

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
FACULTATEA DE INGINERIE CHIMICA
TIMISOARA

Teza de doctorat :

STUDIUL CUPTOARELOR CU ELECTROZI DE TIP

••
SÖDERBERG

Ing. CERGHIZAN VASILE

Conducator stiintific

Prof.dr.ing. ZENO GROPSIANU

BIBLIOTECA CENTRALÄ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIŞOARA

Timisoara 1979

INSTITUTUL POLITEHNIC
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIŞOARA
Yc. Nr. 367.943
Luap 288 Lit G

TABLA DE MATERII
=====

Pagina

scurt istoric privind cuptoarele electrice	1
1. Domeniile de folosire a cuptoarelor electrice	4
2. Cuptoare electrice	6
2.1. Cuptoare electrice cu rezistență	6
2.2. Cuptoare electrice cu inducție	13
2.3. Cuptoare electrice cu arc	14
2.4. Cuptoare electrice cu arc și rezistență	17
3. Studii asupra cuptoarelor electrice pentru obținerea carbidului	20
3.1. Studii privind tipuri constructive de cuptoare pentru obținerea carbidului	20
3.2. Electrozii de arc ai cuptoarelor electrice	50
3.2.1. Studii privind stabilirea gradului de degazificare a componentelor șarjei utilizate pentru obținerea masei carbonice (pastei de electrozi) care se utilizează la formarea electrozilor Söderberg	56
3.2.2. Studii asupra tehnologiei de formare a electrozilor Söderberg	61
3.2.2.1. Ridicarea diagramelor temperaturii în electrod la diferite tipuri de cuptoare	77
3.2.2.2. Considerații asupra rolului structurii metalice a electrodului Söderberg	104
3.2.3. Studiul corelației dintre lungimea de arc și tensiunea lață de vatra cuvei. Pentru electrozii cuptoarelor de 40 MVA utilizați la fabricarea carbidului	119
3.2.4. Studii metalogenos structurale asupra gradului de grafitizare a electrozilor de tip Söderberg	132
3.3. Studii privind energetica cuptoarelor electrice cu arc pentru obținerea carbidului	153
3.4. Studii privind purificarea gazelor rezultate de la cuptoarele electrice pentru obținerea carbidului	187
C o n c l u z i i	216
B i b l i o g r a f i e	221

oo ooo oo

În chimie și metalurgie, în procesele tehnologice în care au loc reacții necatalitice în sistemul eterogen gaz-solid, de regulă reactoarele utilizate sînt cuptoare de diferite tipuri.

Cuptoarele electrice, ocupă un loc important în tehnologia de obținere a feroaliajelor, carburilor metalice, tratamentelor termice a metalelor și blocurilor carbonice în sensul că sînt singurele reactoare, în care se pot obține cu eficiență economică acceptabilă aceste produse.

Istoricul dezvoltării cuptoarelor electrice este legat deci de dezvoltarea propriuzisă a industriei fierului, feroaliajelor și carburilor metalice.

Asupra dezvoltării problemelor electrotermice a avut o influență considerabilă descoperirea fenomenului arcului electric în anul 1802 de către academicianul rus V.V.Petrov [10]

Literatura siderurgică de la începutul secolului XX. oferă electrometalurgiei fierului și feroaliajelor spațiu vast. Aceasta în special din anul 1904, cînd a fost trimisă în Europa cu scopul de a studia instalațiile existente pentru producerea electrotermică a fierului și a oțelului, o comisie canadiană sub conducerea lui Haanel și cu colaborarea metalurgului Harbord [5]

Primele preocupări legate de procesele electrotermice, au fost încă la începutul secolului XIX, cînd savantul englez Davy (în anul 1810) a întreprins construirea unui cuptor electric pentru aluminiu. S-au făcut încercări de a folosi electrotermia și la fier. În anul 1815 Pepy a pus în sîrma de fier despăcată praf de cărbune și l-a cimentat cu ajutorul căldurii produsă de curentul electric. Chenot a încercat în anul 1855 și Blaier în 1870 de a reduce minereurile de fier pe cale electrotermică. Mankton, Morris și Weare în 1862, Monkton în 1863, Wilde în 1865 au obținut patente pentru procedee de transformare a fontei în oțel. William Siemens în 1878 1879, brevetează un agregat electrotermic pentru industria metalurgică [5]

Merită să fie menționate în acest domeniu și invențiile lui Gerard - Lescuyer, Kleiner - Fiertz, Graban, Cowles (patent englezesc nr.4664 din 1887 și patente ale imperiului german din anii 1885 și 1886). Aceste cuptoare erau cuptoare cu arcuri luminoase, erau concepute în special pentru producerea aluminiului și se bazau pe principiul cuptorului electric al lui William Siemens [6]

Patentul englez nr.700 din 1887, al lui Zrani de Ferranti, tratează producerea fierului în cuptoare electrice cu inducție.

În anul 1889 Gerard - Lescuyer, a tratat un patent pentru producerea aluminiului pe cale electrotermică. Materia primă se supune arcului electric, pregătită sub formă de bastoane.

Moissan și Violle, au completat acest cuptor adaptându-i un creuzet cilindric cu fundul din magnezită iar pereții și capacul din cărbune. Arcul electric se forma între doi electrozi orizontali de cărbune care erau incluși prin niște orificii laterale [5]

Primul cuptor electric cu arc, de capacitate industrială a fost construit abia în anul 1887 de către Heroudt după un patent propriu. La început acest cuptor s-a folosit la electroliza aluminiului, apoi (în perioada până în anul 1892) s-a introdus la fabricarea feroaliajelor [7]

În anul 1893 au fost obținute primele brevete asupra metodei de producere a carbidului din var ars și cărbune în cuptoare electrice, iar în anul 1895 s-a început construirea primelor fabrici de carbid de pe glob în S.U.A. H.Moissan a contribuit prin numeroasele lui lucrări la dezvoltarea tehnică a fabricării carbidului și a cuptoarelor propriuzise și în mod hotărâtor a fost cel care a preconizat fabricarea carbidului, în cuptoare electrice. Totuși prima descriere a procesului, a fost făcută de ing.canadian T.L.Willson în septembrie 1893 la Universitatea din Glasgow, care în februarie 1893 obținuse primul brevet referitor la fabricarea carbidului în cuptoare electrice, procedeu pe care-l descoperise independent H.Moissan. [7, 8, 104]

Carbidul, a fost unul dintre produsele care și-au găsit utilizări multiple și care au determinat rapid dezvoltarea industriei cuptoarelor electrice.

Primele cuptoare pentru carbid au fost cuptoarele electrice cu funcționare periodică. În prima perioadă a dezvoltării industriei de carbid, puterea acestor cuptoare nu depășea 100 - 300 kW. Mai târziu au început să se construiască cuptoare cu o putere de 300 - 1000 kW. [8]

Cel mai spectaculos salt, în creșterea producției de carbid, se înregistrează în timpul primului război mondial, când se construiesc primele cuptoare de peste 15 MW, ajungându-se la cuptoare electrice de 30 MW. Între cele două războaie mondiale, motivele dezvoltării au fost diferite de la caz la caz, unele țări folosind acetilena din carbid la sinteze organice, iar altele pentru sudarea și tăierea metalelor, îngrășămintele, industria de război, etc.

Ulterior s-au construit cuptoare de mare capacitate, atât pentru industria ferocaliajelor cât și pentru industria carbidului. În prezent peste 40 țări din lume posedă cuptoare electrice pentru carbid și ferocaliaje ce însumează numai pentru carbid, o capacitate anuală de peste 12 milioane tone [20, 193]

Primele cuptoare electrice, au fost dotate cu electrozi de arc din cărbune prefabricat. Cuptoarele moderne de azi funcționează cu electrozi continui de tip Söderberg. Acest din urmă tip de electrod a fost conceput încă din anul 1909 de către ing. norvegian C.W.Söderberg, care a efectuat încercări de a utiliza electrozi de cărbune nears în cuptorul electric, astfel ca electrozii să se formeze datorită căldurii Joule a curentului electric alimentat, precum și datorită căldurii rezultate din cuptor. Procedul a fost brevetat de către firma "Det Norske Aktieselskab" pentru Elektrokemisk Industrie, în Oslo în anul 1918. Primele cuptoare industriale pentru carbid și fonte, cu electrozi Söderberg s-au construit în anii 1925 - 1927 de către firma Elektrokemisk în colaborare cu Uzina Chistiona Spigerwerk [1, 3]

./.

1. DOMENIILE DE FOLOSIRE A CUPTOARELOR ELECTRICE

Utilizarea proceselor electrotermice în diferite ramuri ale industriei se explică printr-o serie de avantaje și anume :

- posibilitatea obținerii temperaturilor înalte de ordinul a 3000 °C ;
- concentrarea unei forțe mari într-un volum relativ mic ;
- posibilitatea desfășurării procesului tehnologic într-o atmosferă de protecție, fără introducere de impurități ;
- automatizarea reglării procesului, se face relativ ușor, etc.

Cuptoarele electrice și-au găsit utilizarea în principal în următoarele procese tehnologice :

- elaborarea oțelurilor de puritate ridicată și a oțelurilor aliate ;
- fabricarea feroaliajelor, respectiv aliaje de fier cu crom, mangan, siliciu, molibden, wolfram, vanadiu ;
- fabricarea carburilor metalice, în principal a carburii de calciu și a carburii de siliciu ;
- tratamente termice la metale ;
- fabricarea fosforului roșu, acidului fosforic și a altor produse pe bază de fosfor ;
- fabricarea electrocorindonului și a materialelor abrazive ;
- calcinarea și grafitarea electrozilor de cărbune ;
- încălzirea materialelor dielectrice în câmpuri electrice cu frecvență înaltă, ca exemplu materiale ceramice, materiale plastice, uscarea lemnului etc.

Alegerea tipurilor de cuptoare, pentru scopul adecvat diverselor tehnologii, se face atât în funcție de indicii tehnici cât și de cei economici. La o analiză mai puțin profundă rezultă că din punct de vedere economic, cuptoarele electrice sînt mai puțin rentabile decît cele cu combustibil și aceasta din cauza randamentelor energetice scăzute, realizate de agre-

gatele electrice ca urmare a neutilizării, sau a utilizării parțiale a energiei reziduale a gazelor de proces. [29, 30, 31, 32, 36]

Tinând seama însă de dificultățile tot mai acute privind asigurarea gazelor combustibile și în general a combustibilului de toate formele, de tendința de creștere a prețului acestora și de creșterea ponderii obținerii energiei electrice în hidrocentrale, cuptoarele electrice dotate cu echipamente care să asigure valorificarea energiilor reziduale pot fi considerate mult superioare cuptoarelor clasice, care folosesc pentru încălzire, combustibili gazoși, lichizi sau solizi [4, 14, 40, 41].

2. CUPTOARE ELECTRICE

În prezent, se folosesc în industrie un număr mare de cuptoare electrice ce diferă între ele, atât prin construcție cât și după principiul de funcționare. Cuptoarele din punct de vedere al construcției se deosebesc mult între ele și aceasta funcție de destinația lor și de felul materialelor care se prelucrează în ele. Clasificarea cuptoarelor după destinația lor, conduce la un număr ridicat de tipuri de cuptoare. Cea mai rațională clasificare însă este după caracteristica lor principală, adică după metoda de transformare a energiei electrice în cea termică. O astfel de clasificare se prezintă în tabelul 1.

