suflă aerul cald și esre minim la partea exterioară a gurii de vânt protejată de zidăria refractară. La gura de vânt analizată fluxul termic ce poate fi preluat de apa de răcire este în orice secțiune peste fluxul termic unitar cedat gurii de vânt.

Deoarece realizarea camerei inelare de distribuire a apei în conducte spirale este dificilă, în varianta 3 ( vezi figura 28 ) s-a realizat o cameră de distribuire în formă de potcoavă de unde apa este distribuită prin conducte în camera anterioară a gurii de vânt



După ce răcește cavitatea frontală a gurii de vânt, apa trece în cavitatea centrală de unde este evacuată în circuitul de răcire.

Debitul de fluid adus de cele 6 conducte în porțiunea frontală a gurii de vânt, se distribuie uniform, rezultând în secțiunile de curgere a apei formate un debit de apă de răcire:

$$\underline{Q}_2 = \frac{Q}{6} = \frac{0,190}{6} = 0,031666 \quad m^3 / min$$

Viteza de curgere a apei în partea frontală a gurii de vânt va fi:

$$V = \frac{Q_2}{S} = \frac{0,031666}{\frac{1}{2} * \frac{\pi * 0,03^2}{4}} = 89,596 \quad m / min = 1,493 \quad m / s$$

Valoarea criteriului Re va fi :

$$Re = \frac{V * dh}{\nu} = \frac{1,493 * 0,018}{0,365 * 10^{-6}} = 63627,397 \geq 10^4$$

$$Unde, dh = \frac{4 \left( \frac{1}{2} * \frac{\pi * 0,03^2}{4} \right)}{\frac{1}{2} * \pi * 0,03 + 0,03} = 0,018$$

Deoarece  $Re > 10^4$  curgerea este turbulentă  $\Rightarrow$  Voi folosi pentru calculul coeficientului de convecție ecuația criterială a lui Mihaev :

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0,25} * \epsilon l$$

Unde:  $Pr = 2,23$

$Pr_p = 2,263$  la  $92^\circ C$

Pentru  $l/d = 5$   $\epsilon = 1,18$ .

Cu acestea vom avea :

$$Nu = 0,021 * 73627,397^{0,8} * 2,23^{0,43} * \left( \frac{2,23}{2,263} \right)^{0,23} * 1,18 = 472,84$$

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = 427,8 * \frac{0,669}{0,018} = 17573 \text{ W/m}^2$$

Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire la partea frontală a gurii de vânt este :

$$Q = \alpha (T_p - T_{fl}) = 17573(92 - 20) = 1265 * 10^3 \text{ W/m}^2 > 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că fluxul termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire la vârful gurii de vânt este mai mare decât fluxul termic unitar total maxim cedat gurii de vânt.

La ieșire din partea frontală a gurii de vânt, apa de răcire circulă prin corpul gurii de vânt cu viteza :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,190}{\frac{\pi}{4} (0,226^2 - 0,166^2) - \frac{\pi}{8} (0,21^2 - 0,18^2)} = 0,228 \text{ m/s}$$

Valoarea criteriului Reynolds va fi :

$$Re = \frac{0,228 * 0,045}{0,365 * 10^{-4}} = 28109 \geq 10^4$$

$$\text{Unde } dh = \frac{4 * \left[ \frac{\pi}{4} (0,226^2 - 0,166^2) - \frac{\pi}{8} (0,21^2 - 0,18^2) \right]}{\pi (0,226 + 0,166)} = 0,045 \text{ m}$$

Deoarece  $Re > 10^4$  coeficientul de convecție se va calcula cu ecuația criterială a lui Mihaev :

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0,25} * \epsilon_l$$

Unde pentru  $l/d = 2$        $\varepsilon l = 1,4$ .

$$Nu = 0,021 * 28109,589^{0,8} * 2,23^{0,43} * \left( \frac{2,23}{2,263} \right)^{0,25} * 1,4 = 341,83$$

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = 341,83 * \frac{0,669}{0,045} = 5081 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Fluxul termic unitar preluat va fi, la o temperatură inițială a apei de răcire de 40 °C :

$$q = 5081 ( 92 - 30 ) = 315 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

$$q = 315 * 10^3 \text{ W/m}^2 > 305 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că fluxul termic unitar preluat în corpul gurii de vânt este identic cu cel ce poate fi preluat la gura de vânt varianta 2 și este mai mare decât fluxul termic unitar cedat prin convecție forțată de la aerul comprimat .

Fluxul termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire, în diverse secțiuni ale gurii de vânt varianta 3, este mai mare decât fluxul termic unitar cedat gurii de vânt

Varianta numărul 1 de gură de vânt este deja executată și se află în curs de experimentare pe furnal cu înregistrarea debitului și presiunii apei de răcire precum și a temperaturii apei la intrare și ieșire din circuitul de răcire al gurii de vânt .

## 2.4 Compararea soluțiilor realizate cu cele oferite de literatură.

În prezent, la furnalele de 1000 m<sup>3</sup> din cadrul uzinei numărul 2 a S. C. Siderurgica S. A. Hunedoara se folosesc guri de vânt turnate din aliaj de cupru având minim 98 % Cu ,maxim 1,3 % Sn și maxim 0,7 % Fe, de construcție turnată, ( vezi figura 29 )





O astfel de gură de vânt este prezentată în figura 29. Grosimea pereților gurii este de 13 mm având o zonă îngroșată ( 60 mm ) în partea din spate unde se află racordul gurii de vânt la rama răcită a gurii de vânt și la tubul de insuflare a aerului și altă zonă îngroșată în partea din față ( 20 mm ) pentru a rezista la uzura abrazivă a circulației cocsului, Racordurile pentru introducerea și evacuarea apei de răcire sunt executate în partea superioară a zonei din spate a gurii de vânt fiind decalate între ele cu 120 °.

La un debit de apă de răcire de 190 l/min, viteza de circulație a apei în corpul gurii de vânt va fi:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,190}{\frac{\pi}{4} (0,236^2 - 0,171^2)} = 9,144 \text{ m} / \text{min} = 0,152 \text{ m} / \text{s}$$

Apa de răcire preia de la peretele gurii de vânt un flux termic unitar :

$$q = \alpha ( T_p - T_f ) .$$

Valoarea criteriului Reynolds calculat cu diametrul hidraulic al gurii de vânt  $d_h$  este :

$$Re = \frac{V * d_h}{\nu} = \frac{0,152 * 0,065}{0,365 * 10^{-6}} = 27068 > 10^4, \text{ unde}$$

$$d_h = \frac{4S}{Pu} = \frac{4 * \frac{\pi}{4} * (0,236^2 - 0,171^2)}{\pi * (0,236 + 0,171)} = 0,065 \text{ m}$$

Deoarece  $Re > 10^4$  curgerea este turbulentă. În acest caz pentru calculul coeficientului de convecție voi folosi ecuația criterială a lui Mihaev,

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left( \frac{Pr}{Pr_p} \right)^{0,25} * \epsilon /$$

Unde la 92 ° C  $Pr_p = 2,263$

Pentru  $l/d = 2$   $\epsilon l = 1,4$

- 89 -

Cu aceasta se obține :

$$Nu = 0.021 * 27068^{0.8} * 2,23^{0.43} * \left( \frac{2,23}{2,263} \right)^{0.25} * 1,4^1 = 244,213$$

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = 244,213 * \frac{0,669}{0,065} = 2513 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire de la gurile de vânt la o viteză de 0,152 m/s va fi :

$$q = 2513 ( 92 - 20 ) = 108 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

Se observă că fluxul termic unitar preluat este mai mic decât fluxul termic unitar cedat prin convecție de la aerul cald

$$q = 108 * 10^3 \text{ W/m}^2 < 305 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

În acelaș timp, la vârful gurii de vânt fluxul termic unitar ce poate fi preluat este mai mic decât fluxul termic unitar total cedat gurii de vânt.

$$q = 108 * 10^3 \text{ W/m}^2 > 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2.$$

În aceste condiții, în exploatare aceste guri de vânt prezintă dezavantajul unei răciri necorespunzătoare a părții frontale care determină, în condițiile creșterii temperaturii în zona de ardere, posibilitatea arderii gurii de vânt.

Din cele prezentate rezultă că la viteze sub 1,4 m/s, fluxul termic unitar total cedat gurii de vânt se apropie periculos de mult de fluxul termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire și gurile de vânt se pot arde chiar dacă temperatura fontei nu depășește 1250 °C.

În acest sens este interesant de urmărit evoluția vitezei de circulație a apei în corpul gurii de vânt la gurile de vânt ce echipează furnalele din străinătate ( vezi figurile 15, 16, 18, 19 și tabelul 10 ).

Se observă o creștere a vitezei de circulație a apei îndeosebi în partea frontală a gurii de vânt până la viteze de 15 – 16 m/s iar viteza de circulație a apei în corpul gurii de vânt crește de la 0,1 la 1,5 m/s.

Tabelul 10 Viteza apei de răcire la gurile de vânt

Tipul gurii de vânt	Viteza apei la vârf. [ m/s ]	Viteza apei în corp. [ m/s ]
Gură de vânt de construcție Zaparoj Stali ( figura 15 )	4 - 5	0,1 - 0,3
Gură de vânt cu 2 camere ( figura 16 )	2,5	0,15
Gură de vânt Saar Metalwerke ( Germania ) figura 18	3	—
Gură de vânt Treeland Stal ( S. U. A. )	3,05	—
Gură de vânt Tukiama Jilnia ( Japonia ) figura 19	4,5 - 16	1,5

Dacă reprezentăm flutul termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire la diferite viteze de circulație a apei în corpul gurii de vânt se observă creșterea densității fluxului termic preluat la creșterea vitezei apei de răcire; astfel tendința de creștere a vitezei de circulație a apei în corpul gurii de vânt este pe deplin justificată ( vezi figura 30).

Dacă la gura de vânt standard  $\varnothing 145$  la o viteză de circulație a apei de 0,152 m/s se obține o densitate a fluxului termic preluat de apa de răcire de  $1068 * 10^3 \text{ W/m}^2$ , mai mică decât densitatea fluxului termic total cedat la vârful gurii de vânt  $q = 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$ , la gurile de vânt varianta 3, 2 și 1 densitatea fluxului termic ce poate fi preluat de apa de răcire crește la  $2347 * 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 3, la  $5663 * 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 2 și la  $19470 * 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 1, fiind în toate cazurile mai mare decât densitatea fluxului termic cedat gurii de vânt.

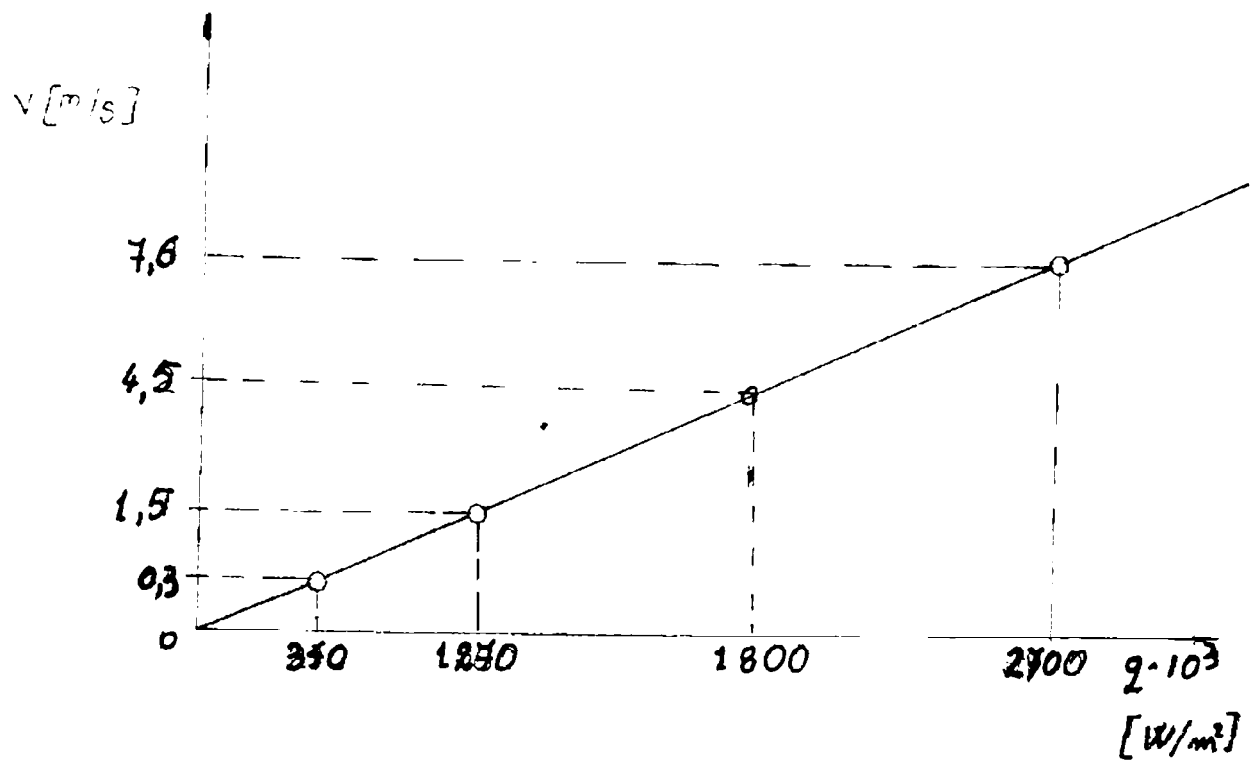


Figura 30 – Variația fluxului termic unitar cu viteza de circulație a apei

De asemenea viteza de circulație a apei crește de la 0,404 m/s la gura de vânt varianta 3, la peste 3 m/s la gura de vânt varianta 1, înscriindu-se în tendința generală de creștere a vitezei de circulație a apei în corpul gurii de vânt observate pe plan mondial ( vezi tabelul 11 )

Tabelul 11

Tipul gurii de vânt	Viteza apei la vârf [ m/s ]	Viteza apei în corp [ m/s ]
Gură de vânt $\varnothing 145$	0,152	0,152
Gură de vânt varianta 3	1,493	0,228
Gură de vânt varianta 2	1,493	0,341
Gură de vânt varianta 1	4,567	7,612

## 2.5 Concluzii

În condițiile reale de funcționare a furnalului densitatea fluxului termic ce acționează asupra gurii de vânt este ilustrată în figura 31.

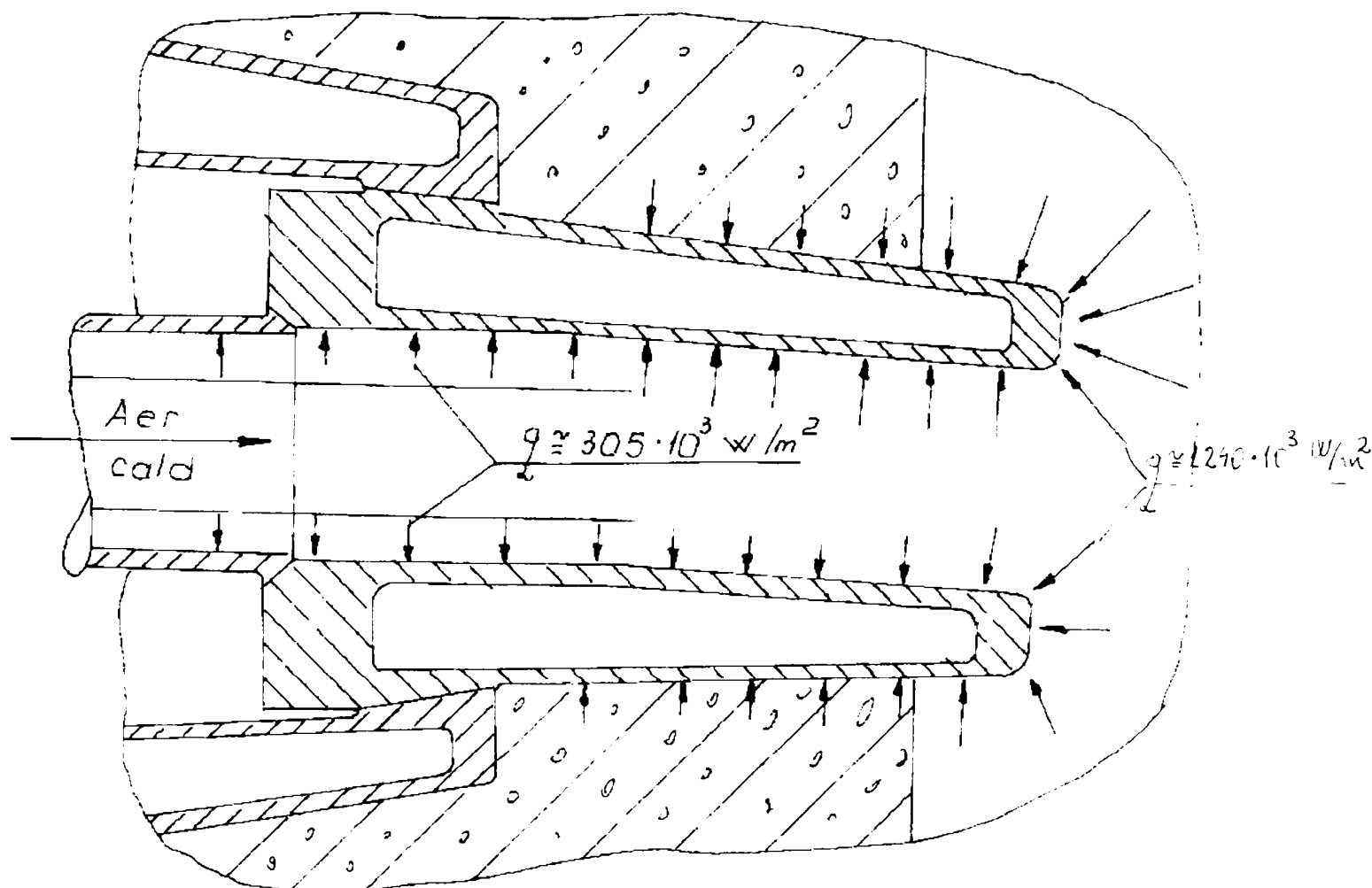


Figura 31 – Densitatea fluxului termic ce acționează asupra gurii de vânt

Se observă că fluxul termic unitar ce acționează asupra gurii de vânt este constant în partea de insuflare a aerului, atinge un maxim în partea frontală a gurii de vânt și descrește foarte mult ajungând aproape neglijabil în partea gurii de vânt protejată de zidăria refractară.

Densitatea fluxului termic e maximă deci în partea frontală a gurii de vânt atingând în mod obișnuit  $q_{MAX} = 1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$  iar excepțional poate atinge valori de  $1670 * 10^3 \text{ W/m}^2$

Această densitate a fluxului termic este preluată de apa de răcire prin peretele gurii de vânt iar această răcire trebuie să fie eficientă. Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire de la peretele gurii de vânt a fost calculat cu relația:

$$q = \alpha (T_p - T_{fl})$$

Unde coeficientul de convecție  $\alpha$  este calculat cu ecuația criterială :

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = C * Re^m * Pr^n * \frac{\lambda}{dh}$$

$$Re = \frac{V * dh}{\nu}$$

Se observă că, în ultimă instanță valoarea fluxului termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire depinde de viteza  $V$  de circulație a fluidului în corpul gurii de vânt.

Să analizăm comparativ viteza de circulație a apei de răcire în corpul gurii de vânt și densitatea fluxului termic ce poate fi preluat de aceasta pentru cele 3 modele de guri de vânt propuse ,comparativ cu gura de vânt  $\varnothing 145 \text{ mm}$  ce echipează în prezent furnalele de  $1000 \text{ m}^3$  ( vezi tabelul 12 ).

Cu ceșterea vitezei de circulație a apei în corpul gurii de vânt de la  $0,152 \text{ m/s}$  la  $7,612 \text{ m/s}$  densitatea fluxului termic ce poate fi preluat de apa de răcire a crescut de la  $108 * 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt clasică la  $2738 * 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 1

Dacă densitatea fluxului termic transmis prin convecție forțată de la aerul cald insuflat poate fi preluată de apa de răcire la toate tipurile de guri de vânt (  $q > 305 * 10^3 \text{ W/m}^2$  ) densitatea fluxului termic transmis prin radiație

și convecție la partea frontală a gurii de vânt, neprotejată de zidăria refractară este foarte mare (  $q = 1240 * 10^3 - 1670 * 10^3 \text{ W/m}^2$  ) . Ea depășește densitatea fluxului termic ce poate fi preluat de apa de răcire la gura de vânt clasică, este apropiată ca valoare de densitatea fluxului termic preluată de apa de răcire la gura de vânt varianta 3, și este mult mai mică decât densitatea fluxului termic preluat de apa de răcire la gurile de vânt varianta 1 și 2.

Tabelul 12.

Tipul gurii de vânt	Viteza apei la vârf [ m/s ]	Densitatea fluxului termic la vârf [ $\text{W/m}^2$ ]	Viteza apei în corp [ m/s ]	Densitatea fluxului termic în corp [ $\text{W/m}^2$ ]
Gură de vânt $\varnothing$ 145	0,152	$108 * 10^3$	0,152	$108 * 10^3$
Gură de vânt varianta 3	1,493	$1265 * 10^3$	0,228	$315 * 10^3$
Gură de vânt varianta 2	1,493	$1265 * 10^3$	0,341	$344 * 10^3$
Gură de vânt varianta 1	4,567	$1801 * 10^3$	7,612	$2378 * 10^3$

În plus, datorită uzurii zidăriei refractare către sfârșitul campaniei de lucru a furnalului porțiunea din gura de vânt neprotejată de zidăria refractară crește. De aceea este important ca densitatea fluxului termic preluat de apa de răcire și deci viteza de circulație a apei în corpul gurii de vânt să fie cât mai mare.

Dacă peste aceste măsuri constructive se suprapune distribuirea optimă a încărcăturii atât radial cât și periferic, folosirea de minereuricu o granulație favorabilă, ușor reductibile, cu o porozitate cât mai ridicată și o

compoziție a gazului reducător favorabilă reducerilor indirecte, se obține un mers rațional și uniform al procesului de furnal și în consecință scăderea importantă al procentului de scoatere din funcționare a gurilor de vânt datorită arderii.