2.1. Cuptoare electrice cu rezistență [43, 50, 75]

Cuptoarele electrice cu rezistență sînt acele cuptoare în care energia electrică se transformă în energie calorică prin efectul Joule sau prin curenții Foucault și se grupează în :

- cuptoare cu acțiune indirectă
- cuptoare cu acțiune directă
- cuptoare cu inducție

2.1.1. Cuptoare electrice cu rezistență cu acțiune indirectă.

Cuptoarele electrice cu acțiune indirectă din punct de vedere a domeniilor de utilizare se grupează în :

- a) Cuptoare pentru tratamente termice
- b) Cuptoare pentru topit metal

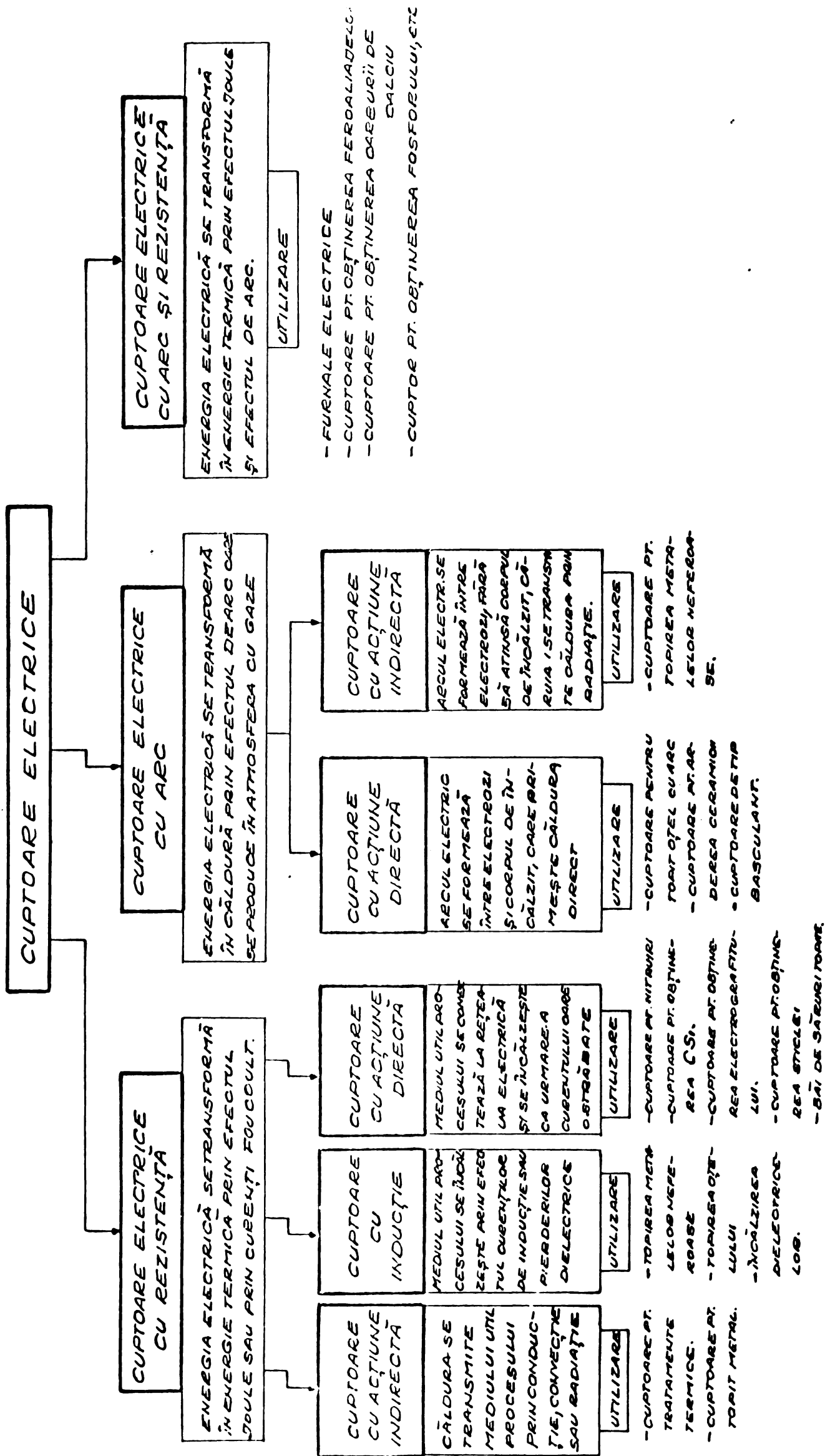
a) Cuptoarele cu rezistență cu acțiune indirectă pentru diverse tratamente termice, pot fi :

- cuptoare de temperatură joasă
- cuptoare de temperatură înaltă

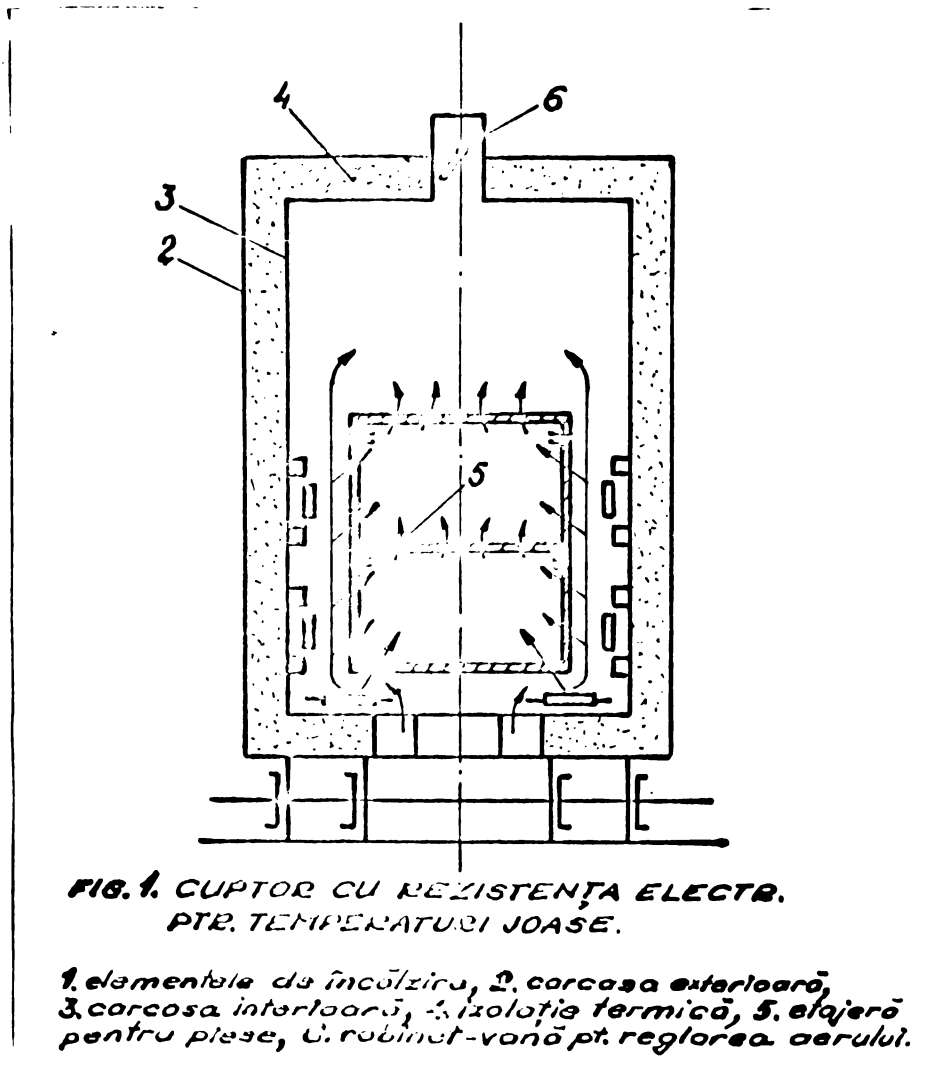
Limita care separă domeniile cuptoarelor cu temperatură înaltă se găsește între 600 și 700 °C, deoarece peste aceste temperaturi predomină necondiționat difuzibilitatea termică prin radiație.

./.

CLASIFICAREA CUPTOARELOR ELECTRICE DUPĂ MODUL DE TRANSFORMARE A ENERGIEI ELECTRICE ÎN ENERGIE TERMICĂ



In figura nr.1 este redată constituția unui cuptor electric cu rezistență de temperatură joasă și circulația aerului natural. Cuptorul are funcționare periodică și este compus dintr-o cameră închisă, izolată termic cu elementele de încălzire montate pe pereții interiori.



Produsele supuse reacției sau tratamentului termic se așează pe rafturi interioare. Temperatura de încălzire în interiorul camerei este de 200 - 300 °C.

Cuptoarele cu temperatură joasă se pot construi în diverse variante și anume :

- tip cameră cu funcționare discontinuă,
- tip cameră cu funcționare continuă,
- tip cameră cu recircularea gazelor rezultate din camera de reacție sau de tratament.
- tip transportor metalic cu poziție orizontală sau verticală, etc.

Cuptoarele electrice cu rezistență pentru temperatură înaltă din punct de vedere constructiv sînt foarte variate. Numai puține tipuri din ele se fac în serie, majoritatea lor sînt de tipuri individuale, adoptate pentru încălzirea anumitor produse. Variantele principale în care se construiesc aceste cuptoare sînt :

- cuptoare cu camera cu încălzitoare metalice, cu o singură zonă de încălzire ce realizează o încălzire pîna la cca. 950 °C.
- cuptoare cu camera cu rezistența de încălzire pe bază de siliciu și cu vatra de carborund în care se realizează o temperatură de 1350 - 1400 °C.
- cuptoare verticale cu elemente de încălzire amplasate pe pereții laterali.
- cuptoare cu propulsie cu funcționare continuă.
- cuptoare tip Carusel cu transportor în forma de inel, etc.

În figura nr.2 este prezentată schița unui cuptor cu propulsie cu funcționare continuă. Aceste cuptoare au în loc de vatra o bandă fără sfîrșit, întinsă între doi tamburi din care unul este acționat mecanic. Piesele de încălzit, se așează pe transportor și traversează cuptorul, încălzindu-se de la sursa de căldură montată între tamburii transportorului.

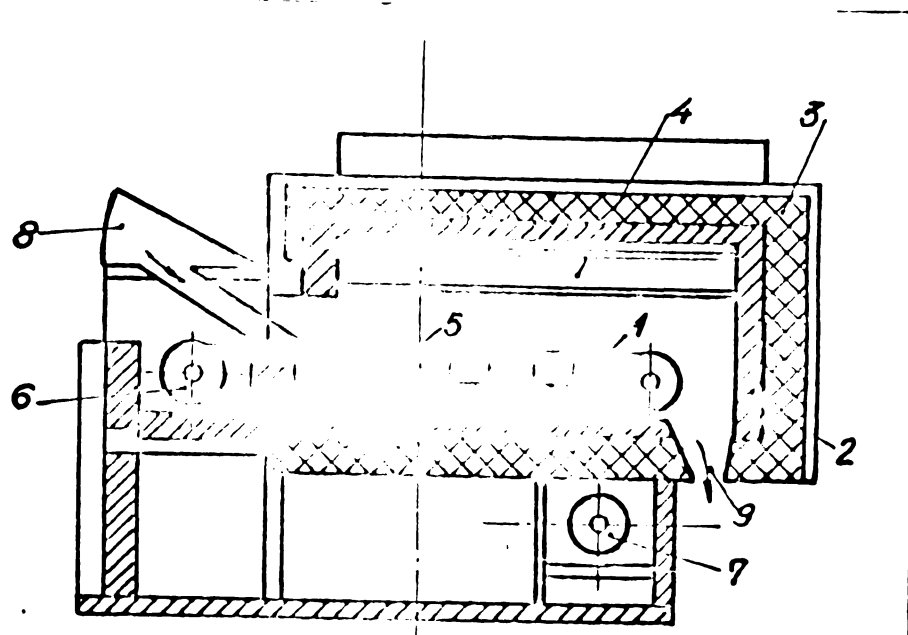


FIG. 2. CUPTOR CU PROPULSIE CU FUNCȚIONARE CONTINUĂ

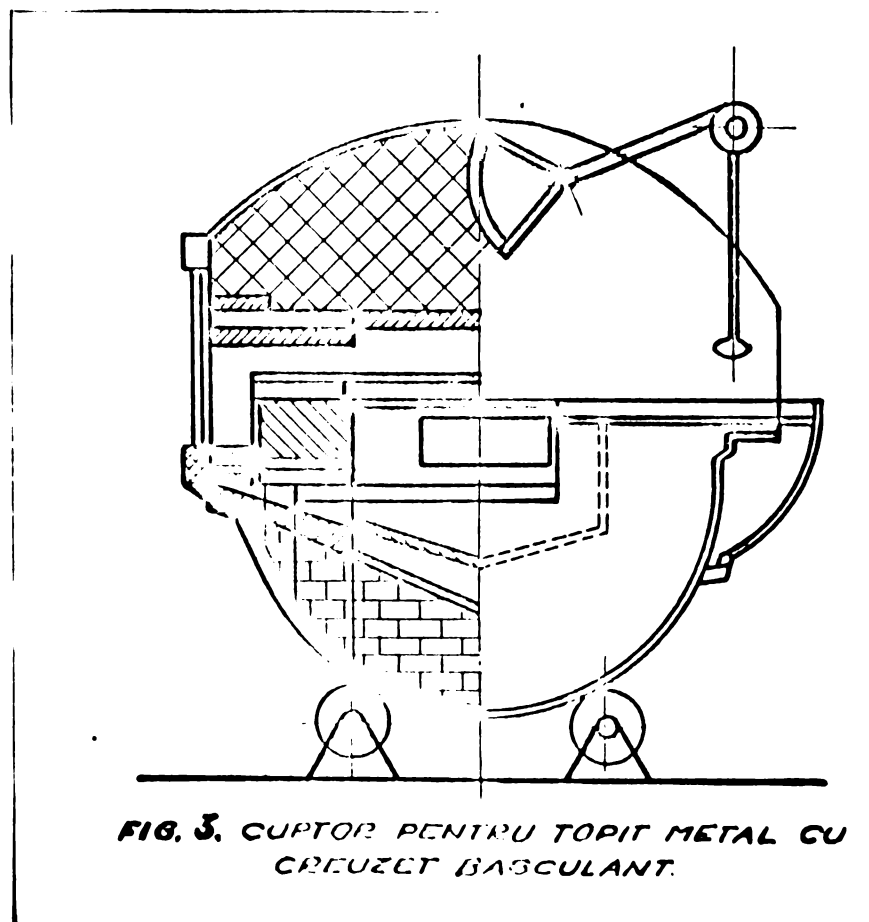
1. element de încălzire, 2. zidărie refractară, 3. izolație termică, 4. conductă de gaze, 5. bandă transportoare, 6. dispozitiv de întindere, 7. transmisia transp., 8. gură de încălzire, 9. gură de evacuare.

b) Cuptoarele electrice cu acțiune indirectă pentru topit metal se construiesc într-o diversitate mai scăzută decât cele pentru tratamente termice. Ele sînt cele mai practice pentru topirea metalelor ușor fuzibile ca plumbul, cositorul, zincul, etc. a căror temperatură de topire este în jur de 500 °C. Se pot la fel topi în cuptoare de o construcție mai specială și metale cu temperatura de topire mai ridicată ca : aluminiul, magneziul și aliajele lor [17]

Construcția acestor cuptoare este simplă și se compune de regulă dintr-o cuvă sau creuzet, în căptușeala căruia se găsesc elementele de încălzire. Pentru ușurarea descărcării topiturii, se utilizează dispozitive de basculare a creuzetului.