În plus, grosimea părții frontale a peretelui gurii de vânt a fost majorată de la 20 mm la gura de vânt clasică la 50 mm la gura de vânt varianta 3 și la 70 mm la gurile de vânt varianta 1 și 2 , urmărindu –se stingerea șocurilor termice și creșterea rezistenței gurilor de vânt la uzura abrazivă cauzată de circulația cocsului în furnal și de coborârea coloanei de materiale.

Datorită tuturor acestor considerente am ales gura de vânt varianta 1 pentru a fi executată și experimentată în condiții reale de funcționare în furnalul numărul 5 .



## CAPITOLUL 3

**Studiul și proiectarea unui sistem de măsurare și prelucrare automată a parametrilor de funcționare a furnalului pentru gurile de vânt proiectate.**

### **3.1 Stabilirea schemei funcționale.**

Pentru aprecierea funcționării gurilor de vânt este necesară, pe furnal măsurarea următorilor parametri: presiunea aerului cald, debitul de aer cald insuflat prin gurile de vânt, temperatura aerului cald insuflat, umiditatea naturală a aerului, presiunea și debitul injectat în conducta de aer cald pentru condiționarea aerului, presiunea și debitul gazului metan insuflat drept combustibil auxiliar, presiunea și debitul de oxigen insuflat pentru îmbogățirea aerului cald, presiunea și debitul aerului comprimat injectat la fiecare gură de vânt pentru corectarea temperaturii aerului cald, nivelul încărcăturii furnalului.

Cerința minimă a menținerii constante ai parametrilor de funcționare a gurilor de vânt constă în alimentarea furnalului cu aer cald la parametri constanți alături de menținerea constantă a nivelului încărcăturii. De asemenea este necesar să se măsoare și să se înregistreze: compoziția gazului de furnal, temperatura și presiunea la gâtul furnalului, căderea de presiune pe furnal, temperatura furnalului la vatră cota 6225, creuzet cota 7845 și etalaj cotele 15750, 17750, 21150 și 26500 și temperatura apei de răcire la intrarea și ieșirea din gurile de vânt pentru a cunoaște influența acestor parametri asupra mecanismului arderii gurilor de vânt.

Parametrii aerului cald insuflat prin gurile de vânt se măsoară, înregistrează și reglează independent după cum se arată în figura 32 și anume

Caracteristicile  
încălzirii

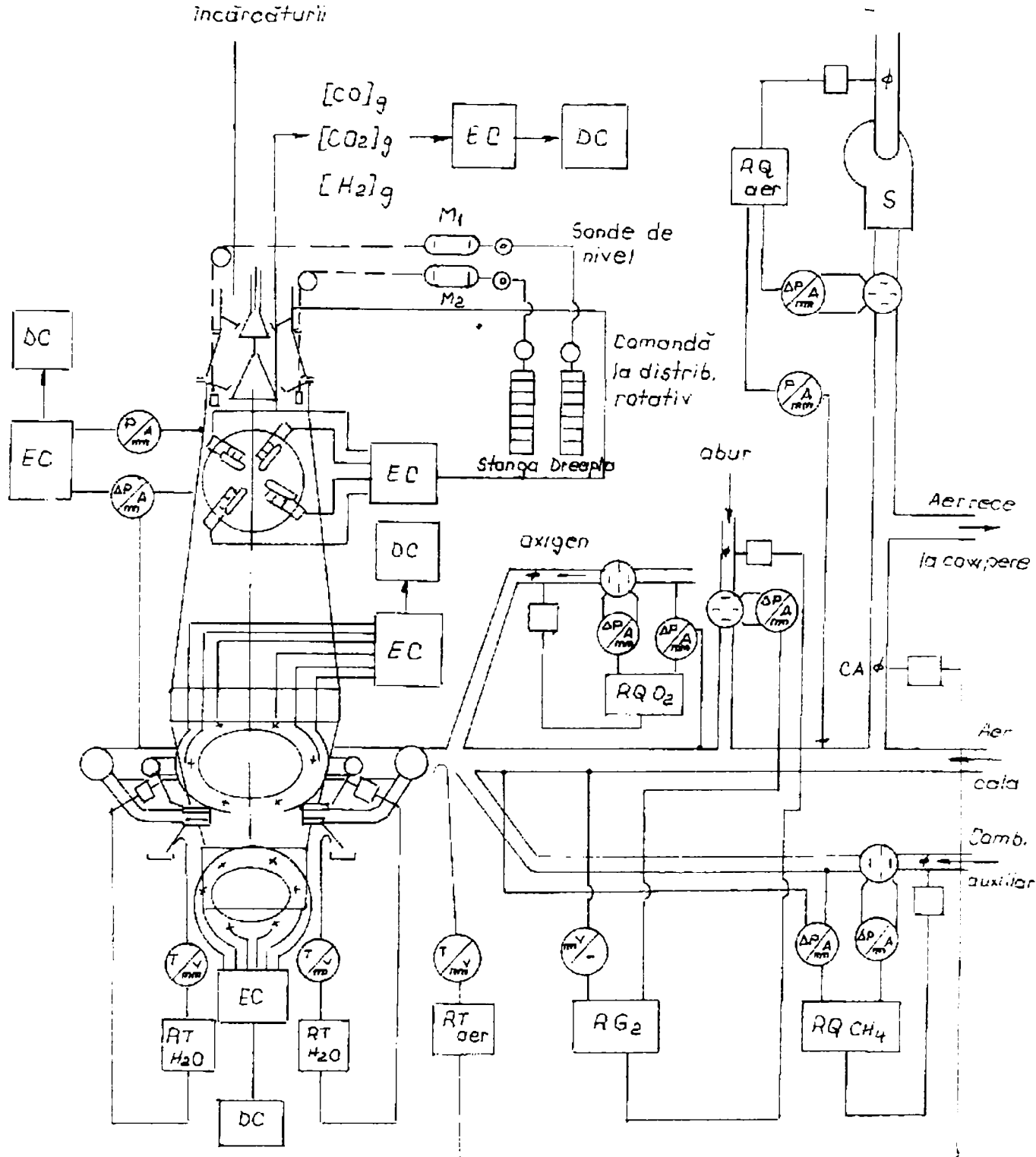


Figura 32 - Schema instalației experimentale utilizate la testarea gurilor de vânt

Debitul de aer suflat, livrat de suflanta S se menține constant cu o precizie de  $\pm 5\%$  prin reglarea vitezei de rotație a motorului de acționare sau prin strangularea secțiunii de aspirație a suflantei cu ajutorul clapei de reglare comandate de regulatorul R Q aer.

Temperatura aerului suflat se reglează cu regulatorul R T aer prin variația debitului de aer rece introdus în conducta de aer cald cu ajutorul clapei de amestec C A.

Umiditatea aereului suflat se reglează cu regulatorul R G1 prin variația debitului de aer pulverizat în conducta de aer cald.

Debitele de combustibil auxiliar se reglează cu regulatoarele R Q  $C H_4$  și R Q  $O_2$  prin strangularea conductelor respective.

Reglarea automată a nivelului încărcăturii se realizează prin măsurarea nivelului încărcăturii cu 2 nivelmetre cu sonde mecanice. Reglarea nivelului încărcăturii se face discontinuu, acestea comandând intrarea în funcțiune a instalației de încărcare când nivelul încărcăturii este minim și oprirea acesteia la nivel maxim.

Schema de reglare a distribuției încărcăturii pe periferia furnalului este formată din patru sonde în cruce conținând fiecare câte cinci termocuple care măsoară temperaturile periferice și axiale în fiecare cadran. Elementul de calcul Ec efectuează media temperaturilor periferice și axiale și stabilește abaterea :

$$\Delta T = T_a - T_p \text{ med}$$

care este folosită ca mărime de comandă pentru modificare schemei de încărcare,

Temperatura apei de răcire se reglează cu ajutorul regulatorului R T  $H_2 O$  ce acționează asupra robinetului de reglare a debitului apei de răcire introduse în gura de vânt.

## 3.2 Măsurarea parametrilor funcționali.

### 3.2.1 Măsurarea parametrilor aerului cald.

În timpul funcționării furnalului se măsoară următorii parametri ai aerului cald insuflat .

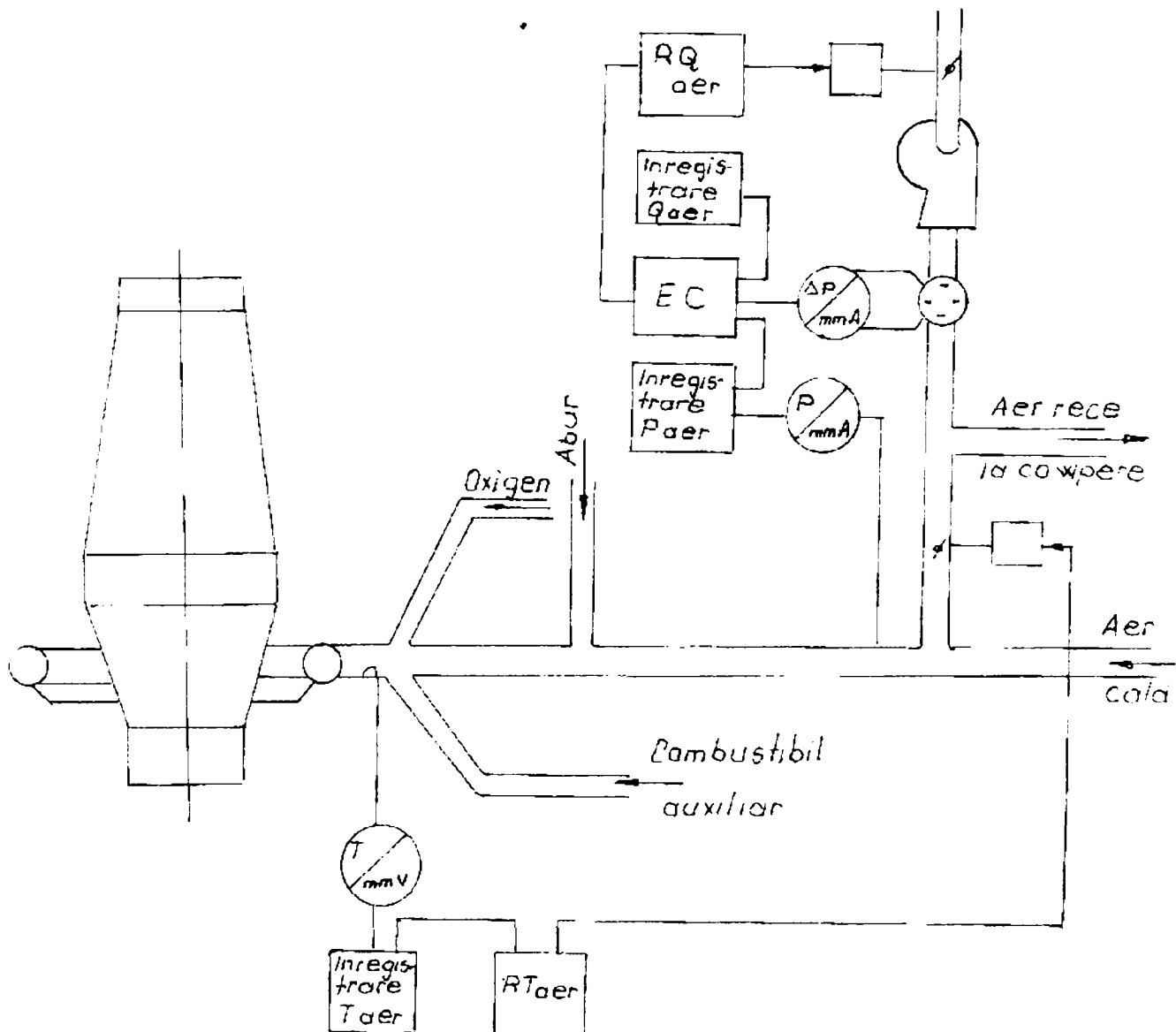


Figura 33 – Măsurarea parametrilor aerului insuflat.

Debitul de aer livrat de suflanta S se măsoară cu ajutorul unei diafragme de măsură cu priză la flanșă  $Q = 65000 \text{ m}^3 / \text{h}$  ;  $T = 30 \text{ }^\circ \text{C}$  ;  $P = 1,4 \text{ bar}$  ;  $\Delta p = 140 \text{ mm H}_2\text{O}$ , care convertește diferența de presiune într-un semnal electric cu ajutorul unui traductor electronic de presiune diferențială. Acesta este preluat de un element de calcul E C care compară de bitul de aer cu presiunea, trimite semnalul spre un aparat înregistrator și spre regulatorul RQaer care dă comanda la reglaj a clapetei de reglare a aerului aspirat de suflanta S ( vezi figura 33 ) .

Presiunea aerului cald se măsoară cu ajutorul unui traductor electronic de presiune relativă, domeniul de măsură (  $0 - 0.3 \text{ MPa}$  ) de unde semnalul electric este preluat de elementul de calcul E C și de aparatul înregistrator

Temperatura aerului cald se măsoară cu ajutorul unui piometru de radiație totală cu răcitor protector de flacără și filtru suplimentar, domeniu de măsură  $700 - 1000 \text{ }^\circ \text{C}$ , este vizualizată de un aparat înregistrator și este reglată cu regulatorul R T aer prin variația cu ajutorul clapei de amestec a debitului de aer insuflat în conducta de aer cald.

### **3.2.2 Măsurarea parametrilor combustibilului auxiliar.**

Măsurarea, vizualizarea, reglarea și înregistrarea parametrilor combustibilului auxiliar este redată în figura 34.

Debitul de gaz metan este măsurat cu ajutorul unei diafragme de măsură cu prize la flanșă  $Q = 500 \text{ m}^3 / \text{h}$  ;  $T = 15 \text{ }^\circ \text{C}$  ;  $P = 0.2 \text{ bar}$  ;  $\Delta p = 140 \text{ mm H}_2\text{O}$  ce trimite un semnal de presiune traductorului electronic de presiune di-ferențială având domeniul de măsură (  $0 - 1,4 \text{ Kpa}$  ) ,care convertește acest semnal într-un semnal electric.

Presiunea gazului metan este măsurată cu ajutorul unui traductor electronic de presiune diferențială cu domeniul de măsură (  $5 - 51 \text{ Kpa}$  )

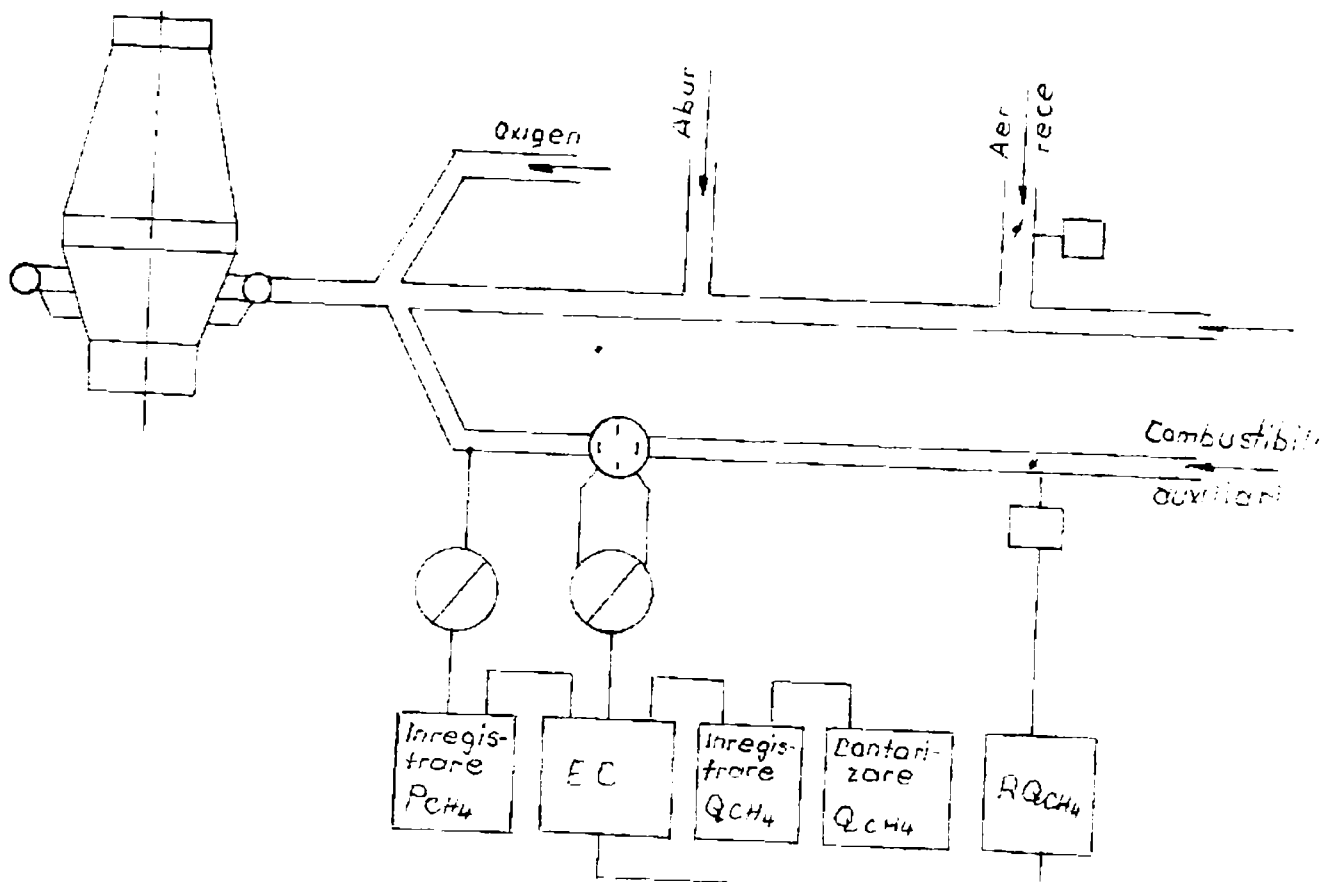


Figura 34 – măsurarea debitului de  $C H_4$

Semnalele electrice de la aparatele de măsură ale presiunii și debitului gazului metan sunt transmise elementului de calcul E C, unde se realizează compararea debitului cu presiunea, și aparatelor de înregistrare a presiunii gazului metan, de înregistrare a debitului de gaz metan insuflat și de contorizare a acestuia. De la elementul de calcul pornește un semnal către regulatorul de debit  $R Q_{C H_4}$  care dă comanda de reglare a debitului de gaz metan insuflat în funcție de temperatura aerului, temperatura teoretică de ardere, debitul de abur și de oxigen insuflate în conducta de aer cald conform relației 2 de calcul a temperaturii teoretice de ardere.

### 3.2.3 Măsurarea parametrilor oxigenului și aburului injectate în condusta de aer cald și a aerului cald injectat la gurile de vânt.

Măsurarea parametrilor oxigenului, aburului și aerului comprimat injectate în aerul cald insuflat la gurile de vânt sunt ilustrate în figura 35.

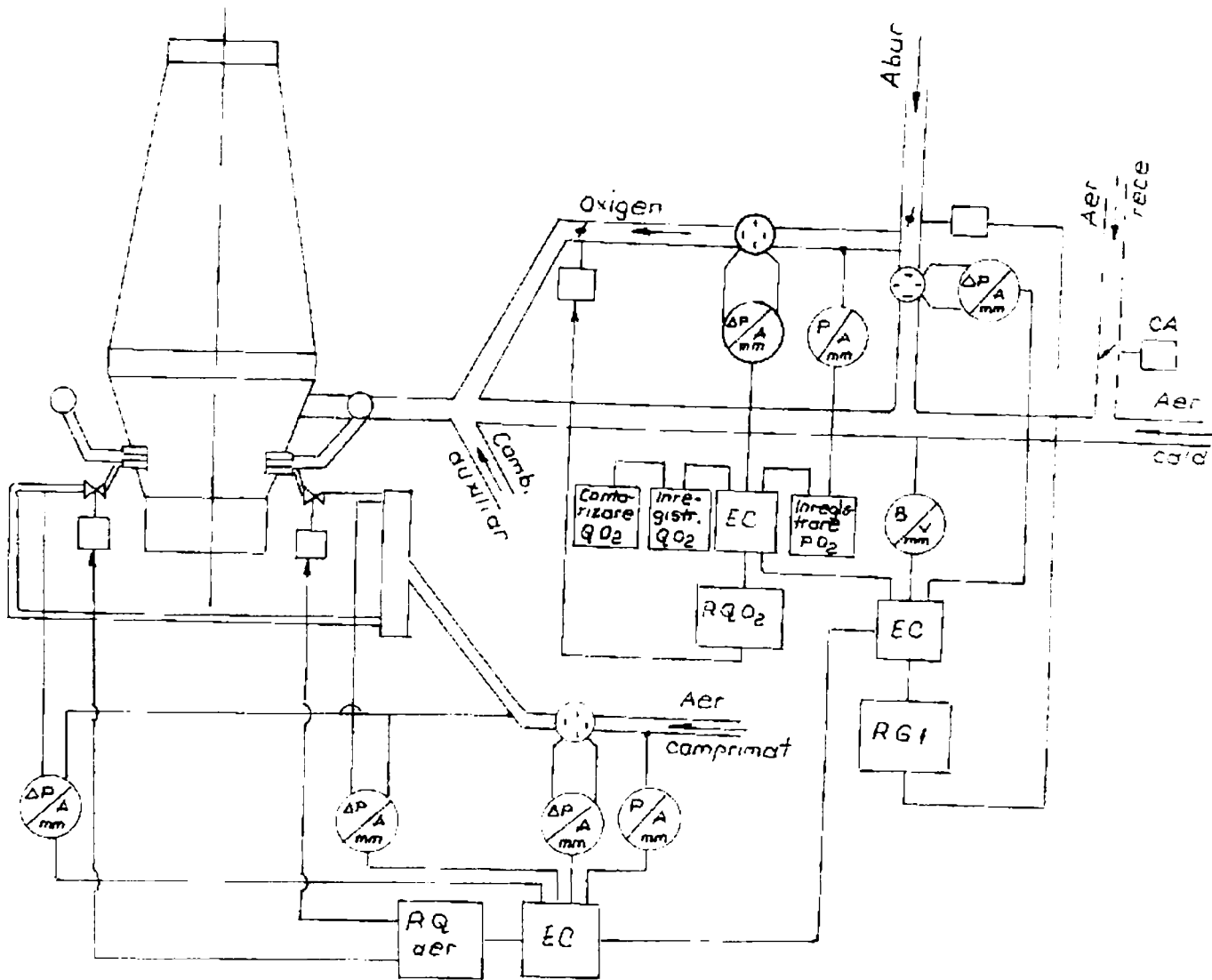


Figura 35 – Măsurare debit oxigen abur și aer comprimat.

Debitul de oxigen injectat în conducta de aer cald se măsoară cu o diafragmă de măsură cu prize la flanșă  $Q = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$  ;  $T = 20^\circ \text{C}$  ;  $P = 10 \text{ bar}$  ;  $\Delta p = 400 \text{ mm H}_2\text{O}$ . Semnalul de presiune det de diafragmă este convertit într-un semnal electric cu ajutorul unui traductor electronic de presiune diferențială având domeniul de măsură ( 0 – 4 Kpa ) .

Presiunea oxigenului este măsurată cu ajutorul unui traductor electronic de presiune relativă având domeniul de măsură ( 0,9 -1,1 Mpa ).

Semnalele electrice de la aparatele de măsură ale presiunii și debitului oxigenului injectat sunt transmise elementului E C unde se realizează compararea debitului cu presiunea și cu ceilalți parametri care intervin în relația de calcul a temperaturii teoretice de ardere și de unde primește un semnal electric către regulatorul de debit R Q O<sub>2</sub> care dă comanda de reglare a debitului de oxigen robinetului de reglare prevăzut cu mecanism de acționare electrică cu traductor inductiv de poziție.

Debitul de abur injectat în conducta de aer cald se măsoară cu ajutorul unei diafragme de măsură cu priză la flanșă  $Q = 5 \text{ to/h}$  ;  $P = 10 \text{ bar}$  ;  $T = 300^\circ \text{C}$  ;  $\Delta p = 108 \text{ mm col H}_2\text{O}$  și a unui traductor electronic de presiune relativă având domeniul de măsură ( 0,75 – 1,25 Mpa ).

Umiditatea naturală a aerului cald [ g/Nm<sup>3</sup> aer ) este măsurată cu ajutorul unui umidometru iar semnalele electrice de la umidometru și traductorul de presiune relativă sunt transmise la elementul de calcul E C de unde pornește un semnal electric către regulatorul R G1 ce comandă mecanismul de acționare a clapei de reglare a cantității de abur insuflat.

Măsurarea debitului de aer comprimat injectat pe fiecare gură de vânt cu rolul de reglare a temperaturii aerului cald se realizează indirect prin determinarea presiunii diferențiale între distribuitor și fiecare gură de vânt,  $\Delta p$

Această soluție implică montarea unor prize de presiune în zonele amintite și utilizarea de traductoare diferențiale ce preiau aceste impulsuri cu



posibilitatea să lucreze atât în regim de debit cât și în regim de presiune diferențială.

De asemenea pe conducta de aer comprimat este montată o diafragmă de măsură cu prize la flanșă  $Q = 1000 \text{ m}^3 / \text{h}$  ;  $T = 20^\circ \text{C}$  ;  $P = 5 \text{ bar}$  și un traductor electronic de presiune relativă având domeniul de măsură  $0,4 - 0,6 \text{ Mpa}$  . Semnalele electrice de la aceste aparate sunt prelucrate de elementul de calcul E C de unde pornește un semnal electric către regulatorul de debit R Q aer comprimat , care dă comanda de reglare a debitului de aer comprimat fiecărui robinet de reglare cu ventil cu scaun ce echipează fiecare conductă care alimentează câte o gură de vânt.

### **3.2.4 Măsurarea temperaturilor pe furnal.**

Măsurarea temperaturilor pe furnal este ilustrată în figura 36.

Pe furnal se măsoară temperatura pereților la vatră, cota 6225 ( în 6 puncte ) , creuzet cota 7485 ( în 6 puncte ) și etalaj cotele 15750 ( în 12 puncte ) , 21150 ( în 12 puncte ) și 26500 ( în 4 puncte ) .

De asemenea se măsoară temperatura apei de răcire la ieșire din elementii de răcire pe 7 nivele de măsură având în total 102 termocuple.

Temperatura pereților la vatra furnalului se măsoară cu termocuple normale Fier-Constantan având domeniul de măsură  $0 - 500^\circ \text{C}$  iar temperatura pereților la creuzet, cuvă și gâtul furnalului cu termocuple Cromel Alumel având domeniul de măsură  $0 - 1200^\circ \text{C}$ .

Această multitudine de puncte de măsură a temperaturii permite aprecierea corectă a regimului termic al furnalului și corectarea lui prin modificarea schemei de încărcare, reglarea parametrilor aerului insuflat etc. astfel încât să se obțină un regim termic stabil deci o solicitare termică uniformă pentru toate cele 17 guri de vânt.

Cele 20 de termocuple amplasate în sondele de temperatură în cruce la cota + 29104 permite să se efectueze reglarea distribuției încărcăturii pe secțiunea furnalului prin compararea valorii maxime măsurate cu valoarea medie a temperaturii pentru fiecare cadran

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_{\text{med}}$$

și cu temperatura de referință

$$\Delta T = \Delta T_g - \Delta T_{\max}.$$

Dacă într-un cadran se menține abaterea  $\Delta T$  se dă impuls dispozitivului de comandă D C a distribuitorului rotativ variindu-se unghiul de rotație al acestuia în sensul corectării distribuției. De asemenea elementul de calcul E C efectuează media temperaturilor axiale și periferice măsurate de sondele în cruce și stabilește abaterea

$$\Delta T = T_{a \text{ med}} - T_{p \text{ med}}$$

care este folosită ca mărime de comandă pentru modificarea schemei de încărcare.

Dacă temperatura apei de răcire la intrarea în gurile de vânt poate fi considerată constantă fiind menținută în jurul valorii de  $20^\circ \text{C}$ , la ieșirea din gurile de vânt temperatura apei de răcire măsurată cu ajutorul unor termocuple normale Fier-Constantan, având domeniul de măsură  $0 - 100^\circ \text{C}$ , amplasate înainte de evacuarea apei la pâlnia de scurgere oferă informații importante privitoare la fluxul termic global transferat la fiecare gură de vânt.

Înregistrarea în paralel a temperaturii apei la ieșirea din gurile de vânt, pentru toate cele 17 guri de vânt ale furnalului și trasarea lor pe o diagramă permite evaluarea uniformității temperaturii materialelor ce coboară în vatra furnalului și deci a condițiilor de drenaj ale zgurii și fontei de sub partea inferioară a gurilor de vânt.

Temperatura apei de răcire se reglează cu ajutorul regulatorului de debit  $R Q_{\text{H}_2\text{O}}$  ce acționează asupra robinetului de reglare a debitului apei de răcire introduse în gura de vânt.

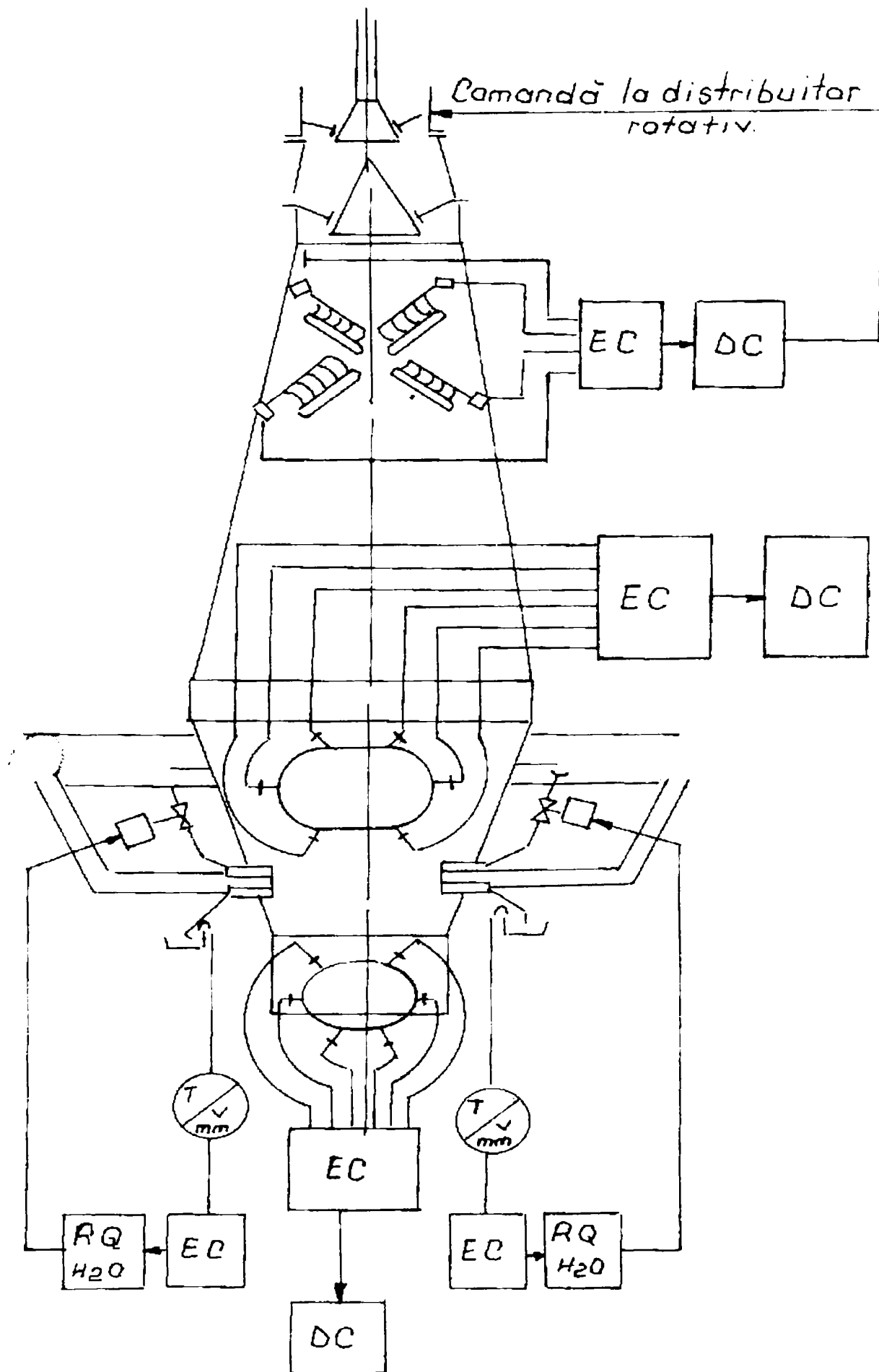


Figura – 36 Măsurarea temperaturilor pe furnal.

### 3.2.5 Măsurarea presiunilor pe furnal

Măsurarea presiunii la gâtul furnalului și a căderii de presiune pe înălțimea furnalului permite aprecierea regimului de coborâre a încărcăturii.

Căderea de presiune este influențată de agățările încărcăturii care apar în cazul circulației gazelor reducătoare prin coșuri și în cazul stării termice instabile ale furnalului cauzând instabilitatea acestuia, de mersul periferic al furnalului și agățările inferioare ale încărcăturii care conduc la micșorarea căderii de presiune în partea superioară a furnalului și mărirea căderilor de presiune în partea inferioară a furnalului.

Măsurarea presiunilor pe furnal este reprezentată în figura 37.

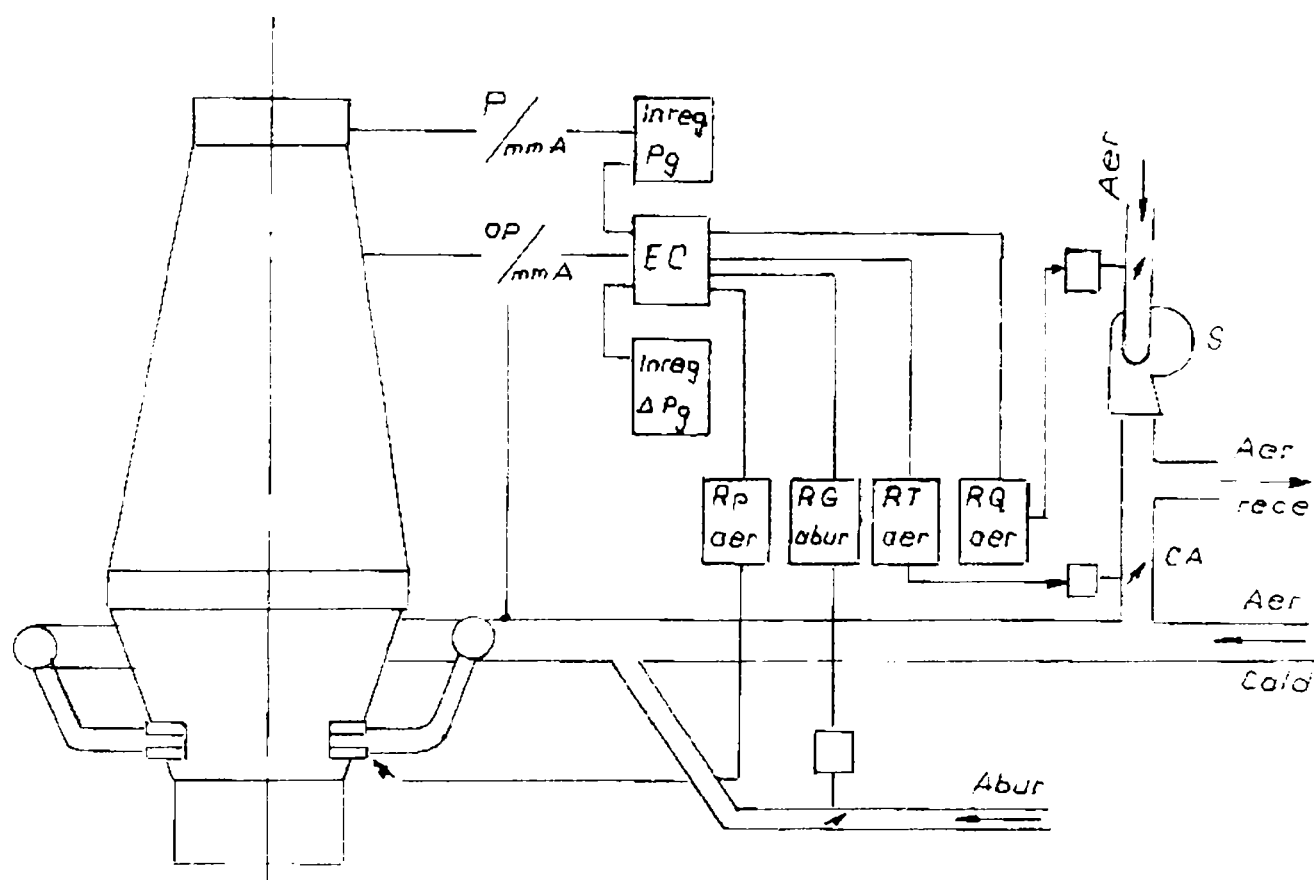


Figura 37 – Măsurarea presiunilor pe furnal.

Presiunea la gâtul furnalului este măsurată cu un traductor electronic de presiune relativă cu domeniul de măsură ( 0 – 0.2 Mpa ) iar diferența de presiune între gâtul și baza furnalului de un traductor electronic de presiune diferențială cu domeniul de măsură ( 10 – 100 Kpa ) De aici semnalele electrice sunt preluate de aparatele înregistratoare și de elementul de calcul E C care dă comanda de reglare a parametrilor necesari pentru revenirea căderii de presiune și a presiunii la gâtul furnalului la valoarea prescrisă. Căderea de presiune pe furnal se reglează succesiv prin presiunea la baza furnalului ( regulatorul R p aer ) , temperatura aerului suflat ( regulatorul R T aer ) , umiditatea aerului suflat ( regulatorul R G abur ) și în final dacă aceste reglări nu sunt eficace prin debitul de aer suflat ( regulatorul R Q aer ). La varierea debitului de aer suflat regulatorul R Q aer comandă noile valori de referință ale temperaturii și umidității acestuia corespunzătoare noului debit de aer.

### **3.2.6 Măsurarea nivelului încărcăturii.**

Măsurarea automată a nivelului încărcăturii în furnal se face cu ajutorul a 2 nivelmetre cu sonde mecanice ( vezi figura 38 ) .

Sondele mecanice sunt menținute pe suprafața încărcăturii , tamburii troliilor rotindu-se liber odată cu coborârea nivelului acesteia.

Poziția rotoarelor troliilor este convertită în semnal electric de către 2 traductoare de deplasare inductive de unde semnalul este receptat de aparate de înregistrare și semnalizat optic pe panourile luminoase ale tabloului sinoptic

La coborârea conului mare troliile ridică sondele de nivel pentru a nu fi prinse de încărcătură, Reglarea nivelului încărcăturii se face discontinuu, nivelmetrele comandând intrarea în funcțiune a instalației de încărcare atunci când nivelul încărcăturii este minim și oprirea acesteia la nivel maxim.

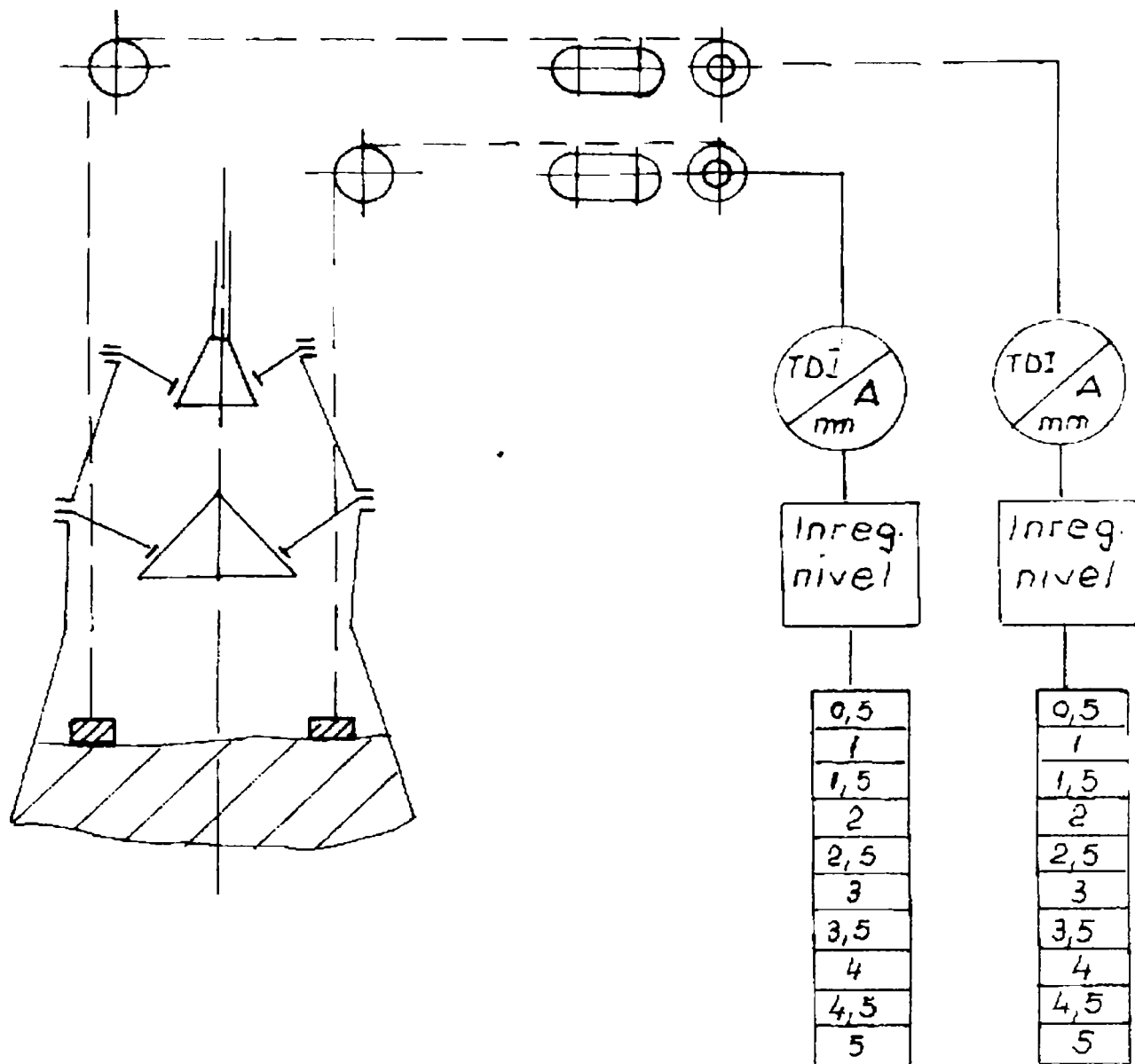


Figura 38 Măsurarea nivelului încărcăturii.

### 3,3 Concluzii.

Procesul de reducere a fierului din minereu are loc prin reducere indirectă cu  $\text{CO}$  și  $\text{H}_2$ , exotermă, și prin reducere directă cu carbon, puternic endotermă, având deci nevoie de un aport mare de căldură, aport ce mărește solicitarea termică a gurilor de vânt. Proporția reducerilor indirecte trebuie deci maximizată, ea depinzând de gradul de pregătire al minareurilor și de conducerea procesului din furnal.

De asemenea pentru a obține creșterea durabilității gurilor de vânt este important ca funcționarea furnalului să fie cât mai uniformă, cu aceasta obținându-se menținerea la o valoare constantă, cât mai mică, a densității fluxului termic ce acționează asupra gurii de vânt.

Pentru a se realiza acest lucru și pentru a putea evidenția cauzele concrete ale scoaterii din funcțiune a fiecărei guri de vânt trebuie cunoscute deci măsurate și înregistrați parametrii care caracterizează atât funcționarea gurilor de vânt cât și a furnalului în ansamblul său și anume : presiunea aerului cald, debitul de aer cald insuflat prin gurile de vânt, temperatura și umiditatea naturală a aerului cald, presiunea și debitul de oxigen insuflat pentru îmbogățirea aerului, presiunea, temperatura și debitul de abur injectat pentru condiționarea aerului cald, presiunea și debitul de aer comprimat injectat la fiecare gură de vânt pentru corectarea temperaturii aerului cald. nivelul încărcăturii în furnal.