Pentru topirea oțelurilor, se utilizează cuptoare acoperite cu boltă, iar încălzirea se face cu elemente din cărbune situate sub bolta cuptorului.

În figura nr.3 se prezintă construcția unui cuptor pentru topit metal cu creuzet basculant.



71 M.
BIBLIOTECA

2.1.2. Cuptoare electrice cu acțiune directă.

În acest tip de cuptoare, produsul de încălzit se conectează direct în circuitul de alimentare a sursei de curent și corespunzător rezistivității lui electrice se asigură aportul termic necesar procesului. Încălzirea directă, are avantaje datorită faptului că degajarea căldurii se face pe tot volumul produsului de încălzit, viteza de încălzire nu este limitată și deci încălzirea mediului reactant este rapidă. Pierderile termice sînt scăzute, fapt ce conduce la posibilitatea utilizării în unele cazuri și a cuptorului fără căptușire sau izolație termică. Neajunsurile acestor tipuri de cuptoare constă în dificultatea menținerii și reglării temperaturii produsului de încălzit, datorită variației rezistenței electrice a acestuia cu temperatura, compoziția și materia produsului propriuzis [100]

Cuptoarele care funcționează pe acest principiu sînt utilizate în următoarele domenii industriale :

- încălzirea de diferite piese și materiale.

Ex. țevi, axe, bare, sîrmă de arc, piese forjate, etc. Cuptoarele acestea constau dintr-o cameră izolată termic în care se introduc materialele respective care sînt conectate direct la sursa de curent.

- grafitizarea electrozilor de cărbune. În

figura nr.4 este prezentată schema unui astfel de cuptor în care se realizează o temperatură de 2800 - 3000 °C [69]

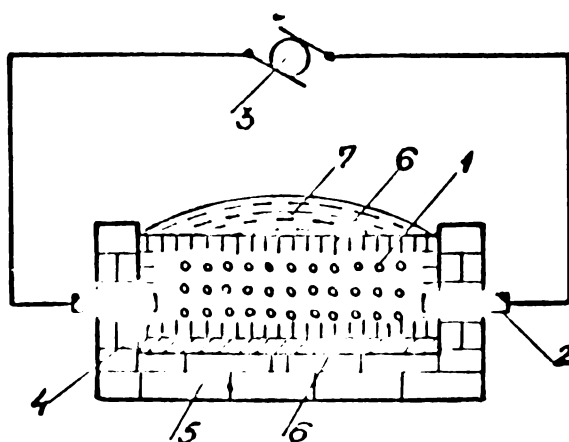
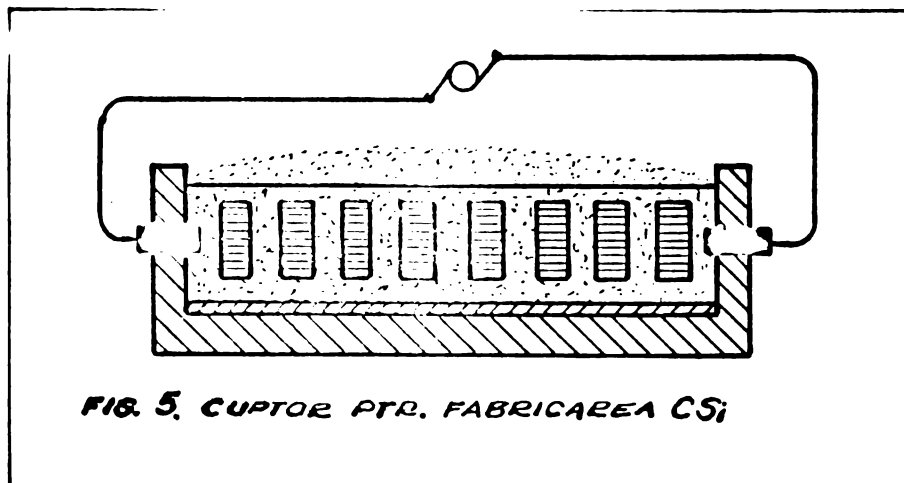


FIG. 4. CUPTOR ELECTRIC CU REZISTENȚĂ.

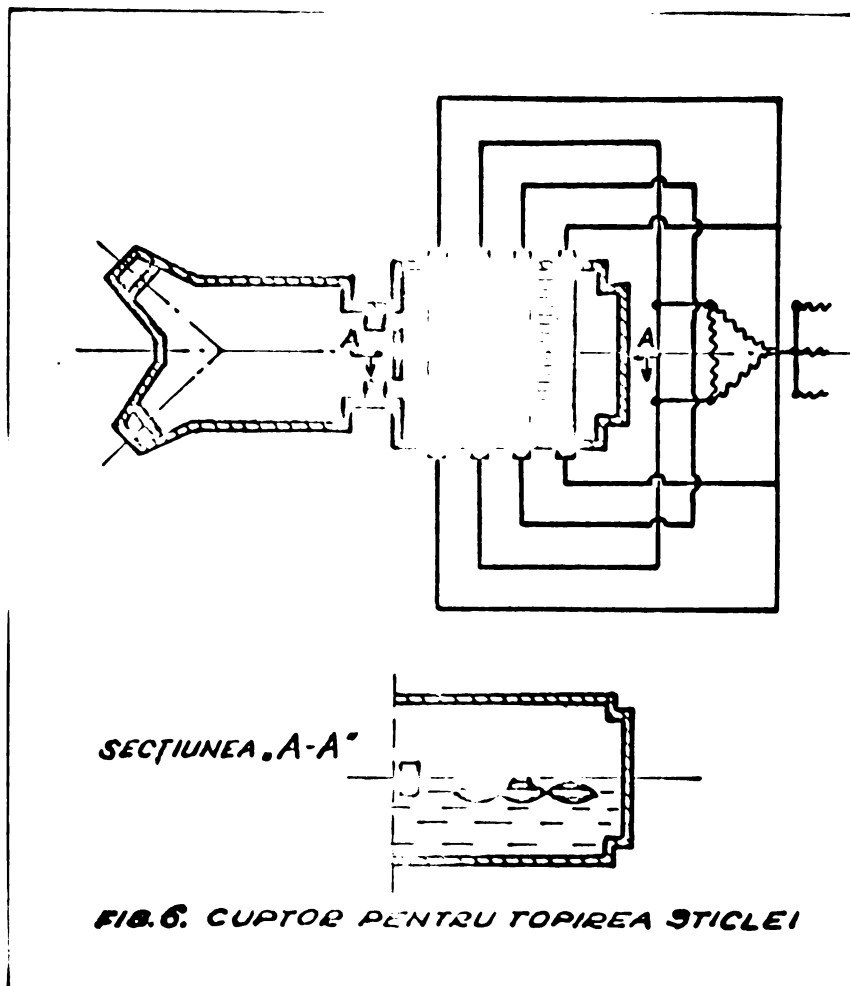
1. electrozi ce urmează a fi grafitizați, 2. electrozi pt. furnizarea energiei electrice, 3. generator de curent electric, 4. mașina metalică a cuptorului, 5. vatra cuptorului din cărămidă refractară, 6. strat de cocs granular, 7. strat de amestec de nisip și cocs.

- obținerea carburii de siliciu din nisip cuarțos, cărbune, rumeguș de lemn și sare de bucătărie. Construcția acestui tip de cuptor este redată în figura nr.5 [78]



- topirea sticlei, unde drept rezistență servește masa de sticlă în care se dezvoltă căldură în timpul trecerii curentului.

In figura nr.6 este prezentată schema unui cuptor pentru topirea sticlei.



- băi de săruri topite, unde produsele necesare încălzirii se scufundă în sarea topită prin care circulă curentul electric, etc.

2.2. Cuptoare electrice cu inducție [49, 25]

În cuptoarele electrice cu inducție, mediul util procesului se încălzește prin efectul curenților de inducție sau pierderilor dielectrice. Cantitatea de căldură degajată de curenții Foucault, depinde de frecvența variației câmpului magnetic, respectiv de frecvența curentului electric, utilizat. Pentru cuptoarele mici, se folosesc curenți cu frecvența de $10^5 - 10^6$ Hz., iar pentru cuptoarele mari 2000-500 Hz.

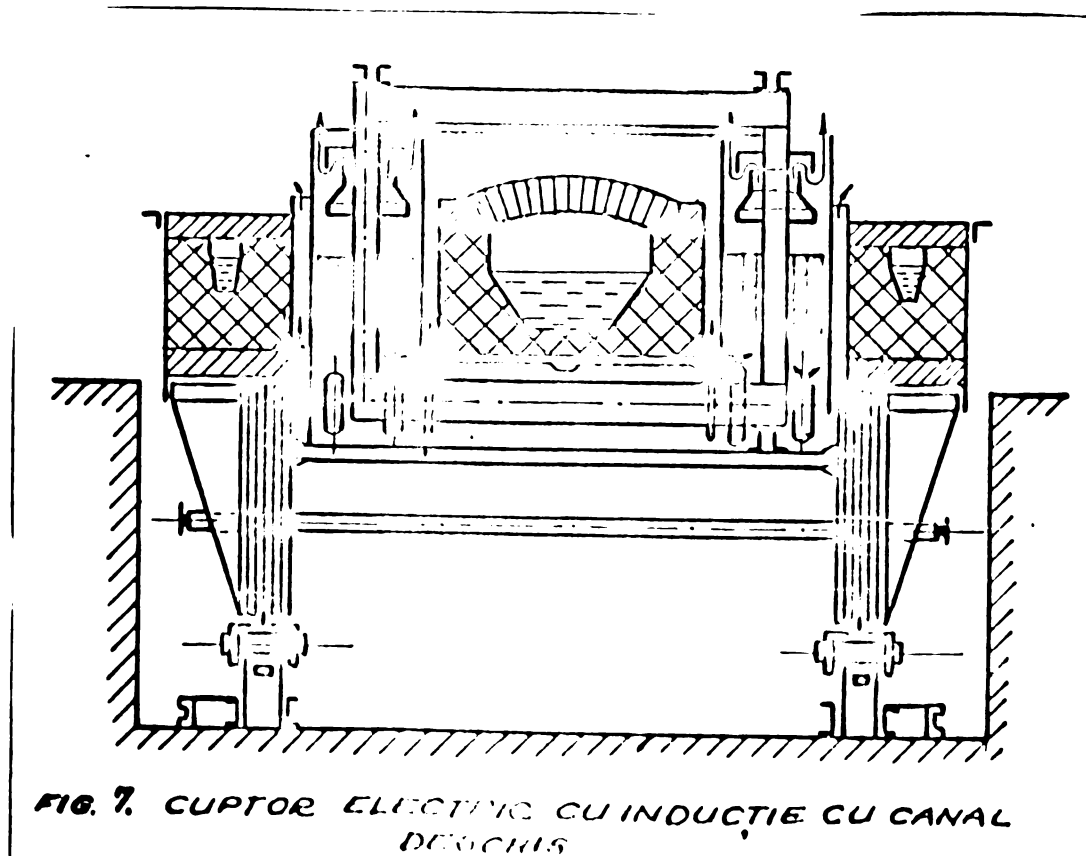
Aceste cuptoare se pot grupa în :

- a) cuptoare cu inducție fără miez de oțel
- b) cuptoare cu inducție cu miez de oțel

Cuptoarele fără miez se construiesc cu inductor cilindric dintr-un tub de aramă bobinat. Creuzetul cuptorului fără miez se execută direct la inductor și se confecționează din materiale refractare acide (cuarțită cu adăug de Al_2O_3) care în timpul primei topiri se aglomerează și se arde încât rezistă la mai multe șarje. Se construiesc și cuptoare cu creuzete de grafit, în care se pot topi și materialele neconductibile electrice.

Cuptoarele cu miez de oțel se construiesc în variante cu canal deschis și canal închis. La aceste cuptoare generarea căldurii se realizează în însăși metalul care se topește ceea ce face ca încălzirea, din punct de vedere termodinamic să fie economică.

În figura nr. 7 este prezentată construcția unui cuptor cu canal deschis,



iar în figura nr.8 este prezentată construcția unui cuptor cu canal închis.