Cerința minimă a menținerii constante ai parametrilor de funcționare ai gurilor de vânt contă în alimentarea furnalului cu aer cald la parametri constanți alături de menținerea constantă a nivelului încărcăturii. De asemenea este necesar să se măsoare și să se înregistreze compoziția gazului de furnal, temperatura și presiunea la gâtul furnalului, căderea de presiune pe furnal și temperatura apei la ieșirea din gurile de vânt pentru a se evidenția influența acestor parametri asupra mecanismului arderii gurilor de vânt analizate.

Pentru aceasta s-au folosit aparate înregistratoare ; diagramele obținute pe aceste aparate arată variațiile procesului din furnal și permit să se tragă concluzii asupra mersului furnalului și implicit asupra funcționării gurilor de vânt.

## CAPITOLUL 4

### Cercetări experimentale

#### 4.1 Diagrame caracteristice

Aparatul care înscrie curba de presiune a aerului cald ( traductor electronic de presiune relativă + aparat înregistrator ) are o foarte mare importanță pentru aprecierea funcționării gurilor de vânt.

În prezent, debitul de aer insuflat prin gurile de vânt se menține de obicei la nivel constant ; numai în cazuri de necesitate extremă se recurge la modificarea acestuia ( surpări, agățări puternice, răcirii mari ale furnalului ).

Totuși chiar dacă debitul de aer este constant presiunea sa nu rămâne aceeași ci variază în măsură mai mare sau mai mică ( vezi figurile 39, 40 și 41 ).

La un debit de aer cald de  $50000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  presiunea aerului cald variază între 1,1 at și 1,35 at în funcție de condițiile de lucru. O creștere importantă a presiunii aerului indică înrăutățirea permeabilității la gaze a coloanei de materiale și semnaleză pericolul apariției mersului greoi sau a agățărilor urmate de surpări ale încărcăturii în furnal.

De asemenea, scăderea mare a presiunii aerului este nefavorabilă deoarece în acest caz nu se realizează pătrunderea necesară a gazului reducător în stratul de materiale supus reducerii și încălzirii.



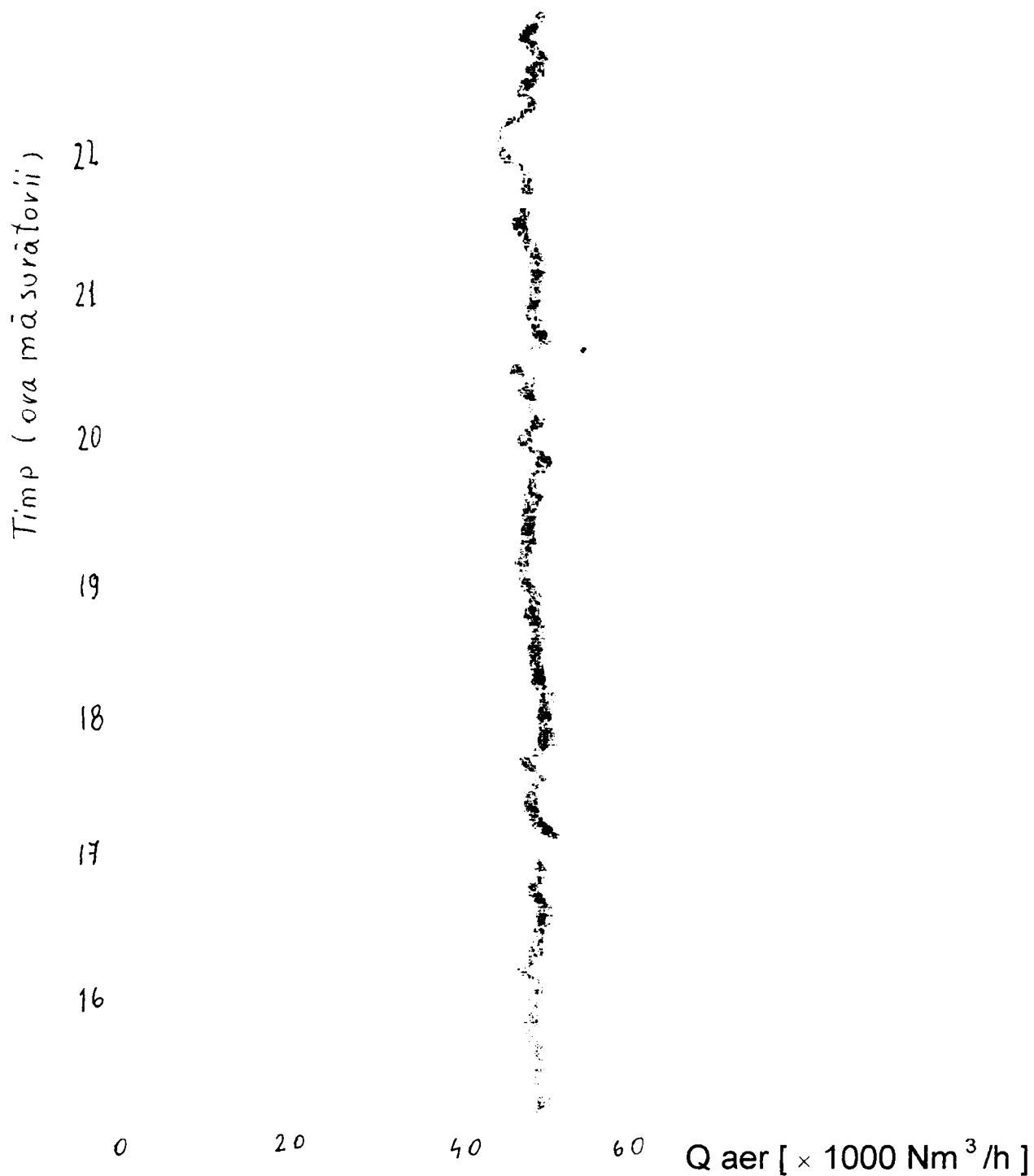


Figura 39 – Debitul de aer cald în cazul mersului uniform al furnalului.

Ca urmare scade procentul reducerilor indirecte și crește procentul reducerilor directe cu carbon, puternic endoterme ce necesită un aport suplimentar de căldură în creuzet și măresc solicitarea termică a gurilor de vânt.

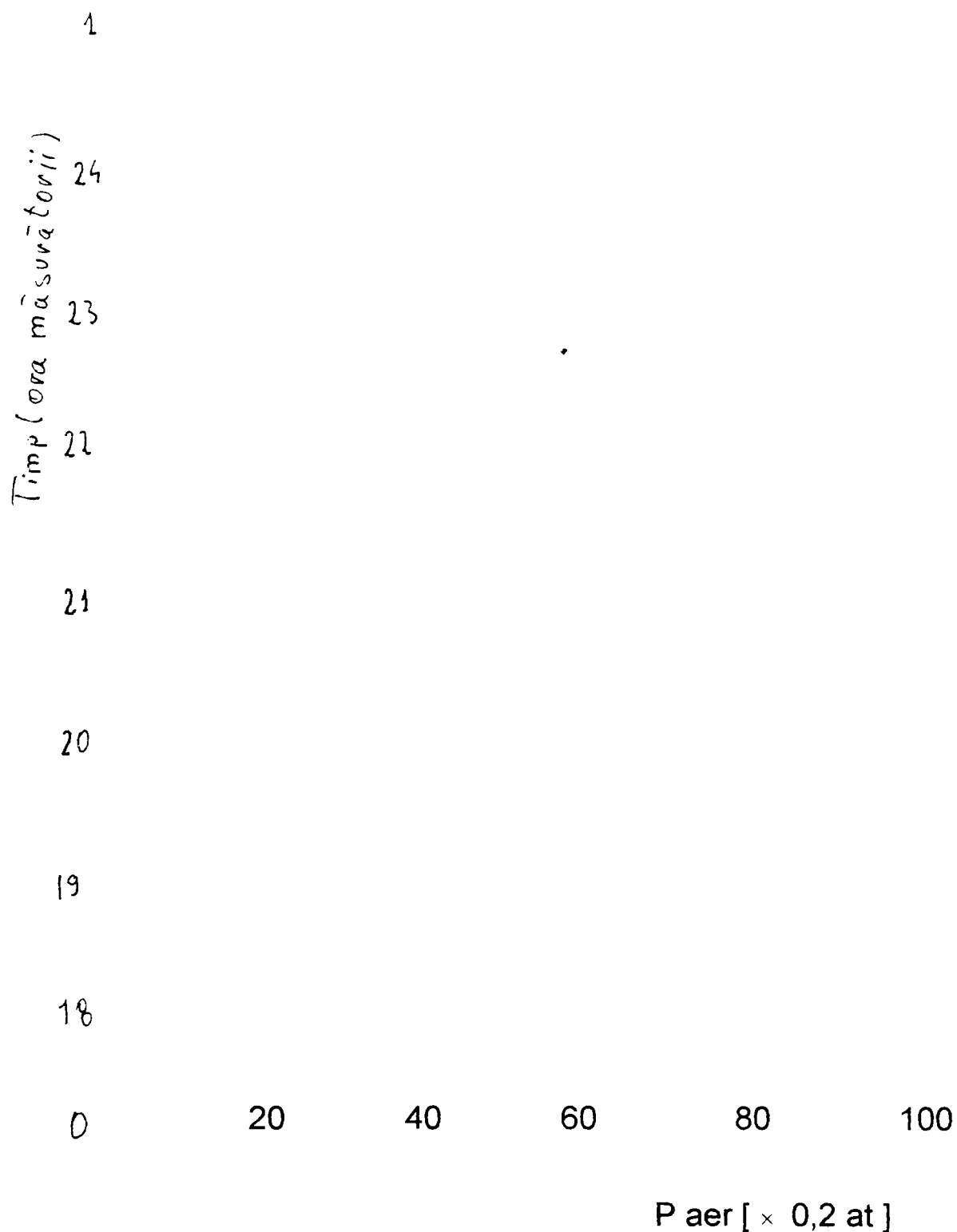


Figura 40 – Presiunea aerului cald în cazul unui mers uniform al furnalului.

Temperatura aerului cald se menține de asemenea constantă în jurul valorii optime stabilite pentru temperatura teoretică de ardere minime necesare determinate de felul fontei elaborate ( vezi figura 42 ).

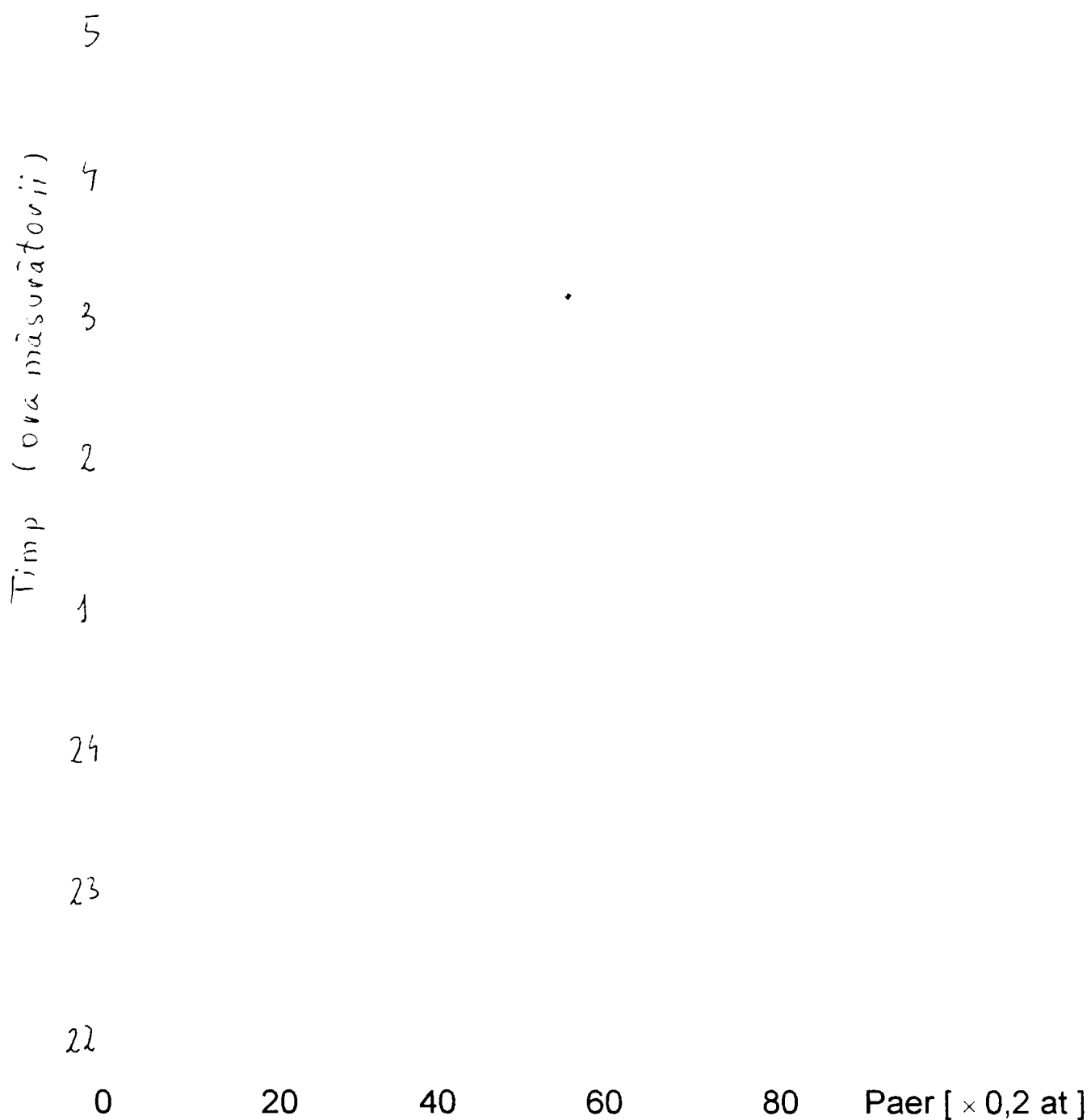


Figura 41 – Presiunea aerului cald în cazul mersului greoi al furnalului.

Creșterea temperaturii aereului cald, peste anumite limite conduce la micșorarea volumului zonei de ardere, se micșorează și secțiunea pâniilor în care are loc coborârea materialelor prin urmare și zona de afânare maximă a materialelor.

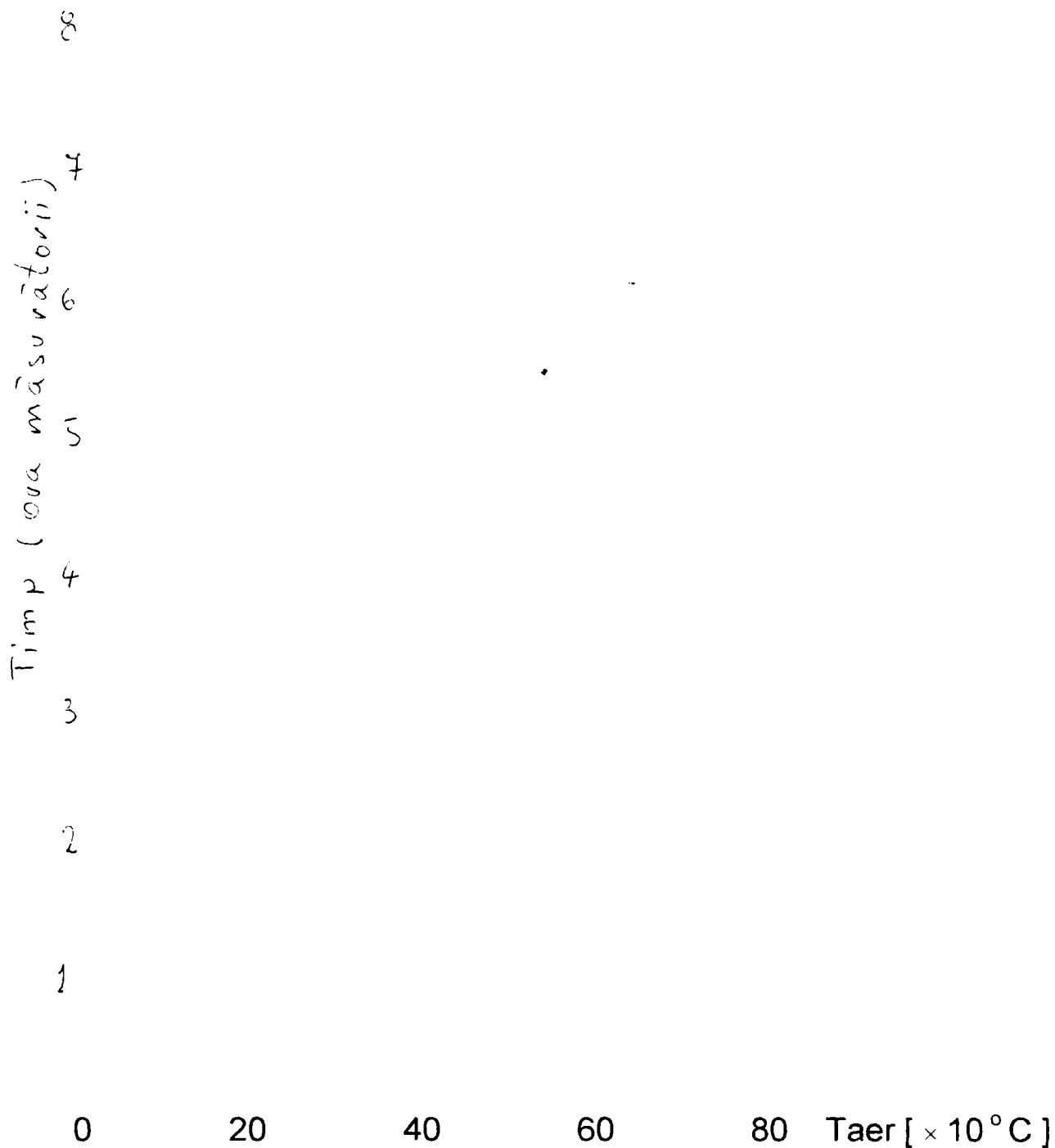


Figura 42 – Temperatura aerului cald

Aceasta duce la micșorarea permeabilității la gaze a coloanei de materiale și la creșterea contrapresiunii. Drept urmare apar dificultăți în calea coborârii materialelor. De asemenea creșterea temperaturii aerului conduce la concentrarea căldurii în creuzet ceea ce mărește solicitarea termică a gurilor de vânt.

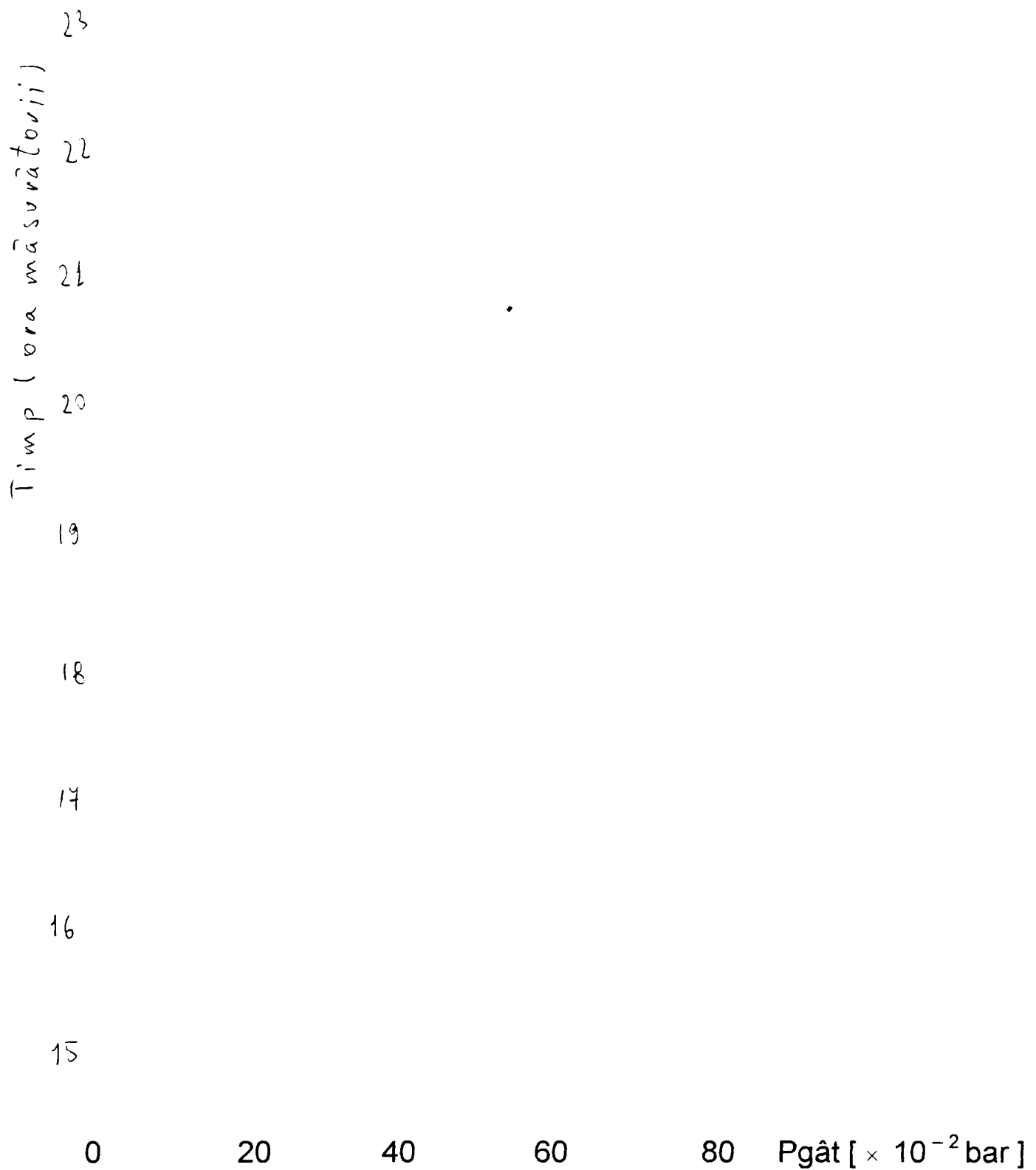


Figura 43 Presiunea gazului brut în cazul mersului uniform al furnalului.

O informație asupra pericolului mersului greoi al furnalului este oferită de modificarea presiunii gazului brut la gura furnalului ( vezi figurile 43 și 44 ).

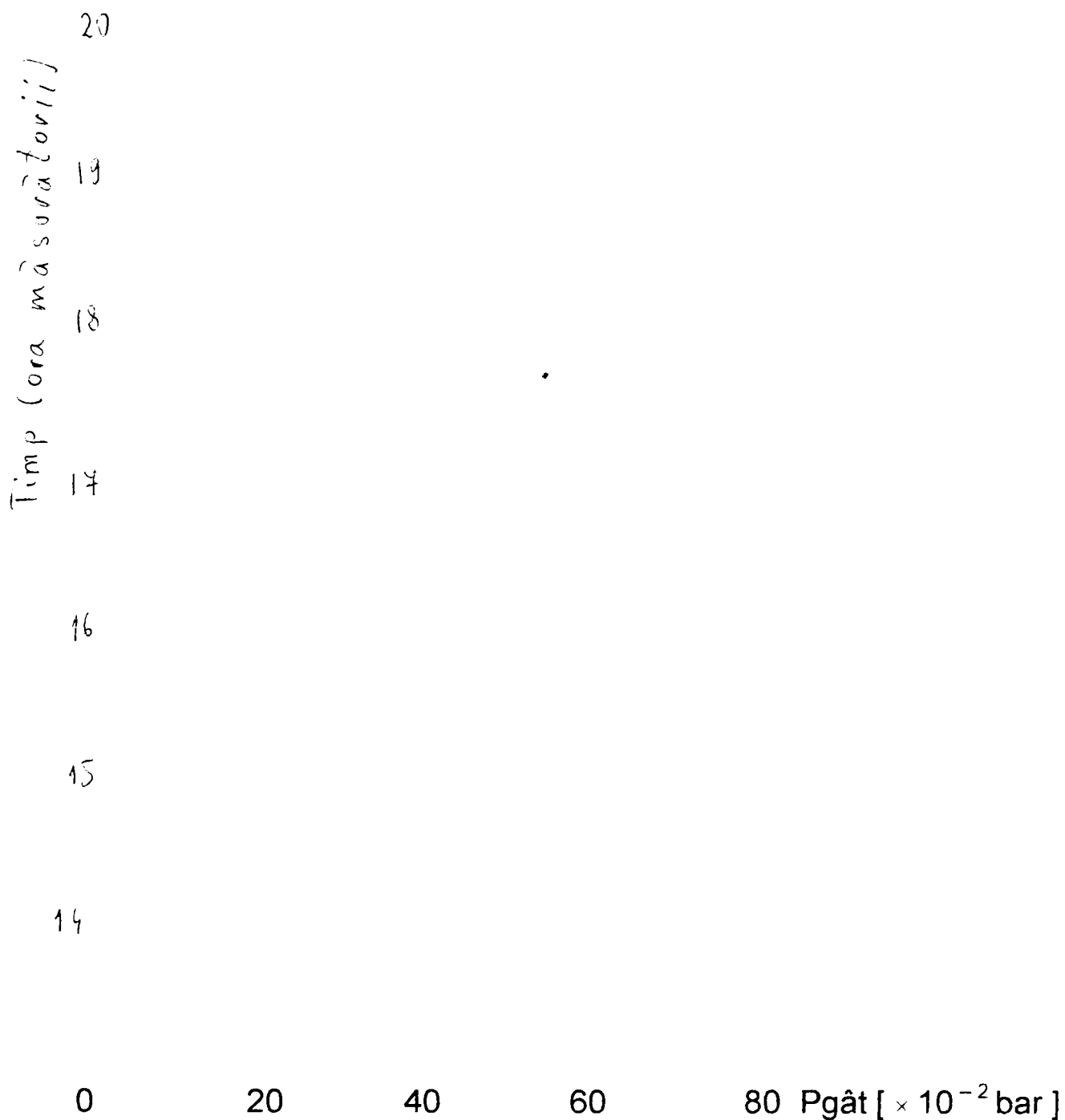


Figura 44 – Presiunea gazului brut când furnalul funcționează cu surpări.

Curba descrisă de aparatul înregistrator se prezintă sub forma unei benzi datorită variației continue ale presiunii gazelor. Vârful curbei deplasat spre stânga indică căderea de presiune după fiecare coborâre a conului mare

Vârful curbei deplasat puternic spre stânga fără legătură cu coborârea conului mare indică apariția mersului greoi al furnalului.

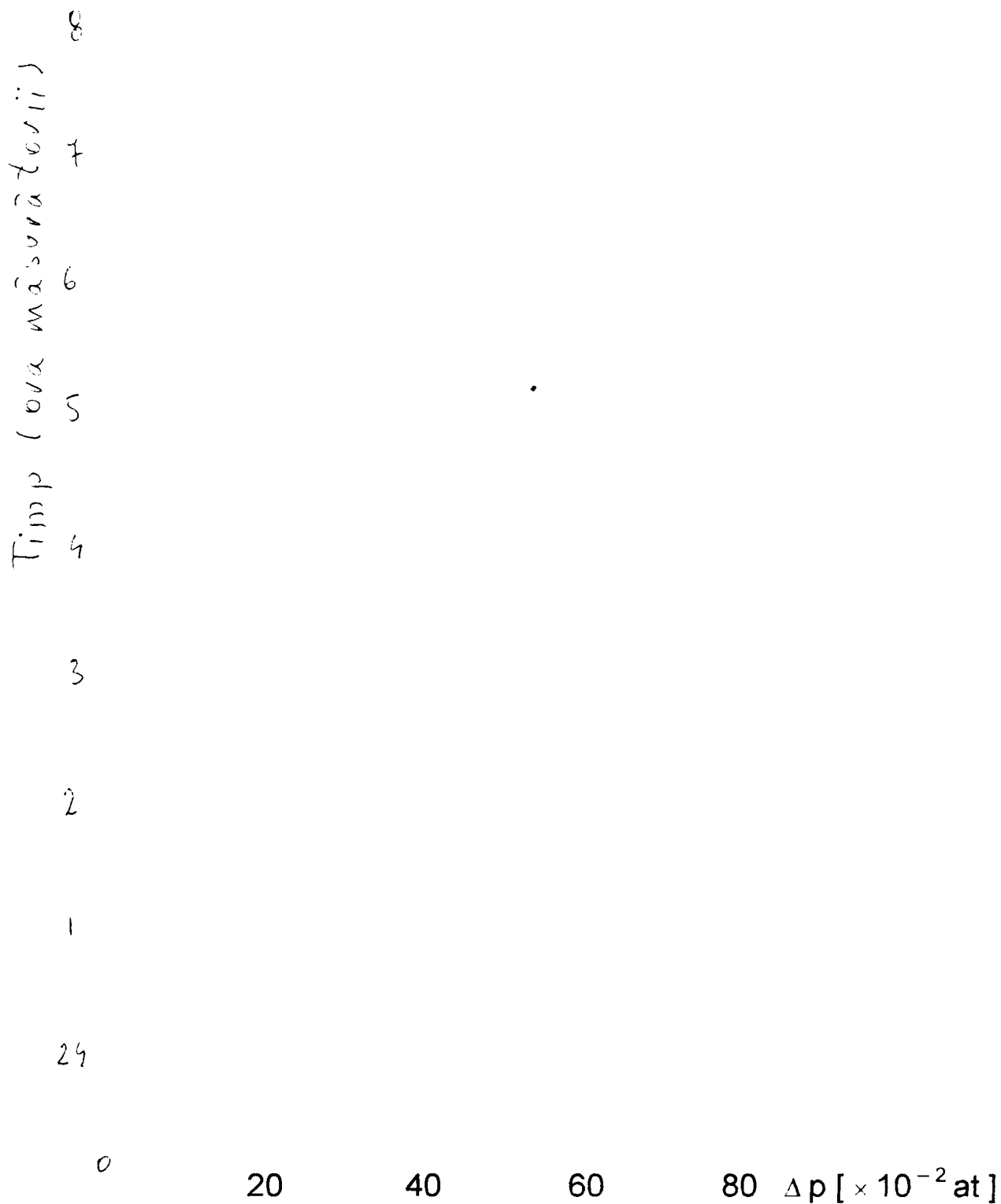


Figura 45 – Căderea de presiune pe înălțimea furnalului în cazul funcționării uniforme a furnalului.

Măsurarea căderii de presiune pe furnal permite de asemenea aprecierea regimului de coborâre a încărcăturii și influența lui asupra gurii de vânt ( vezi figurile 45 și 46 ).

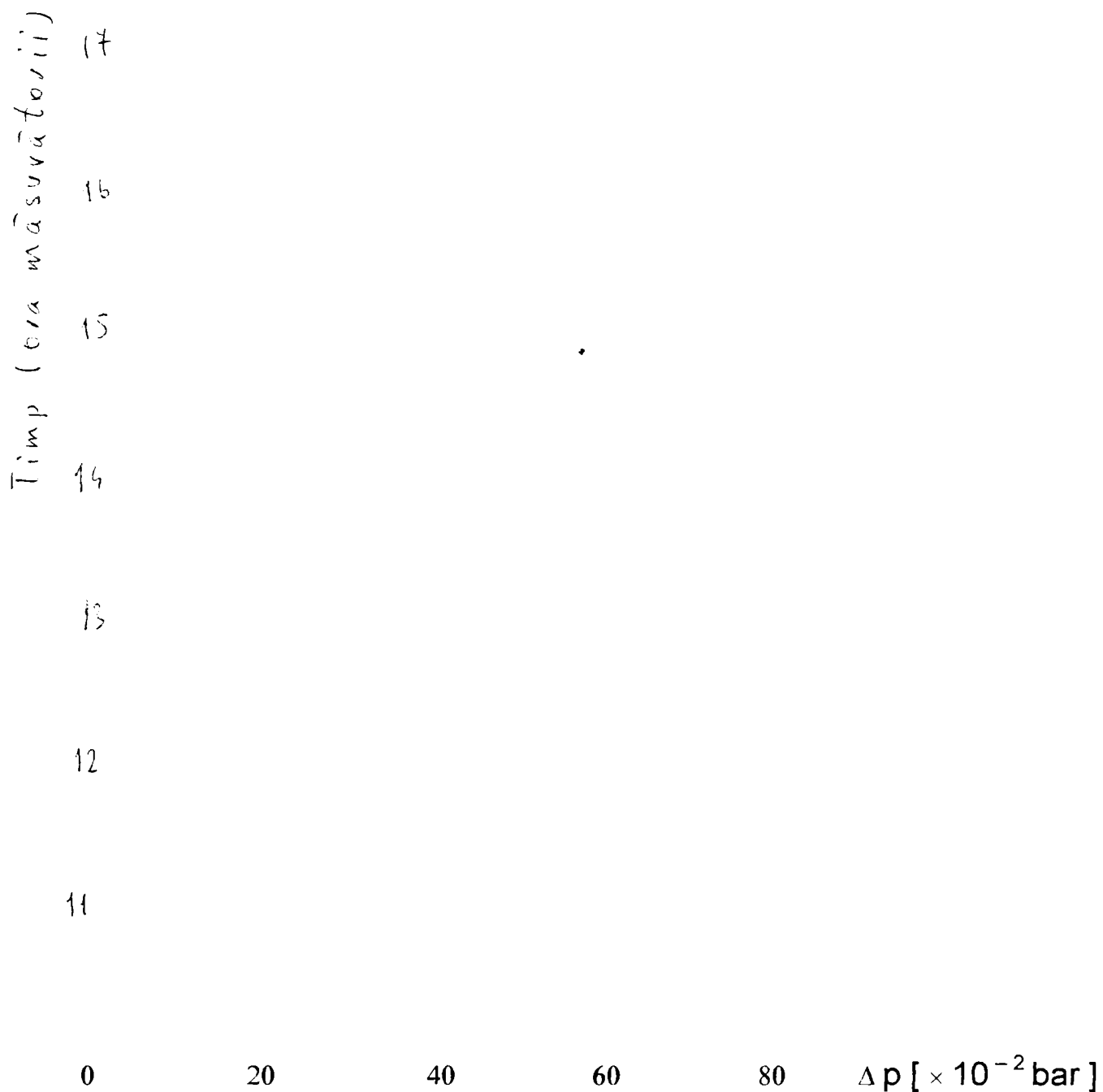


Figura – 46 Căderea de presiune pe furnal în cazul mersului greoi al furnalului.

Variații mari ale căderilor de presiune pe furnal sunt determinate de agățările încărcăturii care apar în cazul circulației gazelor reducătoare prin canale și în cazul stării termice instabile ale furnalului cauzând instabilitatea acesteia, de mersul periferic al furnalului și agățările inferioare ale încărcăturii



care conduc la micșorarea căderilor de presiune în partea superioară a furnalului și mărirea căderii de presiune în partea inferioară a furnalului. Toate acestea conduc la o solicitare termică neuniformă a gurilor de vânt , la un flux termic unitar neuniform ce trebuie preluat de apa de răcire.

Pentru aprecierea mersului furnalului o mare importanță o are temperatura gazului brut la gura furnalului ; cu cât această temperatură este mai coborâtă cu atât căldura din furnal este mai bine folosită și furnalul lucrează mai economic.

Înainte de fiecare coborâri a conului mare temperatura trebuie să ajungă la un maxim ; după introducerea unei încărcături noi temperatura scade cu 100 – 150 ° C după care începe din nou să se ridice.

Temperatura gazelor este măsurată în 4 puncte , la intrarea în conductele de captare a gazului pentru a se putea evidenția și gradul de uniformitate pe circumferință a funcționării furnalului și deci gradul de uniformitate a solicitării termice a gurilor de vânt .

Pentru măsurarea nivelului încărcăturii se folosesc 2 sonde de nivel automate ( în stânga și în dreapta ) și o sondă de nivel manuală ,de rezervă ( vezi figurile 47 și 48 ).

Dacă încărcătura coboară normal, în diagramă apare o curbă mai mult sau mai puțin lină, fără vârfuri sau porțiuni orizontale.

Dimpotrivă, dacă furnalul funcționează greoi curba de coborâre prezintă porțiuni orizontale corespunzătoare rămânerii pe loc a încărcăturii și vârfuri lungi corespunzătoare surpărilor.

Compararea diagramelor din dreapta și din stânga, înscrise simultan, reliefează mersul coloanei de materiale pe cele 2 laturi ale furnalului ; forma oblică a suprafeței încărcăturii poate fi ușor stabilită după diferența de înălțime arătată de aparate.

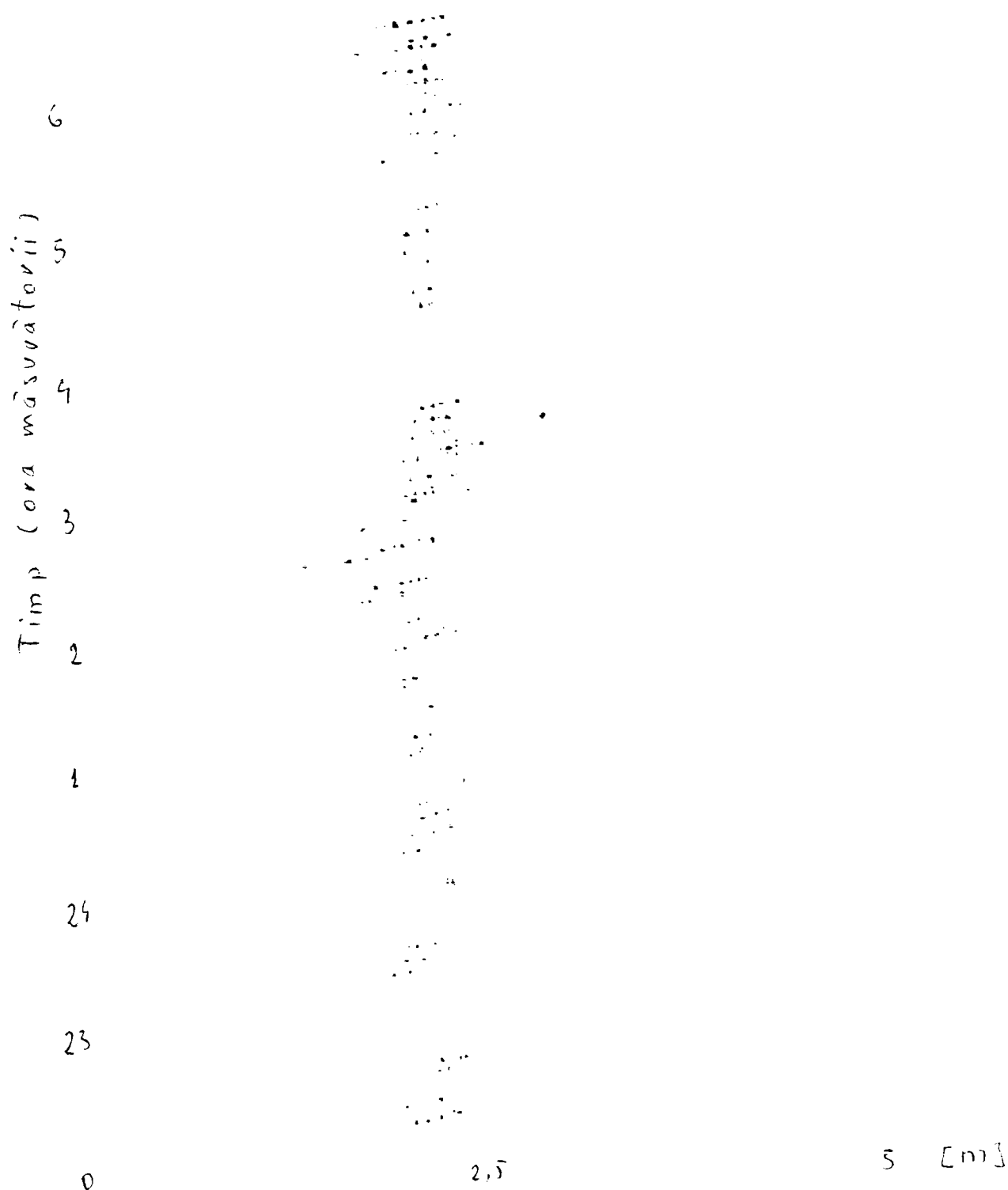


Figura 47 – Nivelul încărcăturii în cazul mersului uniform al furnalului .

Temperatura pereților furnalului se măsoară la vatră cota 6225 în 6 puncte, creuzet cota 7485 în 6 puncte și etalaj cotele 15750 în 12 puncte, 17750 în 12 puncte, 211150 în 12 puncte și 26500 în 4 puncte , indicațiile termocuplelor fiind înscrise în mod automat pe câte o diagramă pentru fiecare nivel de măsurare a temperaturii .

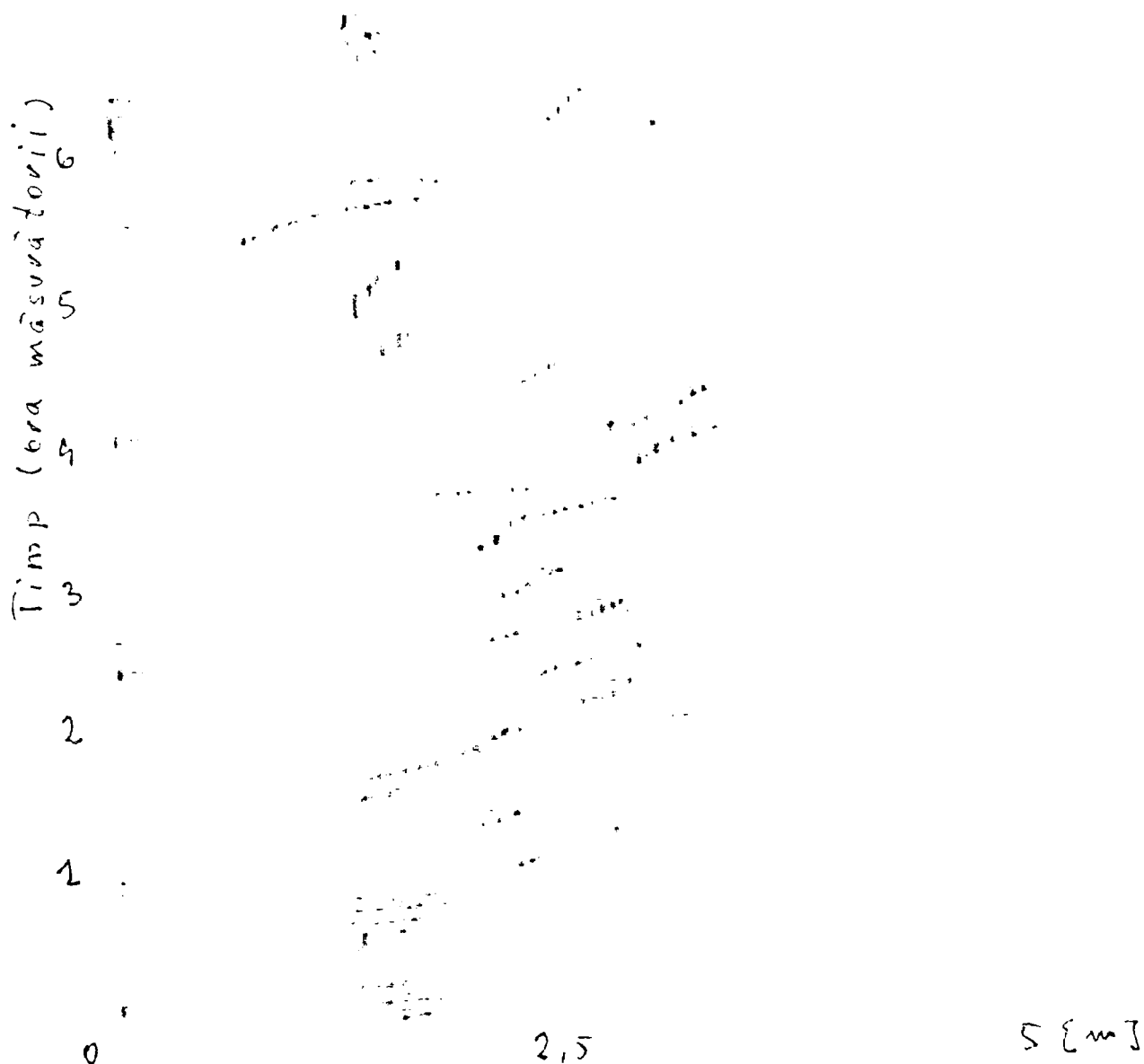


Figura 48 – Diagrama coborârii în cazul în care furnalul funcționează cu surpări.