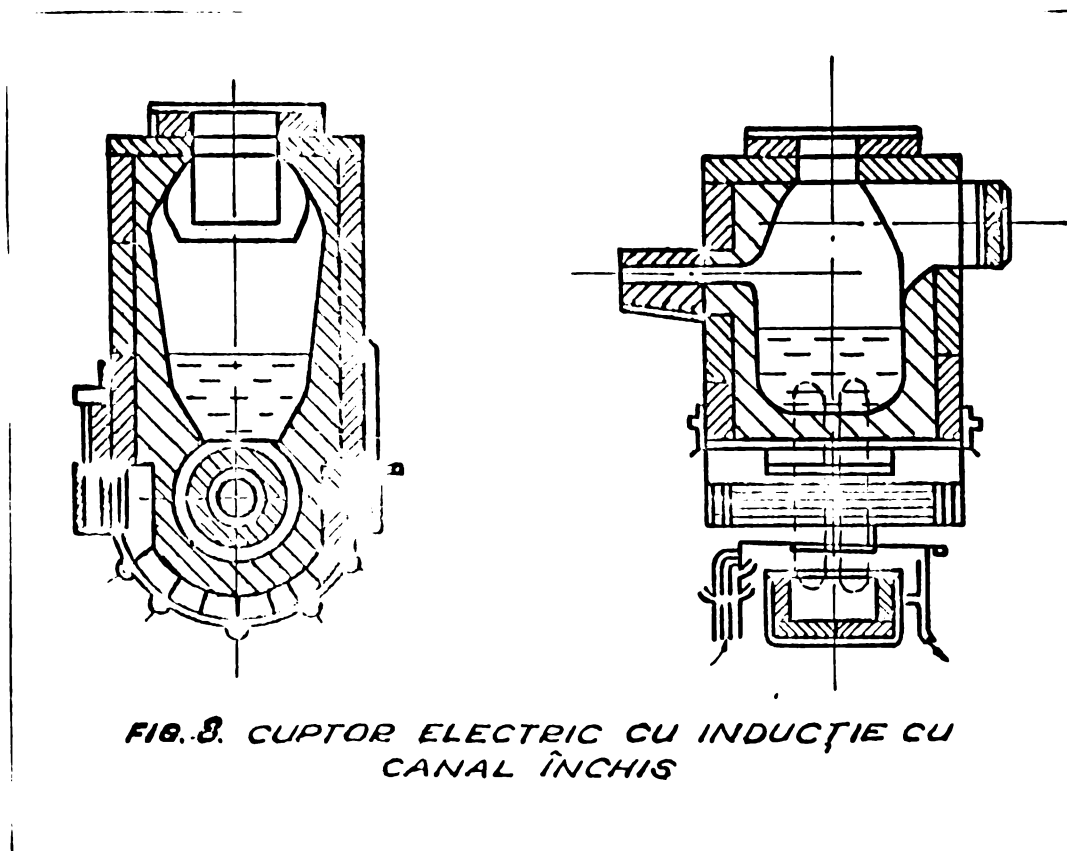


FIG. 8. CUPTOR ELECTRIC CU INDUCȚIE CU CANAL ÎNCHIS

2.3. Cuptoare electrice cu arc [22, 26, 28]

Cuptoarele electrice cu arc, se caracterizează prin faptul că energia termică și temperatura necesară proceselor tehnologice din cuva cuptorului, se realizează prin transformarea energiei electrice în energie calorică, prin efectul de arc și în unele tipuri de cuptoare și parțial prin efectul Joule. Efectul de arc predominând față de efectul Joule este determinant în stabilirea și conducerea procesului termic al cuptoarelor electrice.

Cuptoarele cu arc după modul de transformare a energiei electrice în energie termică se grupează în :

- cuptoare cu arc cu acțiune directă
- cuptoare cu arc cu acțiune indirectă
- cuptoare cu arc și rezistență

2.3.1. Cuptoare cu arc cu acțiune directă [44, 52]

La acest tip de cuptoare, arcul se formează între electrozi și mediul reactant care primește căldura direct. Se utilizează în general pentru topirea oțelului.

./.

Cuptoarele cu arc cu acțiune directă monofazice, bifazice și trifazice (fig. 11) au electrozi montați vertical în boltă și nu sînt solicitați la încovoiere decît în timpul basculării cuptorului, ceea ce permite mărirea diametrului electrozilor și prin aceasta a capacității cuptorului. Fiecare electrod se află în circuitul unei faze și fiecare fază lucrează independent. Curentul electric trece de la electrod, prin arcul electric la baia metalică pe care o străbate, circuitul închizîndu-se prin electrozii de vatră. Mantaua metalică este confecționată din oțel moale și este răcită cu apă.

Variantele constructive a cuptoarelor cu vatră bună conducătoare de electricitate, din cauza execuției și întreținerii dificile, cît și pentru numeroasele incidente în exploatare, au fost abandonate.

Cuptoarele electrice cu arc cu acțiune directă se compun din :

- cuva cuptorului, confecționată din tablă de oțel, căptușită cu zidărie refractară bazică (pentru producția de oțel în lingouri) sau acidă (pentru turnătorii). Cuvă cuptorului este basculată, permițînd în acest fel descărcarea topiturii după fiecare șarjă.

- bolta cuptorului din profile de oțel și zidărie refractară este deplasabilă, permițînd încărcarea, bascularea sau înlocuirea cuvei.

- dispozitivele de susținere - prindere și manevrare a electrozilor, care asigură mișcarea pe verticală a electrozilor la o lungime de arc funcție de parametrii electrici ai transformatorului și caracteristicile încărcăturii.

- electrozii pentru arc (cărbune sau grafit)

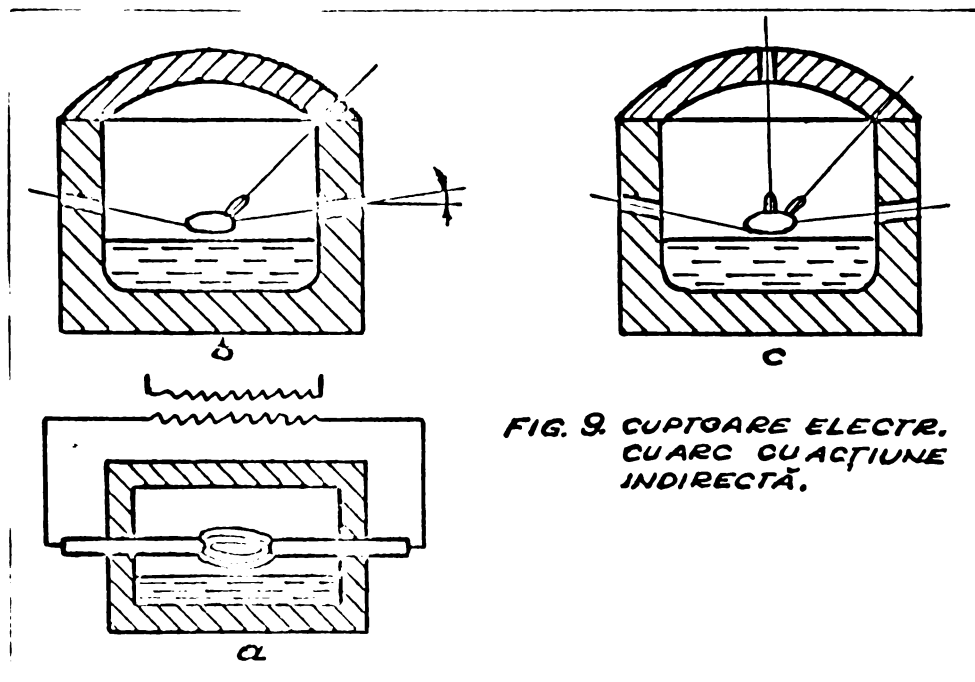
- sursa de energie electrică (transformatorul și rețelele de curent)

2.3.2. Cuptoare cu arc cu acțiune indirectă [12]

La acest tip de cuptor, arcul electric se formează între doi electrozi de grafit montați orizontal, ce radiază căldura la încărcătură și la boltă (fig. 9 a)

./.

Cuptoarele cu acțiune indirectă, au fost primele cuptoare electrice introduse în oțelării după realizarea generatorului de curent alternativ și a transportului la distanță a energiei electrice.



Cuptoarele monofazice cu doi electrozi de grafit (tip Stassano) 9 nu au dat rezultate corespunzătoare și după anul 1900, au fost înlocuite cu cuptoare cu trei electrozi așezați decalajați la 120° și înclinați față de planul orizontal cu cca 70 grade (fig. 9 b). Locul de întâlnire al celor trei electrozi este ales la asemenea distanță față de baie, încât să nu fie stropiți cu zgură, iar tensiunea necesară trecerii curentului electric alternativ trifazat între vîrfurile lor (90 - 110 V), să fie mai mică decît cea necesară pentru a se forma arcul electric între vîrfurile electrozilor și baie.

În cuptorul tip Remnerfelt (fig. 9 c) pentru utilizarea mai bună a căldurii și protejarea căptușelii refractare, s-a introdus al patrulea electrod prin boltă, cu o încărcare electrică de 2 ori mai mare decît a electrozilor orizontali.

Datorită capacității reduse, cît și în special a transmiterii dificile a căldurii prin stratul de zgură și uzura mare a bolții, acest tip de cuptoare nu mai prezintă interes pentru producția industrială.

./.

2.4. Cuptoare electrice cu arc și rezistență

[38, 39, 42, 51]

La acest tip de cuptoare energia termică și temperatura necesară procesului, se asigură atât prin efectul Joule cât și prin efectul de arc.

Caracteristicile care determină construcția acestor cuptoare, dat fiind marea lor diversitate sînt :

- particularitățile procesului tehnologic
- puterea cuptorului
- forma cuvei și așezarea electrozilor
- sistemele de încărcare și descărcare a cuvei

cuptorului

Dintre procesele obținute în acest tip de cuptoare fac parte :

- procesul de obținere a carburii de calciu (carbhidul) prin reducerea oxidului de calciu cu carbon.
- procesul de obținere a concentratelor metalice prin topirea minereurilor sulfuroase de cupru și nichel.
- procesul de obținere a electrocorindoului
- procesul de topire a muliței
- procesul de obținere a carburii de sulf
- procesul de obținere a carburii de bor
- procesul de sublimare a fosforului
- procesul de topire electrică a fontei
- procesul de obținere prin reducerea minereurilor, a silico-aluminiului, ferosiliciului, ferocromului, feromanganului, silicomanganului, ferowolframului, ferovanadiului, feromolibdenului, etc.

Unele din produsele enumerate mai sus, se consumă în industrie în cantitate mare (C_2Ca , feroaliajelor, etc) iar altele în cantități mici, gradul de mărime al producției este factorul determinant în alegerea puterii cuptorului electric, pentru obținerea unuia, sau altui produs.

./.

367.993
288 G
Date

O parte din aceste procese, se desfășoară fără o cantitate însemnată de zgură (C_2Ca , $FeSi$) altele însă sînt însoțite de cantități de zgură care întrec cîteodată volumul produsului principal ($FeMn$). La procesele fără zgură, zona de topire este puternic concentrată într-un spațiu îngust, inelar în jurul electrozilor, partea predominantă a încărcăturii coboară direct în zona de topire iar restul încărcăturii rămîne în cuptor aproape inactivă. Incărcătura deci este necesar să se facă direct, sau cît mai aproape de zona inelară din jurul electrozilor. Din aceste considerente, acest proces este foarte pretențios din punct de vedere a compoziției și starea de granulație a șarjei. Topitura obținută se aglomerează pe vatra cuptorului și se poate complet elimina prin orificiul de scurgere. La procesele cu zgura multă, deasupra topiturii se găsește un strat de zgură, care uneori ocupă peste $1/3$ din adîncimea cuvei. Incărcătura proaspătă a cuptorului trece prin stratul de zgură topită și treptat se dizolvă în el. Procesul se desfășoară pe întreaga suprafață a vetrei cuptorului, este ușor condus, nu se impun condiții așa severe pentru omogenitatea șarjei, compoziția ei și locul de alimentare în cuptor.

Există unele procese numite "bloc proces" ($FeWo$, electrocorindon, etc) la care topitura se menține în stare lichidă, numai într-o zonă mică din jurul electrozilor, ca urmare a unei călduri latente de solidificare scăzute a produsului respectiv. Din aceste cuptoare de regulă de puteri mici (sub 2 MW) topitura formată nu se evacuează. Procesul decurge pînă la complecta umplere a cuvei, după care se supune răcirii și demolării blocului format. [82, 83]

Tehnologiile cu "bloc proces" cu economicitate redusă, treptat se înlocuiesc cu procese continuu, care utilizează cuptoare de construcții speciale.

În tehnologiile de reducere a minereurilor în cuptoare electrice, se degajă la gura cuptorului o mare cantitate de gaze, care trebuie evacuată. Temperatura și concentrația gazelor depind de natura procesului realizat. La majoritatea proceselor de reducere, principalul component din gazele de combustie este oxidul de carbon, care în contact cu

oxigenul din aer arde la bioxid de carbon. In alte tehnologii rezultă gaze toxice, sau asfixiante, cum este bioxidul de sulf, la topirea concentratelor sulfuroase, fosforul gazos, la sublimarea fosforului, etc. unde se impune captarea totală a acestor gaze, care se poate realiza numai în cuptoare cu bolta complet închisă. Totuși, în majoritatea tehnologiilor din cauza negăsirii unor soluții tehnice economice de captare a gazelor, cuptoarele electrice pentru reducerea minereurilor se constituie deschise și gazele rezultate din procesul de topire se evacuează din zona de lucru prin sisteme de ventilație adecvate. Tipul constructiv al cuptorului se impune deci a fi ales și funcție de necesitatea de a folosi gazele de proces în calitate de combustibil, sau materie primă, pentru prelucrări ulterioare.

Temperaturile de disociere a oxizilor și de formare a compușilor doriți la majoritatea proceselor electrotermice care se realizează în cuptoare electrice sînt cuprinse între 1500 - 2000 °C. In unele cazuri, de exemplu, la topirea ferowolframului, temperatura este mai mare și atinge aproape 3000 °C (temperatura de reducere a oxizilor wolframului este mai mică decît temperatura de topire a wolframului care este egală cu 3390 °C) [73]

Cele expuse mai sus, cu privire la particularitatea proceselor de reducere a minereurilor, în cuptoarele electrice, oferă suficiente elemente despre gradul de influență a procesului, asupra construcției cuptorului electric propriuzis.

3. STUDII ASUPRA CUPTOARELOR ELECTRICE PENTRU OBTINEREA CARBIDULUI

3.1. STUDII PRIVIND TIPURI CONSTRUCTIVE DE CUPTOARE PENTRU OBTINEREA CARBIDULUI [11, 65, 66]

În industrie pentru obținerea carbidului se utilizează o varietate mare de tipuri de cuptoare electrice care se deosebesc între ele după puterea de lucru, construcția propriuzisă și tipurile electrozilor folosiți.

3.1.1. Cuptoare electrice monofazice

Tipul cuptorului modern monofazic este cuptorul Miguet (fig.10). El funcționează cu tensiune mai joasă și intensitate mai ridicată, ceea ce din punct de vedere al conducerii tehnologiei este avantajos.

Cuptorul are formă circulară, cu vatra din cărbune amorf și este prevăzut cu un singur electrod de secțiune mare, format din blocuri de cărbune amorf.

Arcul electric se realizează între electrodul suspendat și vatra cuptorului.

Transformatorul de curent se găsește amplasat sub cuptor. Curentul electric este condus la vatra cuptorului și la electrod prin conducători de cupru, ceea ce compensează bine câmpul electromagnetic al celor doi curenți contari.

Deoarece cuptorul este circular, rețeaua de alimentare electrică poate fi repartizată uniform pe întreaga circumferință, astfel încât curentul total poate fi divizat în mai mulți curenți ramificați, ceea ce permite o bună compensare a câmpului. Prin această divizare a curentului se îmbunătățește și factorul de putere.

Zona de topire a cuptorului, poate fi închisă în vederea recuperării oxidului de carbon.

Cuptoarele monofazice permit o încărcare variind între 8000 și 12000 kW. Au avantajul unei game largi a puterii în condiții de randament ridicat comparativ cu cup-

./.

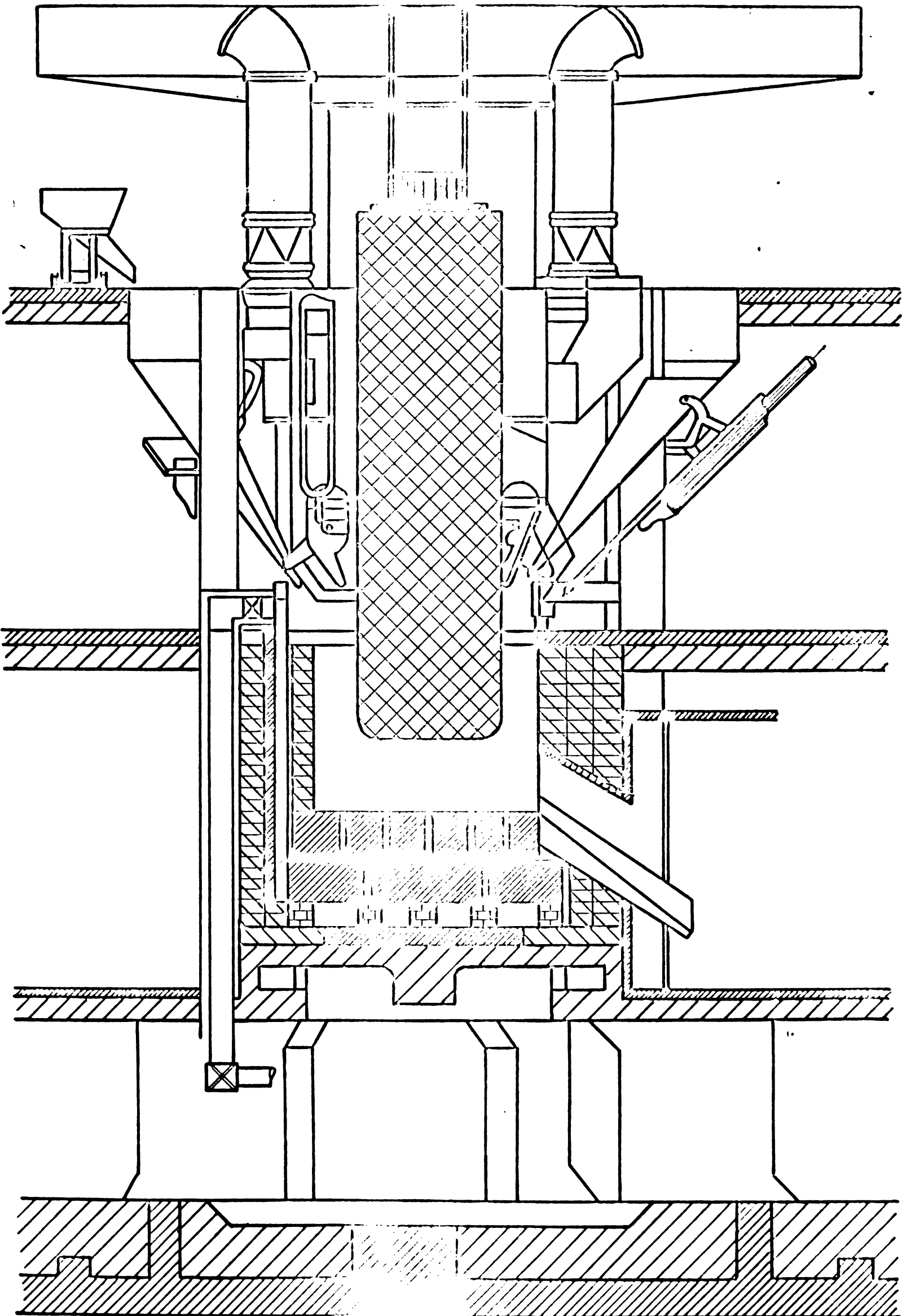


FIG. 10. CUPTOR ELECTRIC NONFERROUS.

toarele trifazice de aceeași capacitate, situație foarte favorabilă din punct de vedere economic, pentru sistemele energetice cu tarif preferențial.

Cuptoarele monofazice, în special cele de mică capacitate (cuptoare de laborator) se construiesc cu unul sau doi electrozi (fig. 11 și fig. 12) de regulă din cărbune amorf și se utilizează pentru diverse teste de materii prime și obținerea unor carburi valoroase (carbura de titan, wolfram, vanadiu, tantal, etc). Cuptoarele prezentate în fig. 11 și 12 au fost dimensionate și testate de autor.

3.1.2. Cuptoare electrice trifazice

O caracteristică a acestor cuptoare este numărul de 3 electrozi cu care sînt prevăzute. S-au construit cuptoare cu sarcina de peste 50.000 kW care funcționează fără dificultate.

Se deosebesc două tipuri de cuptoare trifazice : cuptoare cu electrozi în linie și cuptoare simetrice, în care electrozii sînt amplasați în vîrfurile unui triunghi echilateral.

La ambele tipuri de cuptoare, arcul voltaic se produce între cei trei electrozi, prin vatra cuptorului constituită din blocuri de electrozi amorfi.

Vatra cuptorului nu este legată la rețeaua electrică a transformatorului, ea este numai mediul de închidere a arcului voltaic.

Acest tip de cuptoare sînt deservite de un singur transformator trifazic, dar se pot folosi cu mai mic randament și transformatoare monofazice.

Electrozii utilizați la cuptoarele trifazice de regulă sînt continui de tip Süderberg sau pot fi discontinui formați din blocuri de cărbune amorf.

Electrozii pot fi manevrați pe verticală sau la cei discontinui și pe orizontală, cu ajutorul unor trolii sau dispozitive hidraulice în vederea reglării sarcinii electrice.

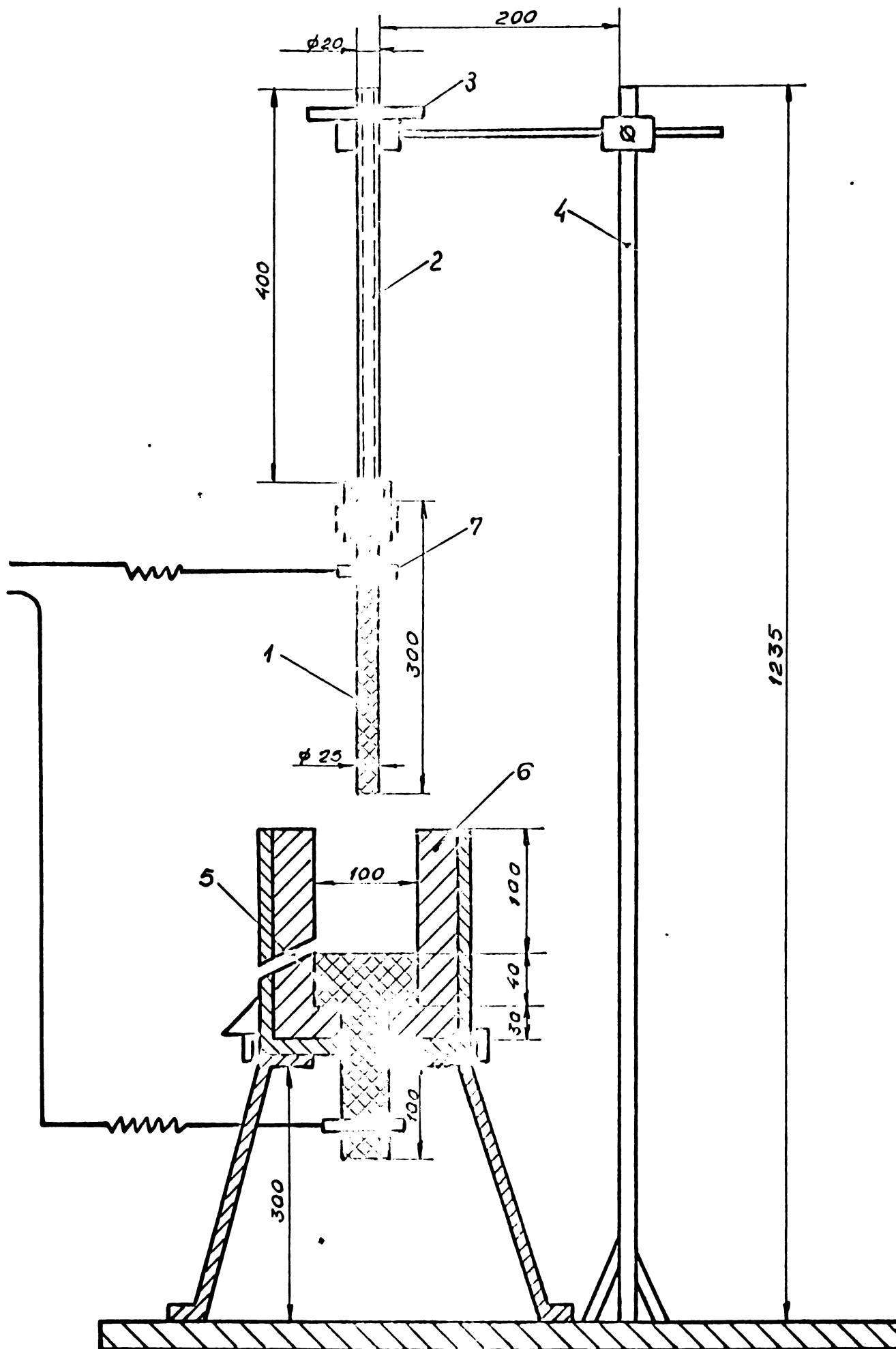


FIG.11. CUPTOR MONOFAZIC CU UN ELECTROD.

- 1. electrod;
- 2. suport electrod;
- 3. dispozitiv reglat cursă;
- 4. tijă de susținere;
- 5. electrod de vatră;
- 6. cuvă refractoră;
- 7. bac de contact.