Măsurătorile sistematice ale temperaturilor zidăriei permit să se controleze uniformitatea distribuției de gaze reducătoare pe periferia furnalului și să se tragă concluziile asupra uniformității funcționării gurilor de vânt. În cazul în care distribuția gazelor pe periferia furnalului este absolut uniformă, temperatura în toate punctele de pe un nivel de măsurare trebuie să fie aceeași iar pe diagramă curbele trebuie să fie apropiate. Când aceste curbe se depărtează unele de altele curentul de gaze este neuniform repartizat.

Compoziția gazului de furnal este un indiciu extrem de important al mersului procesului deoarece arată că mersul procesului de reducere este cu atât mai perfect cu cât conținutul de  $C O_2$  din gaz este mai ridicat.

Captarea probelor de gaz se face prin 4 sonde de gaz amplasate în 4 laturi ale furnalului sub inelele de protecție de la gât. Conținutul de bioxid de carbon din aceste probe este analizat iar rezultatul este înscris pe 4 diagrame. Mersul cel mai bun al furnalului se observă atunci când conținutul de  $C O_2$  în fiecare din cele 4 puncte este identic fapt care arată distribuția uniformă a curentului de gaz pe periferia furnalului.

Dacă temperatura apei de răcire la intrarea în gurile de vânt este menținută constant în jurul valorii de  $20^{\circ} C$ , la ieșirea din gurile de vânt, temperatura apei de răcire măsurată cu ajutorul unor termocuple Fier-Constantan având domeniul de măsură  $0 - 100^{\circ} C$  amplasate înainte de evacuarea apei la pâlnia de scurgere oferă informații referitoare la fluxul termic global transferat.

Înregistrarea în paralel a temperaturii apei de răcire la ieșirea din gurile de vânt, pentru toate cele 17 guri de vânt ale furnalului, permite evaluarea neuniformității temperaturii materialelor ce coboară în vatra furnalului și deci a condițiilor de drenaj ale zgurii și fonteii de sub partea inferioară a gurilor de vânt, evidențiază pericolul apariției lipiturilor, și permite evaluarea gradului de uniformitate a funcționării gurilor de vânt.

## **4.2 Rezultate experimentale.**

Instalația utilizată la testarea gurilor de vânt monitorizează parametri tehnologici de funcționare ai furnalului, care determină regimul termic din vecinătatea gurilor de vânt și deci condițiile reale de exploatare la care sunt supuse atât noile guri de vânt cât și gurile de vânt de construcție clasică și pe

Caracteristici	Q aer	P aer	T aer	P <sub>stat</sub>	T <sub>gât</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Produs fumatat	Consum specific cocs	Q apă ră- cire gura de vînt	ΔT apă ră- cire gura de vînt	temperatu- ră teoretică de ardere	Observații
Perioada	[m <sup>3</sup> /min]	[bar]	[°C]	[bar]	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[t/h <sup>3</sup> zi]	[kg/h <sup>3</sup> pot]	[E/min]	[°C]	[°C]	
1998	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10-31-05	830	1,25	750	0,55	195	15,3	24,4	1	0	52,1	4,22	190	40	1776	-
1-10-06	850	1,23	700	0,55	190	15,32	24,6	1	0	55,5	4,35	190	40	1755	36 ore mers greci
10-20-06	860	1,22	650	0,55	185	15,37	24,8	0,9	0,2	55	4,52	190	45	1719	1 gura vînt greci
20-30-06	860	1,22	650	0,55	180	15,35	24,8	0,8	0,2	57,5	4,45	190	43	1719	74 ore mers greci
1-10-07	860	1,22	650	0,55	180	15,38	24,9	0,8	0,16	60,1	4,52	190	40	1719	3 guri de vînt arsă 24 ore mers greci
10-20-07	860	1,23	620	0,55	180	15,4	25,0	0,8	0,2	60,7	4,52	190	40	1700	1 gura de vînt arsă 24 ore
20-31-07	860	1,23	620	0,55	185	15,4	24,9	0,8	0,5	60,5	4,45	189	43	1700	1 gura de vînt arsă
1-10-08	850	1,22	650	0,52	190	15,35	24,8	0,9	0,2	57,6	4,40	187	46	1719	1 gura de vînt arsă
10-20-08	850	1,22	650	0,53	185	15,35	24,8	0,9	0,2	55,4	4,25	189	43	1719	-
20-31-08	860	1,23	620	0,55	180	15,4	24,9	0,8	0,5	58	4,35	190	40	1700	1 gura de vînt arsă
1-10-09	855	1,22	650	0,53	185	15,4	24,8	0,85	0,5	57,6	4,31	190	39	1720	-
10-20-09	860	1,23	650	0,55	180	15,4	24,9	0,8	0,5	60,7	4,52	190	38	1720	1 gura de vînt arsă
20-30-09	860	1,23	650	0,55	180	15,38	25,0	0,8	0,5	60,5	4,45	190	40	1720	-
1-10-10	850	1,22	670	0,53	185	15,35	24,9	0,85	0,3	55,4	4,45	190	38	1724	-
10-20-10	850	1,22	670	0,53	185	15,35	24,9	0,85	0,3	54,5	4,25	190	38	1724	-
20-31-10	850	1,22	690	0,53	185	15,35	24,9	0,9	0,2	54,5	4,22	190	38	1737	-

Tabelul NR 13

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1-10-11	840	1,21	700	0,52	190	15,35	24,8	1	0,16	55,6	42,5	190	37	1755	70 ore mers greoi coca slab
10-20-11	840	1,22	700	0,52	195	15,35	24,8	1	0,16	52,9	43,3	189	40	1755	19ura devint ors
20-30-11	820	1,20	750	0,51	200	15,3	24,7	1	0,1	52,7	430	187	43	1777	-
1-10-12	840	1,21	700	0,52	190	15,35	24,8	1	0,16	57,6	431	190	40	1755	32 ore mers greoi
10-20-12	860	1,22	620	0,55	180	15,4	24,9	0,8	0,4	60,5	445	192	38	1700	19ura de vint d'ors
20-31-12	840	1,21	680	0,52	190	15,32	24,8	0,9	0,2	55,5	435	195	37	1731	19ura de z9ura orsor
1-10-01	850	1,21	640	0,53	187	15,35	24,9	0,85	0,3	59,8	430	192	37	1706	-
10-20-01	860	1,22	620	0,55	185	15,4	25,0	0,8	0,5	60,5	448	190	40	1700	36 ore mers greoi
20-31-01	860	1,22	620	0,55	185	15,4	25,0	0,8	0,5	60,7	452	190	40	1700	19ura vint ors9
1-10-02	850	1,21	650	0,53	190	15,37	24,9	0,9	0,2	59,4	435	130	41	1720	-
10-20-02	840	1,22	670	0,52	195	15,35	24,9	0,9	0,2	58,0	440	189	41	1724	20 ore mers greoi coca slab
20-28-02	860	1,23	620	0,55	185	15,4	25,0	0,8	0,5	60,7	452	189	43	1700	24 ore mers greoi coca slab
1-10-03	860	1,22	620	0,55	185	15,4	24,9	0,8	0,5	60,5	445	187	46	1700	19ura de vint ors9
10-20-03	840	1,21	650	0,52	190	15,35	24,9	0,9	0,5	57,8	435	189	45	1720	-
20-31-03	830	1,20	700	0,52	195	15,32	24,8	0,9	0,5	55,4	425	190	42	1756	2 ore schim- bot suficienta
1-10-04	820	1,20	765	0,51	195	15,32	24,8	0,9	0,5	54,5	430	190	40	1802	-
10-15-04	790	1,20	690	0,5	234	15,3	24,4	1	0,16	53,1	452	190	40	1727	77 ore mers greoi.

Tabelul NR.13 (continuare)

baza căroră se poate estima fluxul termic unitar real la care este supus peretele gurii de vânt.

Principalele caracteristici de funcționare ale furnalului numărul 5 în perioada 19 05 1998 – 15 04 1999 sunt expuse în tabelul anterior ( vezi tabelul 13 ).

Se observă că în condițiile în care s-a menținut aproximativ constantă temperatura teoretică de ardere furnalul a avut o funcționare uniformă, cu un regim termic stabil, fără șocuri termice importante pentru gurile de vânt.

Furnalul a avut rezultate bune în exploatare, fiind dotat cu o instalație automată de conducere a procesului tehnologic, ceea ce îi conferă o bună stabilitate în funcționare și deci condiții uniforme de funcționare pentru gurile de vânt.

În aceste condiții durabilitatea gurilor de vânt este crescută substanțial ( de la 165 de zile pentru furnalul numărul 9 la 180 de zile pentru furnalul numărul 5 )

### 4.3 Concluzii

Dacă se analizează durabilitatea gurilor de vânt folosite pentru furnalul numărul 5 în perioada 19 05 1998 – 15 04 1999 ( vezi tabelul 14 ) comparativ cu durabilitatea gurilor de vânt folosite pentru furnalul numărul 9 în perioada 01 01 1997 – 27 02 1998 ( vezi tabelul 15 ) se observă următoarele :

Nr gurii de vânt	Data scoaterii din funcțiune	Cauza	Durabilitate
1	2	3	4
11	18 06 1998	Arsă	30 zile
11	05 07 1998	Arsă	17 zile
8	07 07 1998	Arsură locală	49 zile
10	07 07 1998	Arsă	49 zile

1	2	3	4
5	28 07 1998	Arsă	70 zile
9	05 08 1998	Arsă	78 zile
5	26 08 1998	Arsură locală	29 zile
8	04 09 1998	Arsă	30 zile
10	07 09 1998	Porozitate	78 zile
7	16 10 1998	Arsă	150 zile
5	12 11 1998	Uzură generală	216 zile
2	18 12 1998	Uzură generală	213 zile
6	20 01 1998	Arsă	33 zile
10	10 03 1998	Arsă	182 zile

Tabelul 14 – Durabilitatea gurilor de vânt arse la furnalul numărul 5 în perioada 19 05 1998 – 15 04 1999 .

Nr gurii de vânt	Data scoaterii din funcțiune	Cauza	Durabilitate
1	2	3	4
9	23 01 1997	Arsă	23 zile
9	23 03 1997	Arsă	59 zile
12	07 04 1997	Arsă	97 zile
3	22 05 1997	Arsă	142 zile
19	31 05 1997	Arsă	151 zile
13	07 06 1997	Arsă	158 zile
19	09 06 1997	Arsură locală	9 zile



1	2	3	4
13	18 06 1997	Arsă	11 zile
13	26 06 1997	Arsură locală	8 zile
3	17 07 1997	Arsă	56 Zile
12	21 07 1997	Arsă	108 zile
10	23 07 1997	Arsă	204 zile
15	20 08 1997	Uzură generală	232 zile
2	19 08 1997	Uzură generală	231 zile
18	18 09 1997	U zură generală	261 zile
15	18 09 1997	Arsă	29 zile
9	24 09 1997	Arsă	199 zile
15	24 09 1997	Arsură locală	6 zile
5	30 09 1997	Uzură generală	373 zile
5	01 10 1997	Arsură locală	1 zi
6	08 10 1997	Uzură generală	281 zile
6	12 11 1997	Arsură locală	34 zile
14	12 12 1997	Arsă	90 zile
18	17 12 1997	Arsă	90 zile
5	19 12 1997	Arsă	79 zile
6	20 12 1997	Arsă	38 zile
11	06 01 1998	Uzură generală	371 zile
12	12 01 1998	Arsă	175 zile

1	2	3	4
18	28 01 1998	Arsă	132 zile
8	03 02 1998	Uzură generală	399 zile
5	12 02 1998	Arsă	96zile
2	18 02 1998	Arsă	151 zile
3	25 02 1998	Arsă	97zile
9	25 02 1998	Arsă	154 zile

Tabelul 15 – Durabilitatea gurilor de vânt arse la furnalul numărul 9 în perioada 01 01 1997 – 27 02 1998.

Durabilitatea gurilor de vânt a crescut de la 165 de zile pentru gurile de vânt care echipează furnalul numărul 9 la 180 de zile și peste la gurile de vânt care echipează furnalul numărul 5

Procentul gurilor de vânt scoase din funcționare datorită arderii a scăzut de la 74 % din totalul gurilor de vânt scoase din funcționare pentru furnalul numărul 9 la 64 % din totalul gurilor de vânt scoase din funcționare pentru furnalul numărul 5.

În continuare, în tabelele 16 și 17 și figurile 49 și 50 se prezintă dispoziția pe periferia furnalului a poziției gurilor de vânt scoase din funcționare în aceeași perioadă ( 19 05 1998 – 15 04 1999 pentru furnalul numărul 5 și 01 01 1997 – 27 02 1998 pentru furnalul numărul 9.

Dacă la furnalul numărul 9 dispoziția gurilor de vânt arse pe periferia furnalului este mai uniformă, la furnalul numărul 5 dispoziția gurilor de vânt arse este concentrată în zona gurilor de vânt numărul 5 – 11 , ceea ce se explică prin poziția acestor guri de vânt mai aproape de racordul de alimentare cu aer cald al conductei inelare ceea ce cauzează o

Nr gurii de vînt	Bucăți montate	Bucăți arse
1	1	0
2	2	1
3	1	0
4	1	0
5	4	3
6	3	2
7	2	1
8	4	3
9	2	1
10	4	3
11	3	2
12	1	0
13	1	0
14	1	0
15	1	0
16	1	0
17	1	0

Tabel 16

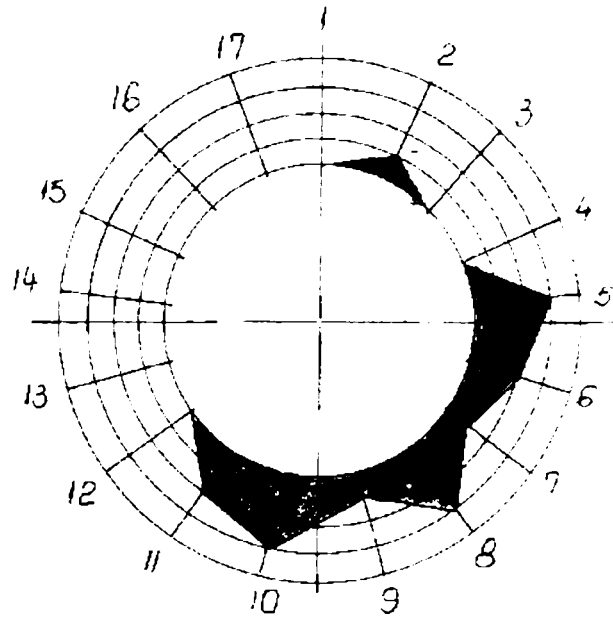


Fig. 49. - Dispozitia gurilor de vînt arse la F5 in perioada 19.05.1998 - 15.04.1999

Nr gurii de vînt	Bucăți montate	Bucăți arse
1	1	0
2	3	2
3	5	4
4	2	1
5	5	4
6	4	3
7	1	0
8	2	1
9	5	4
10	2	1
11	2	1
12	4	3
13	4	3
14	2	1
15	1	0
16	1	0
17	1	0
18	4	3
19	3	2
20	1	0

Tabel 17

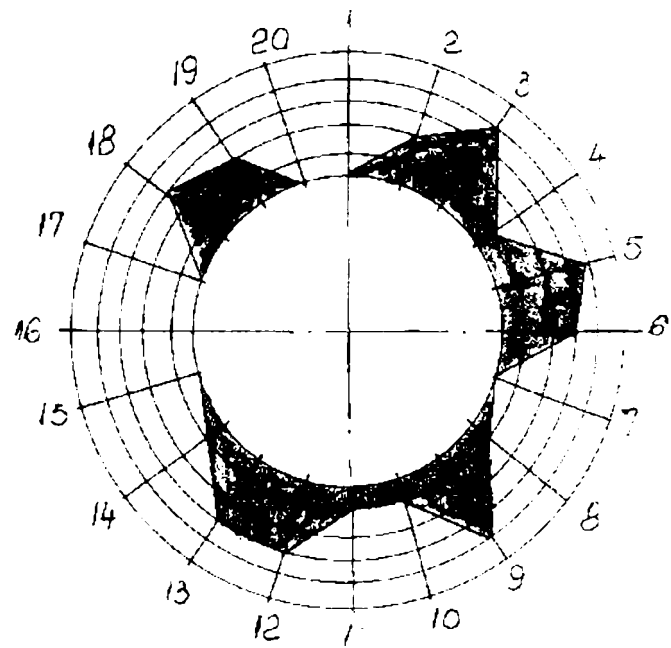


Fig. 50. Dispozitia gurilor de vînt arse la F3 in perioada 01.01.1997 - 27.02.1998

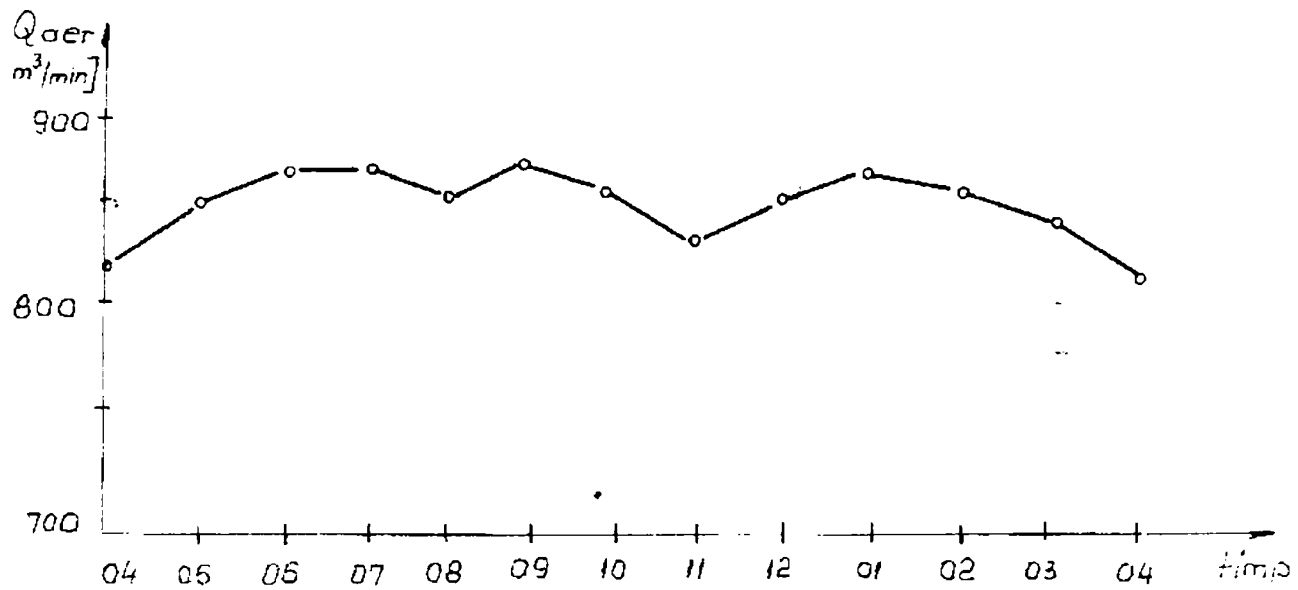


Fig. 51. Variația debitului de aer insuflat

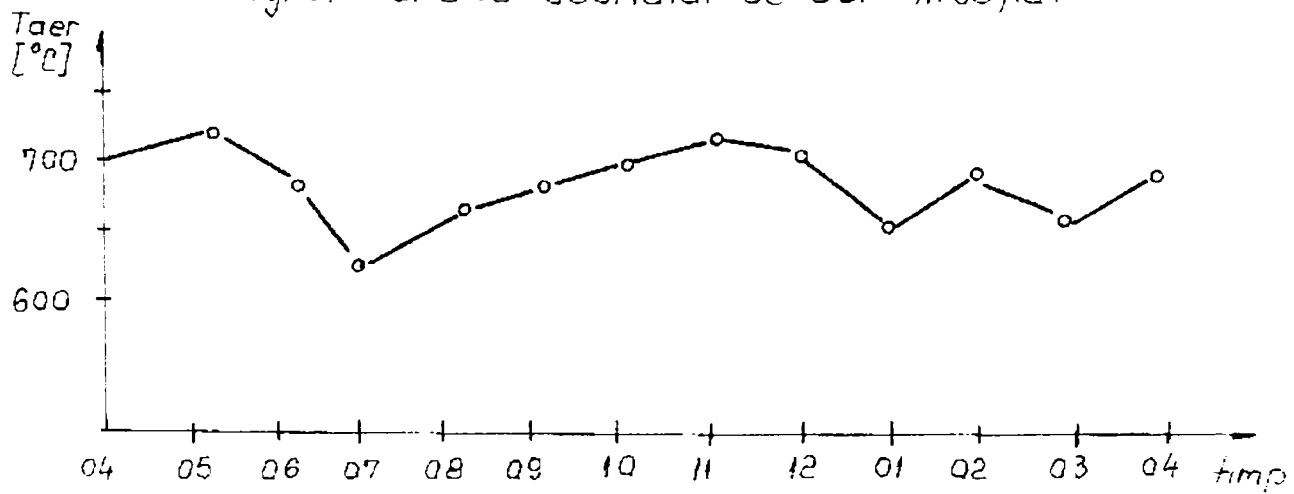


Fig. 52. Variația temperaturii aerului insuflat

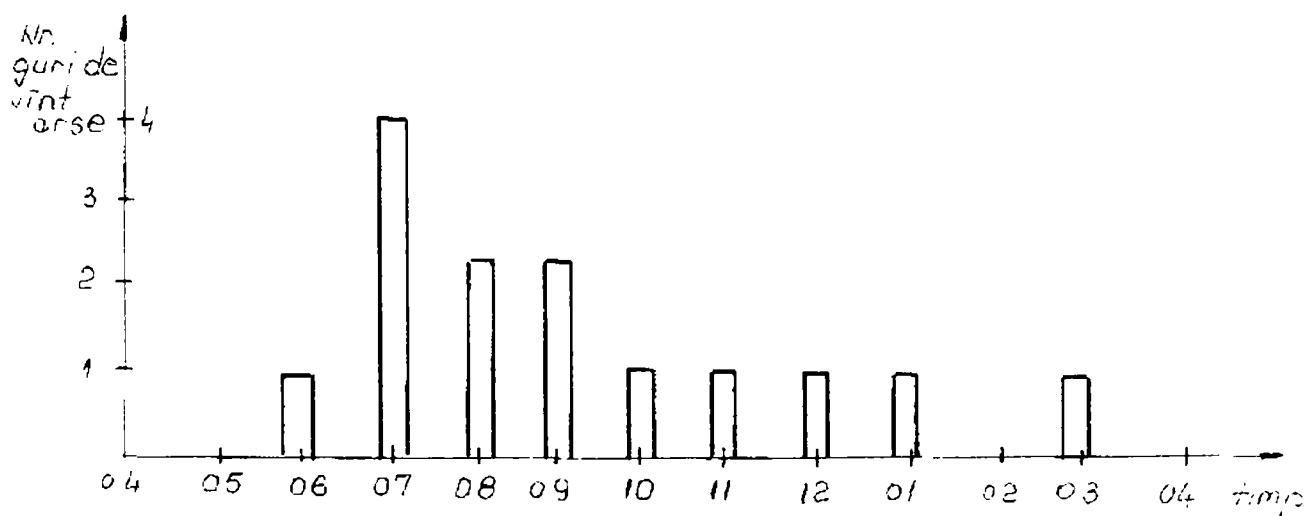


Fig. 53. Incidența arderii gunilor de vînt

neuniformitate a debitului de aer cald insuflat pe periferia furnalului și deci o solicitare termică suplimentară pentru gurile de vânt numărul 5 – 11.