INSTITUTUL POLITEHNIC

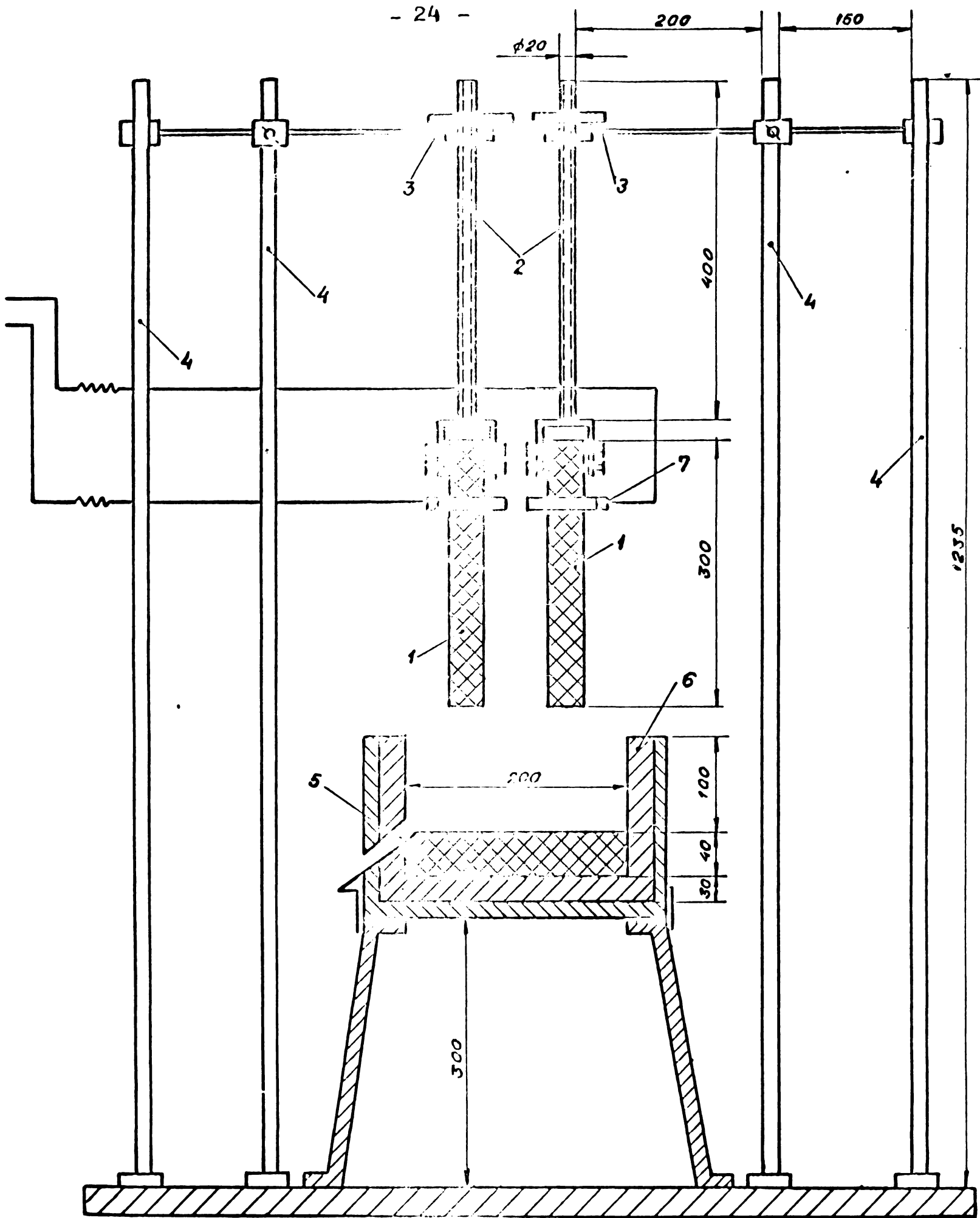


FIG. 12. CUPTOR MONOFAZIC CU DOI ELECTROZI.

1. electrozi; 2. suport electrod; 3. dispozitiv reglat aersa; 4. tijă de susținere; 5. electrod de vatră; 6. cuvă refractară; 7. bacuri de contact.

Sînt cuptoare la care cu ajutorul dispoziti-
velor de vehiculare orizontală, electrodul din mijloc poate fi
adus, chiar în timpul funcționării cuptorului mai aproape de
gura de scurgere a carbidului, ceea ce ușurează evacuarea
topiturii din cuptor.

Gazele de reacție împreună cu praful antre-
nat din sarjă, se captează la nivelul platformei de alimentare
prin intermediul unei hote, așezate deasupra cuptorului

Carbidul format, în cuptor în stare topită
se scurge periodic prin gurile de scurgere în cuve din fontă,
de unde după răcire se trece la stația de concasare, sortare
și ambalare pe tipul granulo-metric.

Cuptoarele trifazice cu electrozi așezați în
triunghi sau în linie, aparțin de regulă unităților de capaci-
tate mare. Cîteva tipuri constituite de cuptoare trifazice :

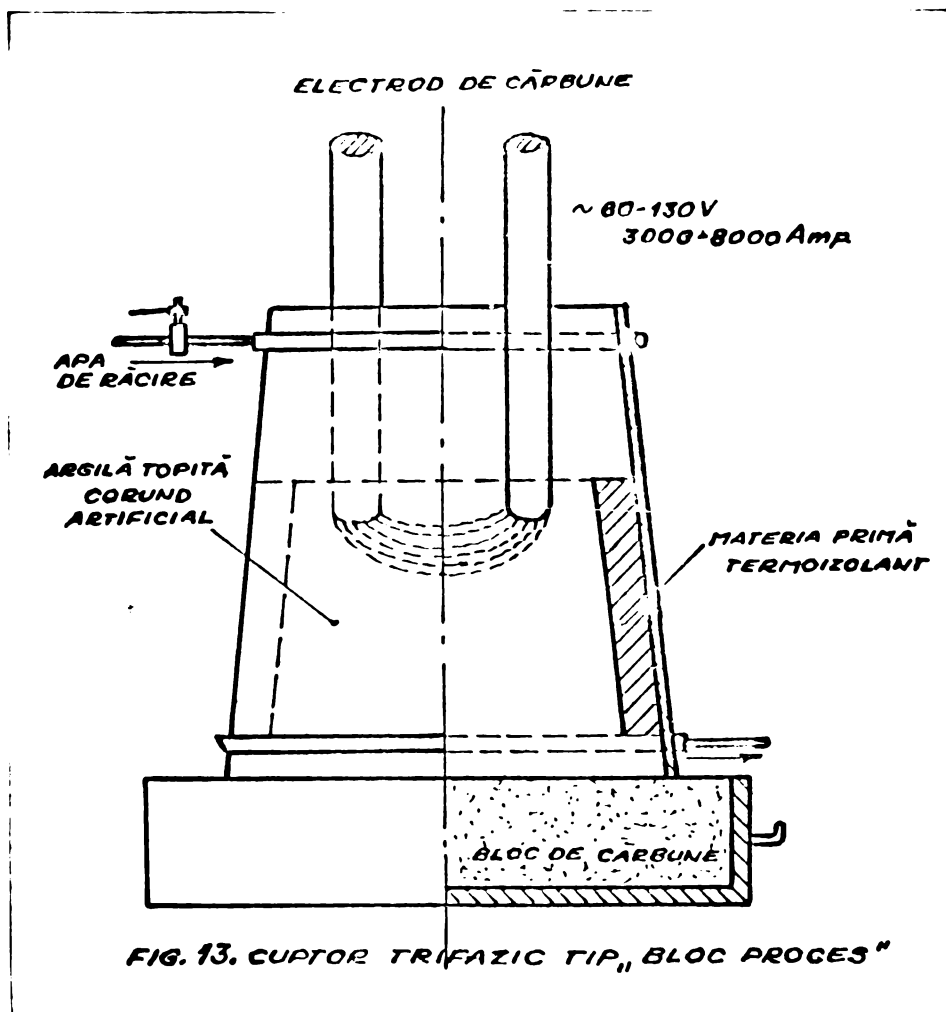
a) Cuptor trifazic de mică capacitate de
"tip deschis cu cuvă rotundă"

Acest tip de cuptor cu putere sub 2 MW are
cuva mobilă fixată pe un cărucior metalic. Forma cuvei este
în secțiune circulară și este constituită din zidărie refrac-
tară și blocuri din cărbune. Electrozii de secțiune circulară
așezați în vîrfurile unui triunghi echilateral, pot fi din
cărbune amorf, grafit sau de tip Söderberg. Se utilizează în
general ca "bloc proces" pentru obținerea electrocorindonului.

În figura 13 este prezentat acest tip de
cuptor.

Principalele caracteristici ale unui cuptor
de 2.000 kVA :

- dimensiunile cuvei	\varnothing 2300 mm.h = 1250 mm
- electrozi de cărbune	\varnothing 550 mm
- curentul în secundarul transformatorului	u = 75 - 130 V I = 3000 - 8000 A
- densitatea de curent pe electrod	1,26 - 3,4 A/omp.



Pentru producerea corindonului artificial se utilizează și cuptoare de mică capacitate construite pentru industria carbidului. Aceste cuptoare au vatra formată dintr-o cuvă cu diametrul de \varnothing 3,50 m și înălțimea de 1,60 m căptușită cu șamotă, avînd fundul pavat cu blocuri carbonice. Electrozii de arc utilizați sînt de tip Söderberg, cu diametrul de \varnothing 1000 mm. Gura de scurgere are dimensiunile de 260 x 220 mm. Evacuarea materialului topit din cuvă se face în forme căptușite cu blocuri carbonice cu ajutorul unui electrod de golire care face arc cu electrozii propriuși ai cuptorului.

În figura nr.14 se prezintă un cuptor de tip deschis, de putere mică (12 MW) cu cuvă rotundă și electrozi Söderberg. Forma constructivă este asemănătoare cu a cuptorului de 2000 kVA, cu deosebirea că cuva cuptorului este fixă și este prevăzută cu una sau mai multe orificii pentru evacuarea topiturii din cuptor. Acest tip de cuptor se utilizează pentru producția carbidului și a întregii game de feroaliaje.

./.

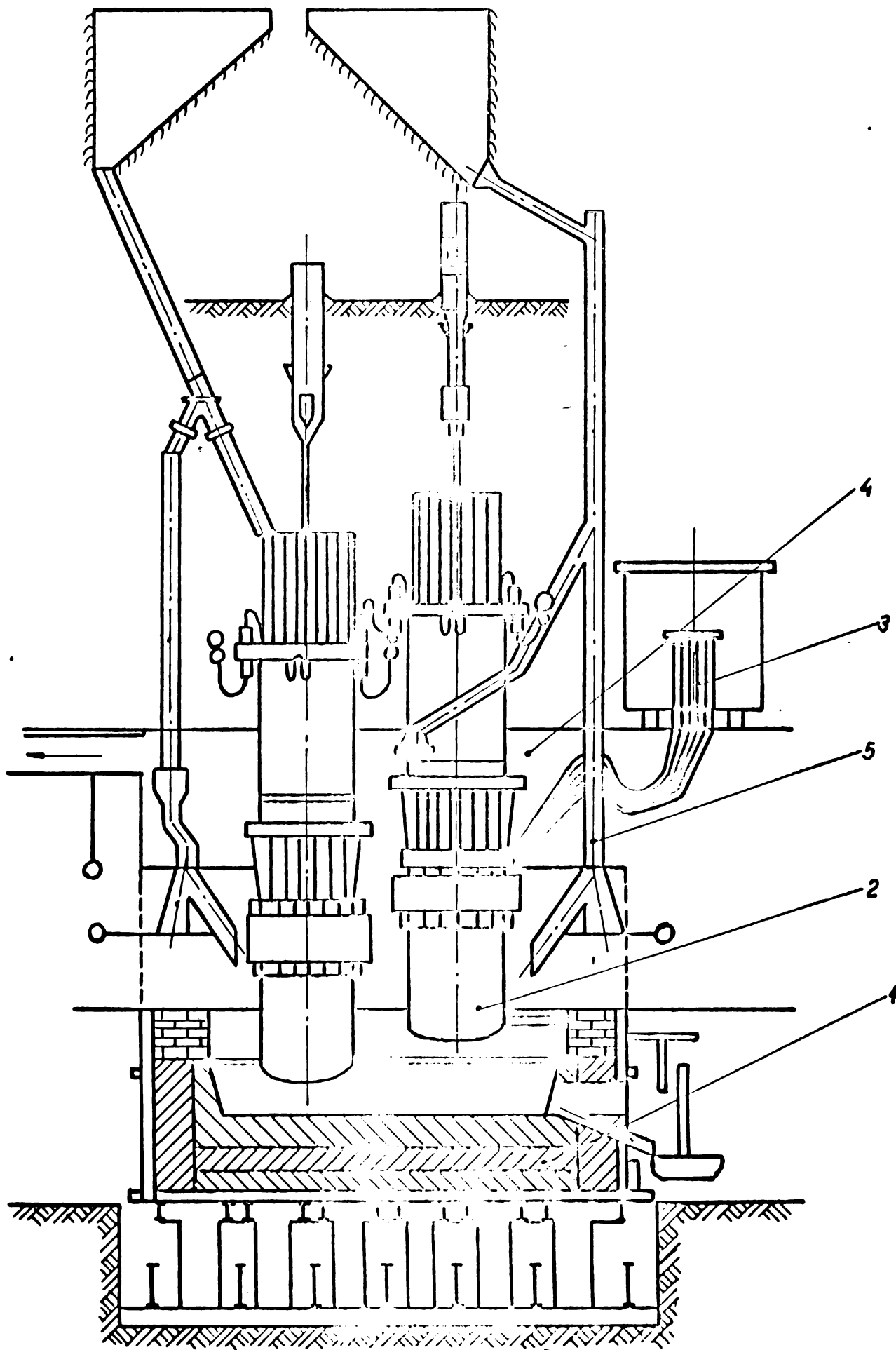


FIG. 14. CUPTOR TRIFAZIC DESCHIS

1. cuva cuptorului; 2. electrozi; 3. alimentarea cu energie electrică
4. hota de absorbție a gazelor; 5. jgheab de alimentare cu mat. primar

Principalele caracteristici ale cuptoarelor cu cuvă rotundă, cu funcționare continuă, sînt prezentate în tabelul nr.2.

Tabelul nr.2

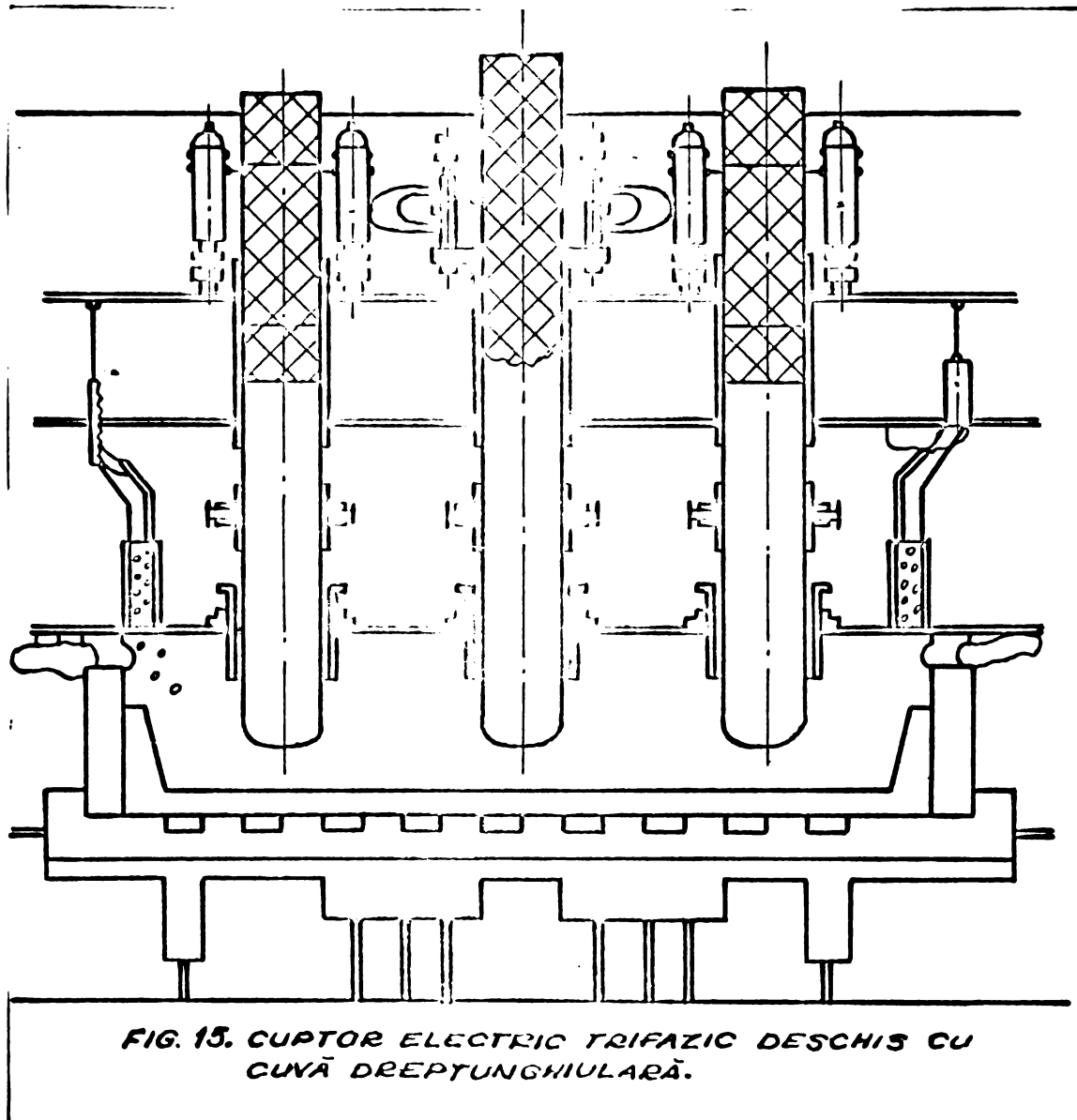
Principalele caracteristici ale cuptoarelor electrice de mică capacitate, cu cuvă rotundă

Procesul în care se ut.	Putere instal MVA.	Dimens. cuvei (mm)		Tipul electrozi	Diam. electr. (mm)	Caracter. curenului în secundar transform.		Tipul transform
		Ø	H			U.(v)	I(A)	
carbid	12,0	5400	2150	Söderberg	Ø 1000	121,5 - 180	40000	Trifazice cu 5 trepte de tensiune
fero-siliciu	14-16	3400	788	"	Ø 900	104 - 154	50000	Trifazice cu 17 trepte de tensiune
feroman-gan	10-14	3400	788	"	Ø 900	129 - 138	40000 - 60000	Trifazice cu 13 trepte de tensiune
fero-crom	9,0	4400	1600	"	Ø 1000	130 - 170	20000 - 30000	Trifazice cu 5 trepte de tensiune
siliciu metalic	6,3	2800	1100	Cărbune amorf	Ø 500	102 - 150	24000 - 28000	Trifazice cu 13 trepte de tensiune

Cu respectarea parametrilor electrice din secundarul transformatorului (parametrii specifici fiecărui mediu reactant), întreaga gamă de cuptoare prezentate în tabelul nr.2 poate fi utilizată pentru oricare produs prezentat.

b) Cuptor trifazic de mică capacitate de tip deschis cu cuvă dreptunghiulară.

În figura nr.15 se prezintă un tip de cuptor, cu cuvă dreptunghiulară și electrozi așezați în linie.



Aceste tipuri de cuptoare se construiesc pînă la puterea de max. 20 MVA. Se utilizează în special pentru producerea carburului. Cuvă este construită din zidărie refractară și blocuri de cărbune amorf. Întreaga cantitate de gaze rezultată din reacție arde la suprafața șarjei.

Caracteristicile unui cuptor de 12 MVA pentru producerea carburului :

- dimensiunile interioare ale cuvei înzidite 7600 x 3190 x 2000 mm
- Electrozi Söderberg, cu \varnothing 1000 mm
- distanța între electrozi 2.300 mm
- densitatea de curent pe electrozi 5,73 A/cmp.
- transformator trifazic cu 5 trepte de tensiune, care realizează parametrii din tabelul nr.3.

./.

Tabelul nr.3

Parametrii electrici ai unui transformator trifazic, care alimentează un cuptor de 12 MVA.

Treapta de tensiune	Puterea kVA	Tensiune în primar în (V)	Intensit. în primar în (A)	Tensiune în sec. în (V)	Intens. în sec. în (A)	Obs.
1	9.450	5.500	994	121,5	45.000	
2	10.100	5.500	1.060	129,0	45.000	
3	10.750	5.500	1.130	137,5	45.000	
4	11.600	5.500	1.220	147,5	45.000	
5	12.500	5.500	1.313	158,0	45.000	

c) Cuptoare trifazice de tip semideschis cu puteri cuprinse între 20 - 40 MVA.

Cuptoarele trifazice de tip semideschis, de puteri mijlocii și mari, se construiesc cu cuvă dreptunghiulară cu electrozi de tip Söderberg așezați în linie.

Cuptoarele cu puteri între 20 - 30 MVA, sînt considerate de putere medie, iar cele peste 30 MVA de putere mare. Cuvă acestor cuptoare este construită din tablă de oțel, cu partea frontală răcită cu apă. Este izolată cu granule de șamotă, plăci din azbest și cărămidă refractară. Vatra propriuzisă este constituită din blocuri de cărbune amorf.

La cuptoarele cu puteri de peste 30 MVA, de regulă vetrele sînt zidite într-o construcție specială care permite acumularea topiturii cu densitate mai ridicată (FeSi) pe vatră și eliminarea acesteia printr-un orificiu amplasat vertical în cuvă. Dimensiunile constructive sînt funcție de puterea cuptorului.

Electrozii de tip Söderberg sînt de formă dreptunghiulară, cu capetele rotunjite. Electrocul din mijloc la cuptoarele cu o singură gură de scurgere este deplasat mai în față spre panoul frontal, ușurînd în acest fel evacuarea topiturii din cuva cuptorului. Susținerea și manevrarea electrozilor de regulă se face hidraulic cu comenzi automate.

./.

Alimentarea cu energie electrică se realizează prin rețele de cupru (țevi, bare, cabluri) de la transformatori mono sau trifazici, cu mai multe trepte de tensiune se se pot schimba sub sarcină.

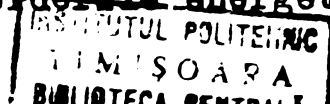
Captarea parțială a gazelor, se asigură prin montarea transversal între electrozi de arc, a unor hote (pîlnii de captare) amplasate deasupra topiturii în încărcătura cuptorului. Evacuarea gazelor de reacție, se realizează la debi-te ce asigură o viteză de reacție maximă. In figura nr.16 este prezentată schița unui cuptor de 40 MVA.

In tabelul nr.4 sînt prezentate cîteva date constructive a acestui tip de cuptor funcție de puterea cuptorului.

d) Cuptoare electrice trifazice de tip acoperite

Acest tip de cuptoare cu puterea de lucru, forma cuvei și a electrozilor, identică cu a cuptoarelor semideschise se caracterizează prin faptul că partea superioară a cuvei este acoperită cu o construcție metalică specială răcită, încît rămîne liberă numai o zonă în jurul electrozilor de cca 250 - 300 mm, prin care se introduc reactanții în cuva propriuzisă și se degajă excesul de gaze care nu sînt captate din zona de reacție. Pentru aceste cuptoare, se impun condiții de calitate (compoziție și granulometrie) a materiilor prime mai exigente. Permeabilitatea șarjei în fantele libere din jurul electrozilor, trebuie să asigure evacuarea gazelor acumulate sub acoperire și care nu pot fi evacuate prin instalația de absorbtie. Raportul dintre cantitatea de gaze reci evacuate din zona de reacție și cantitatea care arde în jurul electrozilor, se stabilește și din considerente legate de procesul de formare a electrozilor, la rîndul lui dependent de calitatea materiilor prime utilizate pentru formarea electrodului.

Performanțele tehnico-economice a acestui tip de cuptor, sînt superioare cuptoarelor semideschise în sensul unui randament energetic mai ridicat și un consum de reducător mai scăzut. La suprafața încărcăturii procesele termice sînt mai moderate si deci pierderile energetice și de materii prime mai scăzute.



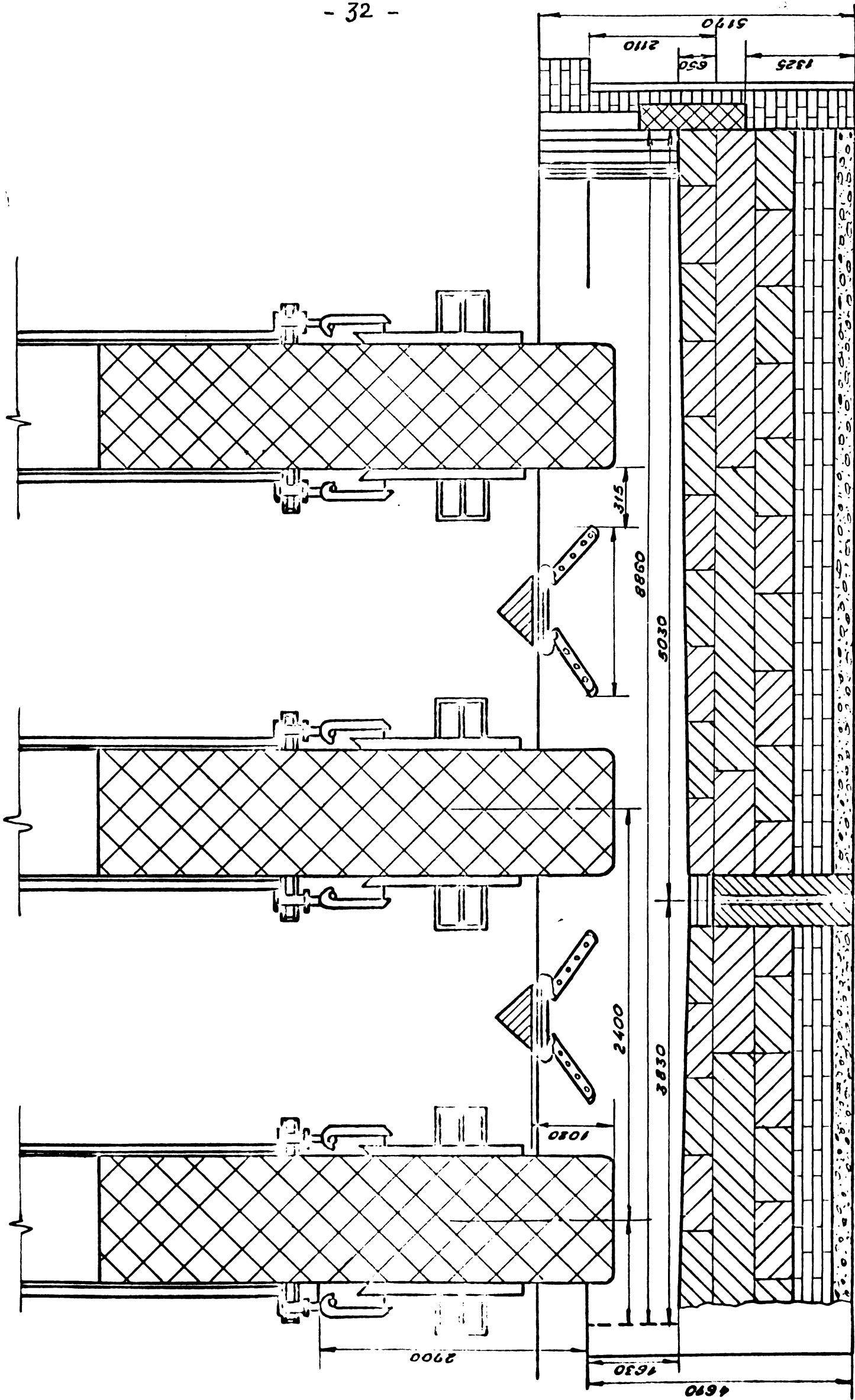


FIG. 16. CUPTOR ELECTRIC TRIFAZIC DE 40 MVA DE TIP SEMIDESCHIS.