În figurile 31, 52 și 53 este prezentată variația debitului de aer insuflat, a temperaturii aerului cald precum și incidența arderii gurilor de vânt ale furnalului numărul 5 în perioada 19 05 1998 – 15 04 1999.

Se observă că incidența arderii gurilor de vânt la furnalul numărul 5 a fost maximă în perioada de funcționare neuniformă a furnalului, cu consum specific de coals maxim, când proporția reducerii directe cu coals a minereului a fost maximă și deci solicitarea termică a gurilor de vânt a fost de asemenea maximă.

Prin utilizarea gurilor de vânt proiectate se estimează o creștere a durabilității gurilor de vânt, în condițiile unei funcționări uniforme a furnalului, deci a unui regim termic stabil de circa 1,5 - 2 ori.

### Concluzii și propuneri

#### 5.1 Concluzii generale

Studiul de față, efectuat pe modelul general al furnalelor de 700 și 1000 m<sup>3</sup> și aplicat la particularitățile de exploatare a gurilor de vânt ce echipează aceste furnale, prin diversitatea problemelor prezentate acoperă un domeniu larg, de la procesele din furnal până la curgerea fluidelor și transferul de căldură prin peretele gurii de vânt.

Prin această lucrare autorul s-a străduit, folosind experiența dobândită în activitatea de zi cu zi, informațiile culese de la specialiștii din domeniu și bibliografia de specialitate să soluționeze problemele specifice legate de durabilitatea scăzută a gurilor de vânt ce echipează furnalele din România.

Durabilitatea gurilor de vânt depinde de numărul lor, de diametru, de construcția gurii de vânt și de condițiile de exploatare ale furnalului.

Numărul gurilor de vânt a fost stabilit la proiectarea furnalului ; el nu poate fi modificat decât la reparația capitală a acestuia. De asemenea, diametrul gurii de vânt nu poate fi modificat în mod curent iar modificarea sa are drept consecință modificarea proceselor termice din interiorul furnalului și trebuie corelată cu numărul gurilor de vânt.

În acest context concluziile generale sunt :

1) În condițiile reale de funcționare a furnalului, la o conducere corectă a procesului în furnal, temperatura teoretică de ardere variază între 1700 ° C și 1800 ° C ( Vezi tabelul 13 ); temperatura aerului cald fiind cuprinsă între 620 ° C și 750 ° C. Aceste temperaturi determină un flux termic unitar maxim transmis părții frontale a gurii de vânt de circa  $q_{MAX} = 1240 \text{ W/m}^2$ . Acest flux

este impus de intensitatea de funcționare a furnalului și el este transmis către apa de răcire, prin peretele gurii de vânt, care trebuie să facă eficace această răcire.

2) În procesul de exploatare al furnalului s-a evidențiat faptul că prin înclinarea axului gurii de vânt cu  $3 - 15^\circ$  față de orizontală se îmbunătățesc condițiile de drenaj de sub gura de vânt și ca urmare crește durabilitatea gurii de vânt cu  $25 - 30\%$ .

3) Bariera termică formată din depunerile de piatră pe pereții interiori ai gurii de vânt provoacă o creștere suplimentară a temperaturii peretelui putând merge până la distrugerea lui ( vezi figura 14 ). Pentru evitarea acțiunii dăunătoare a pietrei se folosesc instalații de răcire în circuit închis iar apa de răcire este dedurizată.

4) Fluxul termic unitar preluat de apa de răcire a fost calculat cu ecuația:

$$q = \alpha ( T_p - T_{fl} ),$$

unde coeficientul de convecție  $\alpha$  e calculat cu ecuația criterială:

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{dh} = C * Re^m * Pr^n * \frac{\lambda}{dh}$$

$$Re = \frac{V * dh}{\nu}$$

Se observă că, în ultimă instanță valoarea fluxului termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire de la peretele gurii de vânt depinde de viteza  $V$  de circulație a apei în corpul gurii de vânt, de intervalul temperatură de saturație – temperatură de intrare a apei în corpul gurii de vânt și de coeficientul de conductivitate termică  $\lambda$  a materialului din care este confecționat peretele gurii de vânt.

5) Mijloacele de mărire a capacității de transfer termic prin peretele gurii de vânt sunt :

- Ridicarea temperaturii de saturație deci a presiunii apei de răcire.
- Scăderea temperaturii de intrare a apei de răcire deci răcirea sa .
- Folosirea, pentru a realiza peretele gurii de vânt, de materiale cu conductivitate termică ridicată.
- Ridicarea vitezei de circulație a apei de răcire.

Pentru o instalație dată pentru care intervalul temperatură de saturație – temperatură de intrare e dat, un flux termic determinat provoacă peretelui o temperatură al cărei nivel este univoc determinat de viteza apei de răcire.

6) Pentru îmbunătățirea durabilității gurilor de vânt s-au proiectat 3 variante de guri de vânt la care viteza de circulație a apei de răcire a fost corelată cu densitatea fluxului termic ce trebuie preluat.

7) În urma analizei vitezei de circulație a apei de răcire în corpul gurii de vânt și a densității fluxului termic ce poate fi preluat de aceasta pentru cele 3 variante de guri de vânt, comparativ cu gura de vânt  $\varnothing$  145 ce echipează în prezent furnalele de  $1000 \text{ m}^3$ , s-au constatat următoarele : ( vezi tabelul 12 )

- Cu creșterea vitezei de circulație a apei în corpul gurii de vânt de la  $0,152 \text{ m/s}$  la gura de vânt clasică la  $0,228 \text{ m/s}$  la gura de vânt varianta 2, la  $0,341 \text{ m/s}$  la gura de vânt varianta 3 și la  $7,612 \text{ m/s}$  la gura de vânt varianta 1, densitatea fluxului termic ce poate fi preluat de apa de răcire a crescut de la  $108 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt clasică la  $315 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 3, la  $344 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 2 și la  $2738 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 1,

- Dacă densitatea fluxului termic transmis prin convecție forțată de la aerul cald insuflat poate fi preluată de apa de răcire la toate tipurile de guri de vânt (  $q > 305 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  ), densitatea fluxului termic transmis prin radiație și convecție la partea frontală a gurii de vânt, neprotejată de zidăria refractară, este foarte mare (  $1240 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  ) ; ea depășește densitatea fluxului termic ce poate fi preluată de apa de răcire la gura de vânt clasică, (  $108 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  ) este apropiată ca valoare de densitatea fluxului termic preluată



de apa de răcire la partea frontală a gurii de vânt varianta 3 (  $1265 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  ) și este mai mică decât densitatea fluxului termic preluată de apa de răcire la partea frontală a gurii de vânt varianta 1 (  $1801 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  )

8) Datorită uzurii zidăriei refractare către sfârșitul campaniei de lucru a furnalului porțiunea din gura de vânt neprotejată de zidăria refractară crește. De aceea este important ca densitatea fluxului termic preluat de apa de răcire și deci viteza de circulație a apei prin corpul gurii de vânt să fie cât mai mare.

9) Grosimea părții frontale a peretelui gurii de vânt a fost majorată de la 20mm la gura de vânt clasică la 50mm la gura de vânt varianta 3 și la 70mm la gurile de vânt varianta 1 și 2, urmărindu-se stingerea șocurilor termice și creșterea rezistenței gurii de vânt la uzura abrazivă cauzată de circulația cocsului în furnal și de coborârea coloanei de materiale.

10) Pentru a se obține creșterea durabilității gurilor de vânt trebuie deci ca condițiile de exploatare ale furnalului să fie favorabile iar funcționarea furnalului să fie cât mai uniformă. Prin acest lucru se urmărește menținerea la o valoare constantă, cât mai mică, a densității fluxului termic ce acționează asupra gurii de vânt.

11) Procesul de reducere a fierului din minereu are loc prin reducere indirectă, exotermă și prin reducere directă cu cocs, puternic endotermă, având deci nevoie de un aport puternic de căldură realizat prin mărirea temperaturii aerului insuflat și mărirea cantității de cocs în încărcătură, aport ce mărește solicitarea termică a gurilor de vânt. Proporția reducerii indirecte a oxizilor de fier trebuie deci maximizată; ea depinde de gradul de pregătire a minereurilor și de conducerea procesului. Acest lucru se realizează prin :

- Folosirea minereurilor cu o granulație favorabilă repartizării uniforme a gazelor reducătoare pron încărcătură și difuziei acestor gaze în interiorul bucăților.

- Folosirea de minereuri ușor reductibile, cu o porozitate cât mai ridicată obținută prin aglomerare, peletizare sau prăjire.

- Obținerea unei compoziții a gazului reducător favorabile reducerii indirecte ,mai ales la temperaturi sub 900 – 950° C unde are loc reducerea indirectă ; intensificarea reducerii în zona respectivă putându-se obține prin adaos de hidrogen în gazele obținute prin arderea cocsului în fața gurilor de vânt ( introducerea de combustibil auxiliar și controlul umidității aerului insuflat ) și prin creșterea proporției oxidului de carbon în dauna azotului în gazele din zona de ardere prin îmbogățirea aerului în oxigen.

- Creșterea presiunii gazelor din furnal în scopul îmbunătățirii difuziei gazelor și frânării reacțiilor de reducere directă cu carbon.

12) Viteza cu care aerul intră în creuzet, cuprinsă între 150 m/s și 200 m/s influențează lungimea zonei de ardere în planul gurilor de vânt. La depășirea unei anumite limite a debitului și vitezei aerului la gura de vânt se constată creșterea frecvenței arderii gurilor de vânt datorită acumulării fontei în partea inferioară a acestora provocată de accentuarea, cu creșterea debitului de aer a unei circulații de gaze sub nivelul planului gurilor de vânt. Pentru a se evita acest lucru, jumătatea inferioară a vârfului gurilor de vânt proiectate are o înclinație de 17 ° față de verticală ceea ce limitează partea inferioară și o protejază față de fonta și zgura lichidă.

Analizând în continuare durabilitatea gurilor de vânt folosite pentru furnalul numărul 5 în perioada 19 05 1998 – 15 04 1999 comparativ cu durabilitatea gurilor de vânt folosite pentru furnalul numărul 9 în perioada 01 01 1997 – 27 02 1998 ( vezi tabelele numărul 14 și numărul 15 ) s-au constatat următoarele :

- Durabilitatea gurilor de vânt a crescut de la 165 de zile pentru gurile de vânt care echipează furnalul numărul 9 la 185 de zile pentru gurile de vânt care echipează furnalul numărul 5.

- Procentul gurilor de vânt scoase din funcționare datorită arderii a scăzut de la 74% din totalul gurilor de vânt scoase din funcționare pentru

furnalul numărul 9 la 64 % din totalul gurilor de vânt scoase din funcționare pentru furnalul numărul 5 .

În concluzie creșterea vitezei de circulație a apei prin corpul gurii de vânt însoțită de un mers rațional și uniform al procesului de furnal este justificată.

## 5.2 Propuneri

Pe baza studiului făcut, pentru creșterea durabilității gurilor de vânt trebuie acționat în următoarele direcții :

- Creșterea intensității de răcire până la temperatura la care se asigură o interacțiune normală între produsele lichide ale șarjei și suprafața răcită.

- Folosirea unor materiale speciale ca adaosuri de aliere, dispunerea pe gura de vânt a unor acoperiri refractare care împiedică arderea suprafeței răcite în contact cu produsele lichide ale șarjei.

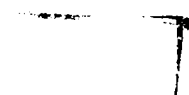
- Realizarea de condiții favorabile de exploatare ale furnalului care să obțină o funcționare cât mai uniformă a sa , un mers rațional și uniform al procesului de furnal, urmărindu-se menținerea în acest fel la o valoare constantă, cât mai mică, a densității fluxului termic ce acționează asupra gurii de vânt; acest deziderat se realizează prin distribuirea optimă a încărcăturii atât radial cât și periferic, folosirea de minereuri cu o granulație favorabilă. ușor reductibile, cu o porozitate cât mai ridicată și o compoziție a gazului reducător favorabilă reducerilor indirecte.

În condițiile adoptării unei forme exterioare corecte a părții frontale a gurii de vânt care să asigure o bună drenare a produselor șarjei și a folosirii unei instalații de răcire în circuit închis care să minimalizeze riscul depunerii de piatră, pentru o instalație dată pentru care intervalul temperatură de saturație – temperatură de intrare e dat, creșterea intensității de răcire a gurii

de vânt se poate realiza prin creșterea vitezei de circulație a apei prin corpul gurii de vânt.

În acest sens se propun a fi utilizate pe furnal 3 variante de guri de vânt la care densitatea fluxului termic ce poate fi preluat de apa de răcire crește de la  $1265 * 10^3 \text{ W/m}^2$  la gurile de vânt varianta 2 și 3 și la  $1801 * 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 1 fiind în toate cazurile mai mare decât densitatea maximă a fluxului termic cedat gurii de vânt ( $1240 * 10^3 \text{ W/m}^2$ ).

De asemenea viteza de circulație a apei crește de la 0,228 m/s la gura de vânt varianta 3 la 0,341 m/s la gura de vânt varianta 2 și la peste 7 m/s la gura de vânt varianta 1 înscriindu-se în tendința generală de creștere a vitezei de circulație a apei în corpul gurii de vânt observate pe plan mondial.



## CAPITOLUL 6

### Contribuții personale

În lucrarea de față am studiat comportarea în exploatare a unui furnal în cadrul căruia am urmărit procesele de schimb de căldură și de reducere din interiorul acestuia legate de densitatea fluxului termic ce acționează asupra gurilor de vânt, factorii care influențează menținerea la o valoare constantă, optimă a acestui flux, precum și transmiterea fluxului termic prin peretele gurii de vânt către apa de răcire.

Am determinat conexiunea dintre materiile prime, pregătirea lor și procesele din fața gurii de vânt. Am evidențiat faptul că, prin folosirea de minereuri cu granulație favorabilă și de minereuri cu porozitate ridicată, ușor reductibile, obținute prin aglomerare, peletizare sau prăjire, se favorizează procesul de reducere indirectă, obținându-se un mers al furnalului fără zgură în exces, deosebit de uniform și în consecință condițiile de exploatare ale gurilor de vânt sunt constante, solicitarea termică este minimă iar durabilitatea lor este maximă

Am studiat procesele de ardere din creuzetii furnalului și influența lor asupra gurilor de vânt. Am evidențiat legăturile existente între procesele de reducere a minereurilor din furnal ( reducere indirectă cu  $\text{CO}$  sau cu  $\text{H}_2$ , exotermă și reducere directă cu  $\text{C}$ , puternic endotermă ) și solicitarea termică a gurilor de vânt și de asemenea am evidențiat modalitățile de creștere a proporției reducerilor indirecte, favorabile din acest punct de vedere ( dirijarea circulației gazelor reducătoare prin cuva furnalului prin variația

schemei de încărcare și a mărimii încărcăturii; intensificarea proceselor de reducere din zona superioară a furnalului, la temperaturi sub 900 – 950 ° C prin adaos de H<sub>2</sub> în gazele obținute la arderea cocsului în fața gurilor de vânt, prin introducerea de combustibili auxiliari și prin creșterea proporției de O<sub>2</sub> în dauna azotului în gazele de ardere prin îmbogățirea aerului în oxigen; îmbunătățirea difuziei gazelor reducătoare prin creșterea presiunii gazelor în furnal; corectarea compoziției chimice a zgurilor prin adăugare de oxid manganos și oxid feros pentru a se obține zguri ușor fuzibile, având capacitate de desulfurare și fluiditate ridicată, favorizând funcționarea rece a creuzetului și evitând spălarea gurilor de vânt de zgurile în exces )

Am studiat influența parametrilor de insuflare a aerului asupra condițiilor de exploatare a gurii de vânt. Am arătat, pe bază de măsurători, că pentru a menține temperatura teoretică de ardere la un nivel constant impus de necesitatea asigurării unei temperaturi medii în creuzet care să asigure reducerea integrală a oxizilor de fier și compoziția necesară a fontei și zgurii este mai rațională și economică utilizarea în furnal a oxigenului împreună cu combustibili auxiliari și creșterea conținutului de vapori de apă în aerul insuflat, funcționarea cu umiditate controlată asigurând condiții constante de exploatare pentru gura de vânt.

Am efectuat o documentație a orientărilor în îmbunătățirea gurilor de vânt. În acest sens am sistematizat soluțiile constructive utilizate la execuția gurilor de vânt de înaltă durabilitate ce echipează gurile de vânt din țară și din străinătate, urmărind modalitățile de rezolvare a transferului de căldură către apa de răcire și a protecției gurii de vânt față de produsele lichide ale șarjei. Astfel, se remarcă o creștere a vitezei de circulație a apei de răcire în corpul gurii de vânt de la 0,1 – 0,3 m/s la gura de vânt de construcție Yaparoj Stali. La 2,5 – 3 m/s la gura de vânt folosită la furnalele Treejand Steel din S. U. A. și la 5,5 – 6 m/s la gurile de vânt folosite la furnalele Tukiama Jilnia Nipon Cacan din Japonia. Viteza apei la partea frontală a gurii de vânt crește de

asemenea de la 0,1 – 0,3 m/s la gurile de vânt clasice , la 4 – 5 m/s la gurile de vânt de construcție Zaparoj Stali și la 15 – 16 m/s la Tukiama Jilnia Nipon Cacan. Unghiul de înclinare a axei părții frontale a canalului de insuflare a aerului față de orizontală s-a mărit de la 2 – 3 ° la gura de vânt Zaparoj Stali la 4 ° până la 6 ° la gurile de vânt ce echipează furnalele Tukiama Jilnia Nipon Cacan. Datorită acestui lucru grosimea părții frontale a gurii de vânt s-a micșorat de la 90 mm la gura de vânt Zaparoj Stali la 40 mm la gura de vânt cu 2 camere ce echipează furnalele din Nognitorosk și la 25 – 30 mm la gurile de vânt ce echipează furnalele combinatului Tukiama Jilnia Nipon Cacan. Pentru îmbunătățirea rezistenței la uzură a părții expuse din gura de vânt se practică dispunerea de acoperiri de protecție pe partea frontală a gurii de vânt ( gură de vânt de construcție Zaparoj Stali ) sau pe canalul de insuflare a aerului și partea frontală a gurii de vânt ( combinatul Casima din Japonia care folosește guri de vânt elaborate de firma Saar Metalwerke din Germania )

Am studiat durabilitatea gurilor de vânt punând în evidență efectele economice ale creșterii acesteia. În procesul de exploatare a furnalului s-a evidențiat faptul că prin înclinarea axei gurii de vânt cu 3 – 15 ° față de orizontală se îmbunătățesc condițiile de drenaj ale materialelor de sub gura de vânt și ca urmare crește durabilitatea gurii de vânt cu 25 – 30 % Prin creșterea vitezei de circulație a apei în corpul gurii de vânt la valori peste 3 m/s durabilitatea gurii de vânt crește de 2 ori față de gura de vânt clasică iar trecerea la guri de vânt blindate permite, în urma micșorării pierderii de căldură și a creșterii în aceste condiții a temperaturii aerului insuflat cu 25 – 30 % , o economie de coals de 20 to/zi.

Am evidențiat importanța unor tendințe care duc la defecte prin crăpături sau fisuri, uzură generală sau topiri locale ale peretelui gurii de vânt. Astfel, o accentuare a mișcării periferice în furnal duce la o recrudescență a arderii gurilor de vânt deoarece minereul și calcarul ajung în zona de lucru insuficient pregătite; zgura este insuficient de supraîncălzită ceea ce

provoacă formarea de garnisaje în zona gurilor de vânt. Zgurile foarte bazice , cu intervale mici de solidificare, au de asemenea tendința să formeze cruste sub gurile de vânt, tensiunea superficială ridicată a zgurilor bazice făcând foarte dificilă retopirea acestor cruste. O execuție necorespunzătoare a gurii de vânt poate duce la distrugerea acesteia prin apariția de crăpături sau fisuri deoarece golurile datorită contracției, fisurile din turnare, diferențele prea mari de grosime ale pereților generatoare de tensiuni interne și racordările necorespunzătoare ale suprafețelor răcite, multiplicatoare de flux termic. pot fi la originea acestui defect în condițiile unor solicitări termice sau mecanice mari.

Am studiat procesul de schimb de căldură din gura de vânt. În condițiile reale de funcționare ale furnalelor de 1000 m<sup>3</sup> ( vezi tabelele 7,8 și 9 ) temperatura teoretică de ardere variază între 1870 și 1914 ° C , temperatura aerului cald fiind cuprinsă între 880 și 1100 ° C În aceste condiții, transmiterea de căldură către gura de vânt se face practic numai prin radiație. fluxul termic maxim transmis fiind de  $1240 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  și el este independent de condițiile de răcire, Bariera termică formată din depunerile de piatră provoacă o creștere suplimentară a temperaturii peretelui ( vezi figura 14 ) putând merge până la distrugerea lui. Se impune creșterea vitezei apei de răcire astfel ca temperatura peretelui interior să rămână la o temperatură inferioară temperaturii de depunere a pietrei.

Am proiectat 3 variante îmbunătățite de guri de vânt a căror soluție constructivă a urmărit creșterea intensității de răcire prin reconsiderare geometrică și tehnologică a execuției,

Varianta 1. – Gură de vânt din cupru, construcție sudată, având forma exterioară identică cu a gurii de vânt turnate care se folosește în prezent la furnalul de 1000 m<sup>3</sup> ( vezi figura 54 ).



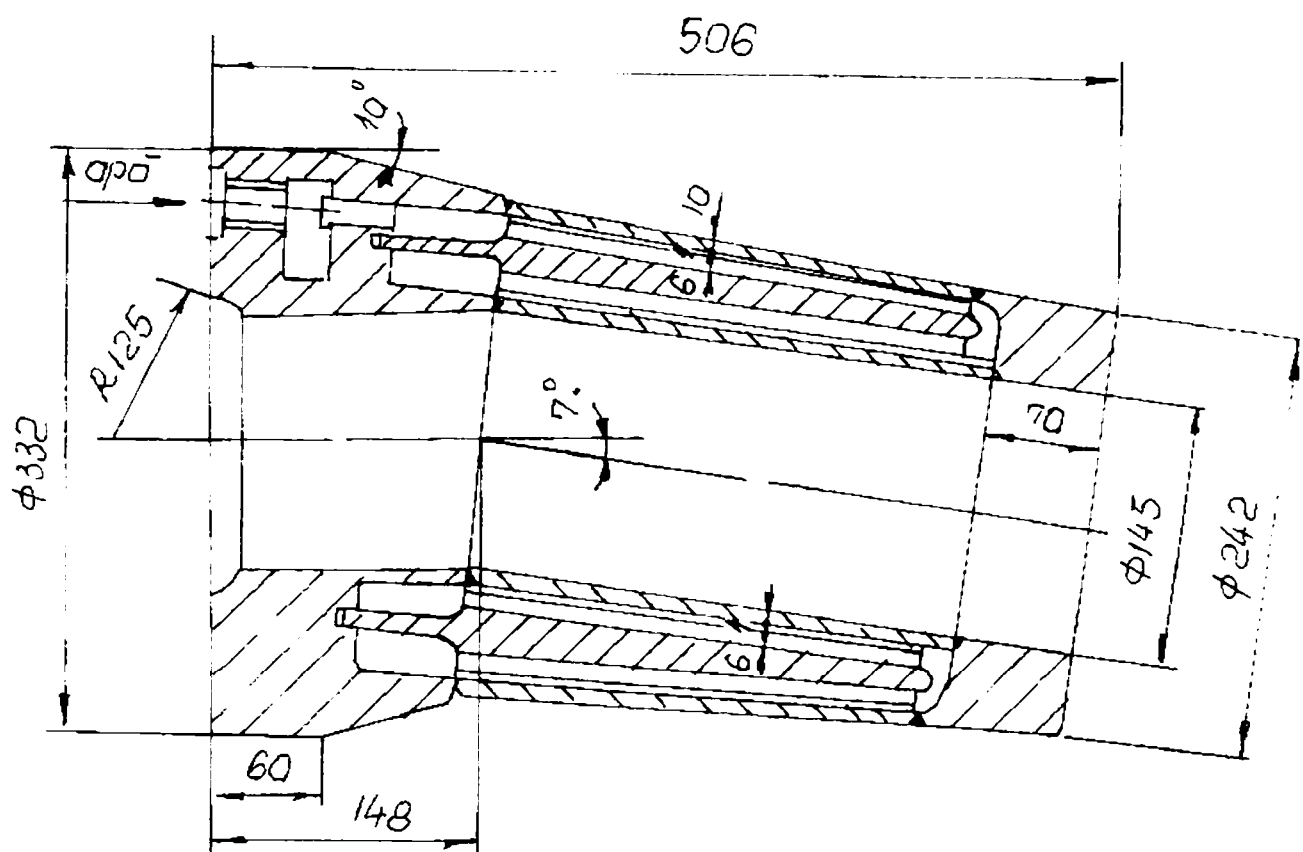


Figura 54 – gură de vânt varianta 1

În corpul gurii de vânt există o spirală dublă prin care apa circulă cu viteză mare. Aceste guri de vânt vor funcționa cu pierderi mici de presiune și fără consum prea mare al apei de răcire. În interiorul gurii de vânt apa trece prin niște canale executate după o spirală. Lungimea totală a canalelor este de circa 4 m, consumul de apă de răcire este de 190 l/min, viteza de circulație a apei prin canale va fi de 7,612 m/s iar fluxul termic unitar ce poate fi preluat de apa de răcire va fi de  $2738 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  mult mai mare decât fluxul termic unitar total cedat gurii de vânt.

Varianta 2 – Gură de vânt din cupru, construcție similară cu varianta 1, cu deosebirea că distribuitorul este înlocuit cu o cameră inelară de unde

printr-o rețea de conducțe spirale apa este admisă și distribuită tangențial în partea frontală a gurii de vânt ( vezi figura 55 ).

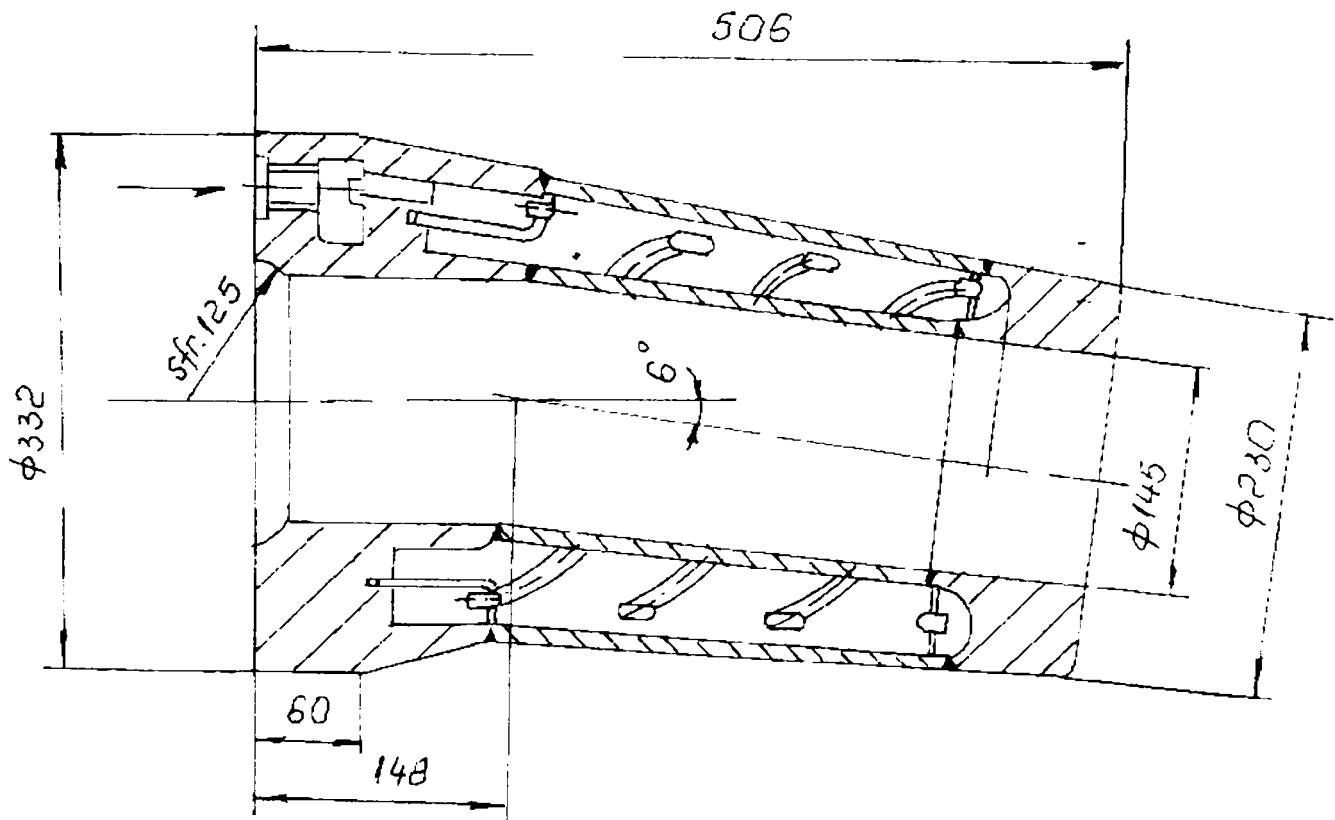


Figura 55 – Gură de vânt varianta 2

Partea frontală a gurii de vânt este despărțită de cavitatea centrală printr-un inel în care sunt practicate echidistant degajările necesare pentru montarea prin sudură a conductelor de aducțiune a apei de răcire și pentru evacuarea acesteia. După ce răcește partea frontală, apa circulă liber prin cavitatea centrală și este evacuată din rețea. Pentru stingerea șocurilor termice și pentru a rezista la uzura prin abraziune partea frontală a gurii de vânt are o grosime de 70 mm . Viteza apei în corpul gurii de vânt va fi de 0,341 m/s, viteza apei în partea frontală a gurii de vânt va fi de 1,493 m/s , fluxul termic ce poate fi preluat de apa de răcire fiind în orice secțiune mai mare decât fluxul termic unitar cedat gurii de vânt.

.Deoarece realizarea camerei inelare de distribuție a apei în conducte spirale este dificilă în varianta 3 s-a proiectat o cameră de distribuție în formă de potcoavă de unde apa este distribuită prin conducte în camera anterioară a gurii de vânt ( vezi figura 56 )

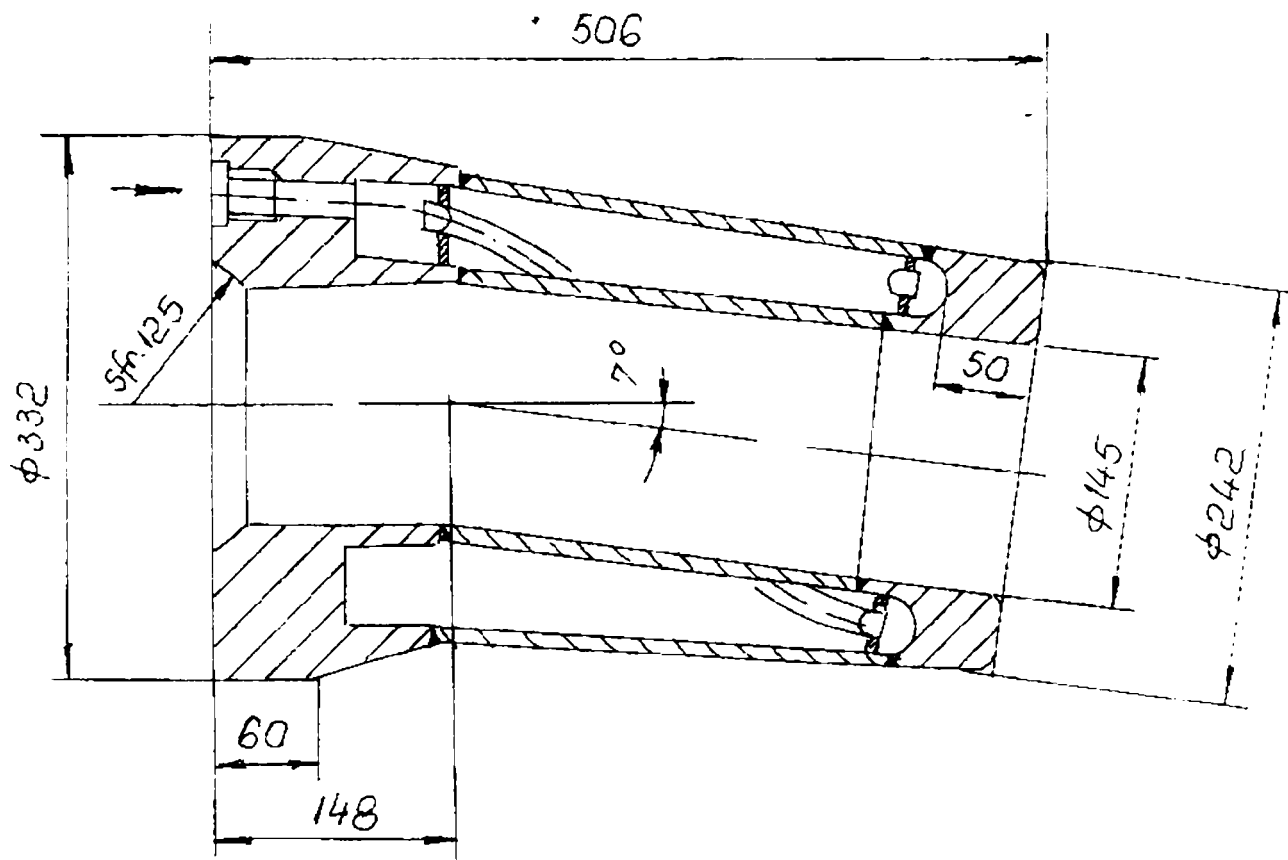


Figura 56 – Gură de vânt varianta 3.

După ce răcește cavitatea frontală a gurii de vânt apa trece în cavitatea centrală de unde este evacuată din circuitul de răcire. Viteza de curgere a apei în partea frontală a gurii de vânt este de 1,493 m/s, fluxul termic unitar ce poate fi preluat fiind de  $1265 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$ , mai mare decât fluxul termic unitar cedat gurii de vânt.

Îmbunătățirile parametrilor funcționali ai gurilor de vânt variantele 1, 2 și 3 comparativ cu gura de vânt clasică constau în:

- Creșterea vitezei de circulație a apei prin corpul gurii de vânt de la 0,152 m/s la gura de vânt clasică la 0,228 m/s la gura de vânt varianta 3, la 0,341 m/s la gura de vânt varianta 2 și la 7,612 m/s la gura de vânt varianta 1

- Creșterea vitezei de circulație a apei în partea frontală a gurii de vânt de la 0,152 m/s la gura de vânt clasică la 1,493 m/s la gurile de vânt variantele 2 și 3 și la 4,567 m/s la gura de vânt varianta 1.

- Creșterea densității fluxului termic ce poate fi preluat de apa de răcire, corespunzător cu creșterea vitezei de circulație a apei, de la  $108 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt clasică la  $315 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 3, la  $344 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 2 și la  $2378 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  la gura de vânt varianta 1.

Având în vedere toate aceste considerente am ales gura de vânt varianta 1 pentru a fi realizată și experimentată în furnalul numărul 5 de  $700 \text{ m}^3$ .

Am realizat comparativ, prin conducerea exploatării cu ajutorul calculatorului electronic, măsurători ai principalilor parametri de funcționare ai furnalului numărul 5, care determină regimul termic din vecinătatea gurilor de vânt și deci condițiile reale de exploatare la care sânt supuse atât noile guri de vânt cât și gurile de vânt de construcție clasică, pe baza cărora se poate estima fluxul termic real la care este supus peretele gurii de vânt.

Încercările au evidențiat:

- În condițiile în care s-a menținut aproximativ constantă temperatura teoretică de ardere furnalul a avut o funcționare uniformă, cu un regim termic stabil, fără șocuri termice importante pentru gurile de vânt

- Gurile de vânt au fost scoase din uz mai ales în perioadele în care mersul furnalului a fost greoi ( cocs slab, mers periferic ), procentul

- 24% -

reducerilor indirecte a scăzut (  $\% H_2 = 0,8 - 0,85$  ;  $\% C O = 15,32 - 15,35$  ) iar consumul de coals a crescut ( 445 – 452 kg/to fontă ), incidența arderii gurilor de vânt fiind maximă în perioadele de funcționare neuniformă a furnalului când proporția reducerilor directe cu coals a mimerurilor a fost maximă și solicitarea termică a gurilor de vânt a fost de asemenea maximă ( vezi tabelul 15 și figurile 51; 52 și 53 )

- Durabilitatea gurilor de vânt a crescut de la 165 de zile pentru gurile de vânt care echipează furnalul numărul 9 la peste 180 de zile pentru gurile de vânt care echipează furnalul numărul 5.

- Procentul gurilor de vânt scoase din funcționare datorită arderii a scăzut de la 74 % din totalul gurilor de vânt scoase din funcționare pentru furnalul numărul 9 la 64 % din totalul gurilor de vânt scoase din funcționare pentru furnalul numărul 5 ( vezi tabelul 15 )

Încercările au fost făcute în vederea conducerii corecte a procesului de furnal, care să asigure o funcționare uniformă a furnalului și un regim termic stabil.

În aceste condiții se estimează creșterea durabilității gurilor de vânt de 1,5 – 2 ori.

Am îmbunătățit prin alimentare locală, prin menținerea constantă a căderii de presiune dintre conducta inelară și fiecare gură de vânt, distribuția oxigenului și a aerului cald injectat la gurile de vânt ( vezi figura 35 )

Am proiectat o instalație de măsurare și reglare automată a parametrilor oxigenului și a aburului injectat în conducta de aer cald în scopul condiționării aerului cald insuflat ( menținerea constantă, la o valoare prestabilită, a umidității aerului injectat ) și a aerului comprimat injectat la gurile de vânt.

## Bibliografie

- 1) Dobrovici ș. a.      Metalurgia Fontei      Editura Tehnică  
București 1966
- 2) I. Trippa ș. a.      Teoria Proceselor Siderurgice      Editura Didactică și  
Pedagogică  
București 1978
- 3) S. Gâdea      Manualul Inginerului Metalurg      Editura Tehnică  
București 1978
- 4) I. Ripoșanu ș.a.      Tehnologia Elaborării și  
Turnării Fontei      Editura Didactică și  
Pedagogică  
București 1982
- 5) M, Banciu ș. a.      Exploatarea Furnalelor      Editura Tehnică  
București 1970
- 6) D. Tocu ș. a.      Cartea Furnalistului      Editura Tehnică  
București 1976
- 7) I. Borza ș. a.      Tehnologia Elaborării Fontei      Editura Institutul  
Politehnic Timișoara  
Timișoara 1984
- 8) D. Dobrovici ș. a.      Intensificarea Proceselor din  
Furnal      Editura Tehnică  
București 1983
- 9) Guru N.      Metalurgie Fizică      Editura Didactică și  
Pedagogică  
București 1981
- 10) Mantea Șt. ș. a.      Metalurgie Fizică      Editura Tehnică  
București 1962

- |                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| 11) Cohn R.            | Physical Metallurgy  | New York American Elsevir Publ. Com. 1970              |
| 12) C. Mihăilă ș. a.   | Termotehnică și Aparate Termice  | Editura Didactică și Pedagogică București 1982         |
| 13) Ardelean Z ș. a.   | Termotehnică și Mașini Termice   | Editura Institutul Politehnic Timișoara Timișoara 1982 |
| 14) Schumann H         | Metelurgie Fizică  | Editura Tehnică București 1962                         |
| 15) Carlomagno ș. a.   | Experiențe recente cu noile guri de vânt pentru furnale cu productivitate ridicată | Bolletino Tehnico Finsider nr 362 – 4 -1987            |
| 16) Bechmann H. ș. a.  | Deteriorarea gurilor de vânt la furnale. Cauzele deteriorării                      | Stahl und Eisel nr. 10 – 1970                          |
| 17) Lenger F ș. a.     | Soluții tehnice pentru răcirea furnalelor moderne                                  | Stahl und Eisel nr. 4 - 26 02 1986                     |
| 18) Schneigelsberg G.  | Deteriorarea gurilor de vânt la furnale. Măsuri preventive                         | Stahl und Eisel nr.10 - 1980                           |
| 19) H. W. Schultz      | Brevet nr 3069760 Guri de vânt cu căptușeală refractară                            | 24 12 1962   |
| 20) Senter S. ș. a.    | Acoperirea cu jet de plasmă a gurilor de vânt pentru furnale                       | Stahl und Eisel nr. 4 - 1977                           |
| 21) A. Pahnîșnev ș. a. | Furnale  | Editura Tehnică București 1954                         |
| 22) Theil H.           | Utilaje Termice Vol, 1   | Editura Institutul Politehnic Timișoara Timișoara 1982 |

- |                                |  |  |
|--------------------------------|--|--|
| 23)Negru L. s. a.              | Transmiterea Căldurii și<br>Dinamica Gazelor   | Editura Institutul<br>Politehnic Timișoara<br>Timișoara 1986       |
| 24)Jean Luc Vachette           | Amelioration Continue de la<br>Qualite   | Les Editions D orga-<br>nisations Paris 1990                       |
| 25)Teodorescu N. S.a.          | Ecuatii Diferentiale si cu<br>Derivate Partiale Vol.1;2  | Editura Tehnica<br>Bucuresti 1980                                  |
| 26)Bratianu C.                 | Program de Calcul cu Elemente<br>Finite a Cimpurilor Conductive<br>Neliniare   | Editura Tehnica<br>Bucuresti 1984                                  |
| 27)Leca A                      | Ridicarea Eficientei Aparatelor<br>Schimbatoare de Caldura   | Editura Tehnica<br>Bucuresti 1978                                  |
| 28)Leonachescu N               | Termotehnica   | Editura Didactica<br>si Pedagogica<br>Bucuresti 1981               |
| 29)Sahan R                     | Studiul si Ingineria Materialelor  | Editura Didactica<br>si Pedagogica<br>Bucuresti 1995               |
| 30)Weber F Alic C              | Consideratii privind Criteriile<br>Fenomenologiei si a Cinetici<br>de Propagare a Fisurilor in<br>Materialele Metalice | A 16-a Conferinta<br>de Constructii<br>Metalice; Timisoara<br>1991 |
| 31)Sparrow E. M.<br>Cess R. D. | Radiation Head Transfer  | Books/Cole Publ.<br>Comp., Belmont<br>California 1980              |
| 32)Reynolds W. C.              | Thermodynamics   | Mc Graw Book<br>New York 1968                                      |
| 33) F.T.Tanasescu s.a.         | Agenda Tehnica   | Editura Tehnica<br>Bucuresti 1990                                  |



- 34) Boldur C. Jura M. Tehnologie si Instalatie de  
Mentinere Constante  
a Umiditatii In Furnal Conferinta Int.  
de Sisteme  
Hidropneumatice  
de Actionare  
Timisoara 1995
- 35) Zemanski M.W. Basic Engineering  
Thermodynamics Mc Graw Hill Book  
Co New York 1985