Tabelul nr.4

CARACTERISTICI CONSTRUCTIVE ALE CUPTORULUI DE TIP SEMIDESCHIS IN FUNCTIE
DE PUTEREA DE LUCRU

Puterea cuptorului în MW	Dimensiunile interioare ale cuvei înzidite (mm)	Dimensiunile electrozilor în mm	Distanța dintre electrozi în mm	Lungimea de arc la puterea nominală în mm	Înălțimea vetrei din cărbune amorf	Grosimea căptușelii refractare a pereții- lor	Numărul gurilor de scurgere.
20,0	7240x5240x2400	2400 x 550	2.100	1.600	1.200	380	3
30,0	8800x6800x2800	2800 x 650	2.400	1.700	1.500	420	1
34,0	8800x6800x2800	2800 x 650	2.600	1.800	1.500	420	1
40,0	9400x6900x3000	3000 x 800	2.800	2.000	1.500	420	1

In figura nr.17 se prezintă schema constructivă a unui cuptor de 40 MVA de tip acoperit.

e) Cuptoare electrice trifazice de mare capacitate de tip închis [88]

Acest tip de cuptoare denumite și "cuptoare reci" se caracterizează prin faptul că întreaga cantitate de gaze ce rezultă din reacție, se captează înainte de a arde.

Cuptoarele închise, din punct de vedere a formei cuvei se construiesc în două variante și anume ;

- cuptoare cu cuvă paralelipipedică și electrozi dreptunghiulari așezați în linie ;

- cuptoare cu cuvă rotundă și electrozi circulari așezați în vîrfurile unui triunghi echilateral.

Cuptoare de tip închis cu cuvă dreptunghiulară

[15, 77]

Inchiderea se realizează prin atașarea la partea exterioară a inelului de strîngere a unui perete care față de electrod se etanșează cu vată de sticlă și nisip, iar față de cuva acoperită prin plăci fasonate din electrocorindon. Toată construcția inelului și peretelui se face din oțel aliat (V2A) pentru diminuarea fenomenelor magnetice. Etanșarea acoperirii față de peretele metalic al cuvei, se realizează printr-un jghiab cu nisip.

Alimentarea încărcăturii se face prin buncăre transportul asigurîndu-se cu jghiaburi vibratoare menținînd automat nivelul în buncăre între două limite și permanent sub presiune de azot. Jghiaburile sînt amplasate cîte trei pe laturile lungi a electrozilor și coboară cca 600 mm sub acoperire, asigurînd umplerea cuptorului astfel încît la limita inferioară a cursei fazei bacul de contact să nu ajungă în material.

In construcție metalică a acoperirii între jghiaburile de alimentare există orificii care se acoperă și se etanșează cu plăci ușoare din material ceramic, ele avînd rolul de a permite o expansiune a gazelor în cazul unor suprapresiuni în cuvă.

./.

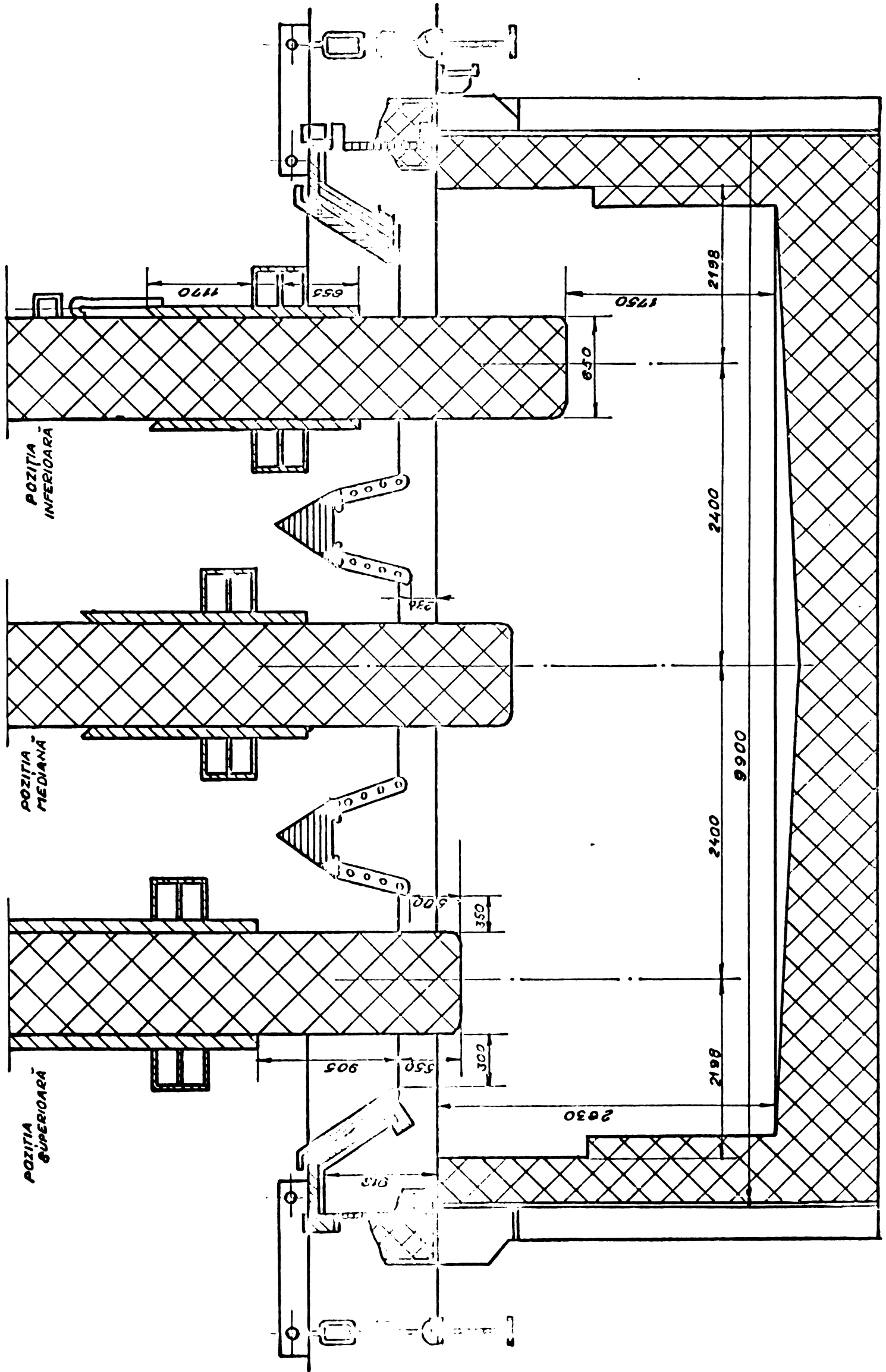


FIG. 17. CUPTOR ELECTRIC TRIFAZIC DE 40 MVA DE TIP ACOPERIT.

În fig. 18, este prezentat ansamblul de montaj
a unui cupror de tip închis cu cuvă dreptunghiulară
de 40 MVA.

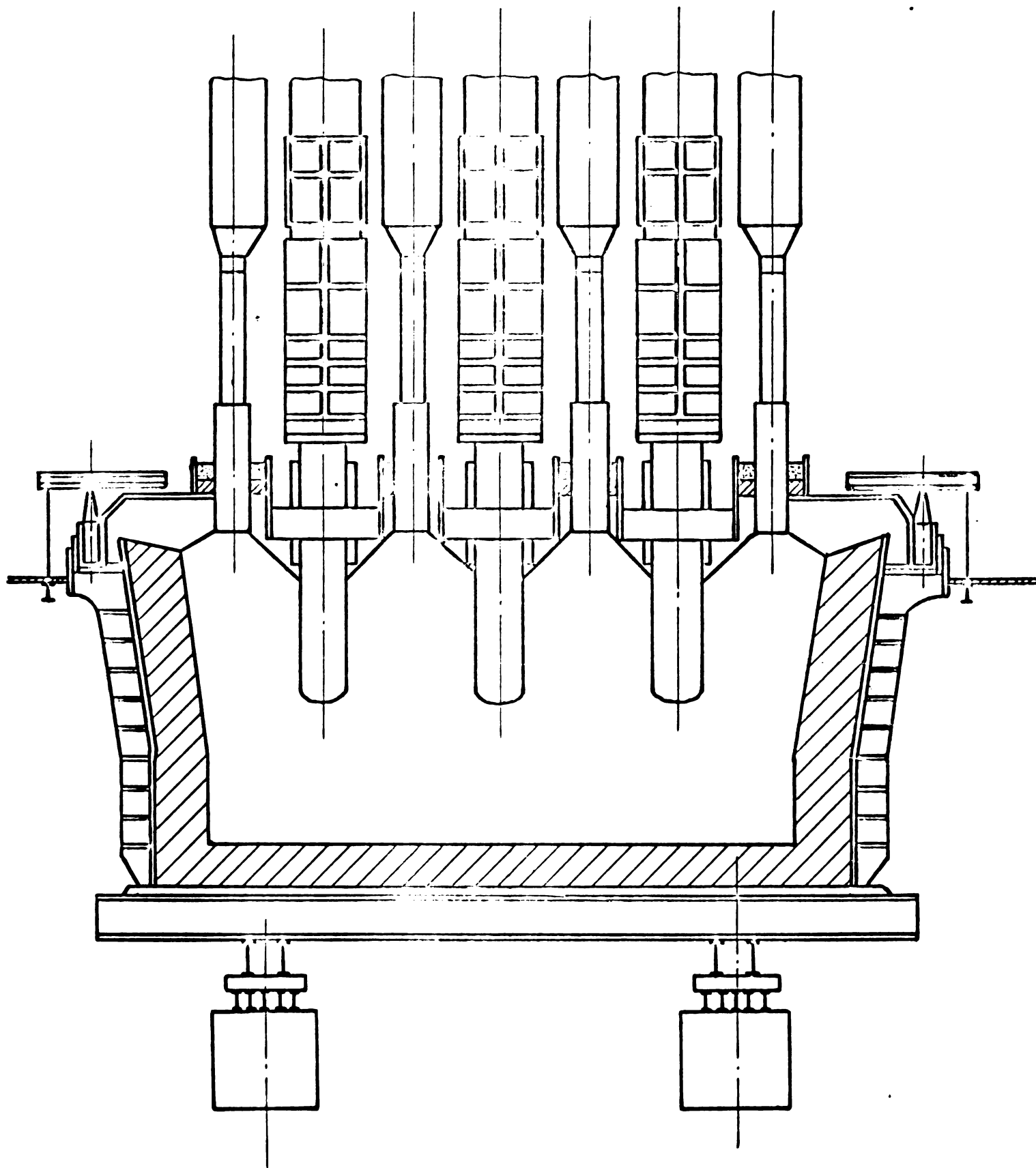


FIG. 18. CUPTOR DE 40 MVA DE TIP ÎNCHIS.

Cuptor de tip închis cu cuva rotundă. [34,48,92]

Orientarea spre construirea de cuptoare de mare capacitate cu cuvă rotundă, s-a făcut dat fiind cheltuielile de investiții raportate la tona de produs, mult mai mici cît și în special costul redus al manoperei de deservire față de celelalte tipuri de cuptoare.

În figura 19, este redată construcția unui cuptor de 42.000 MW cu cuva rotundă și electrozi continui.

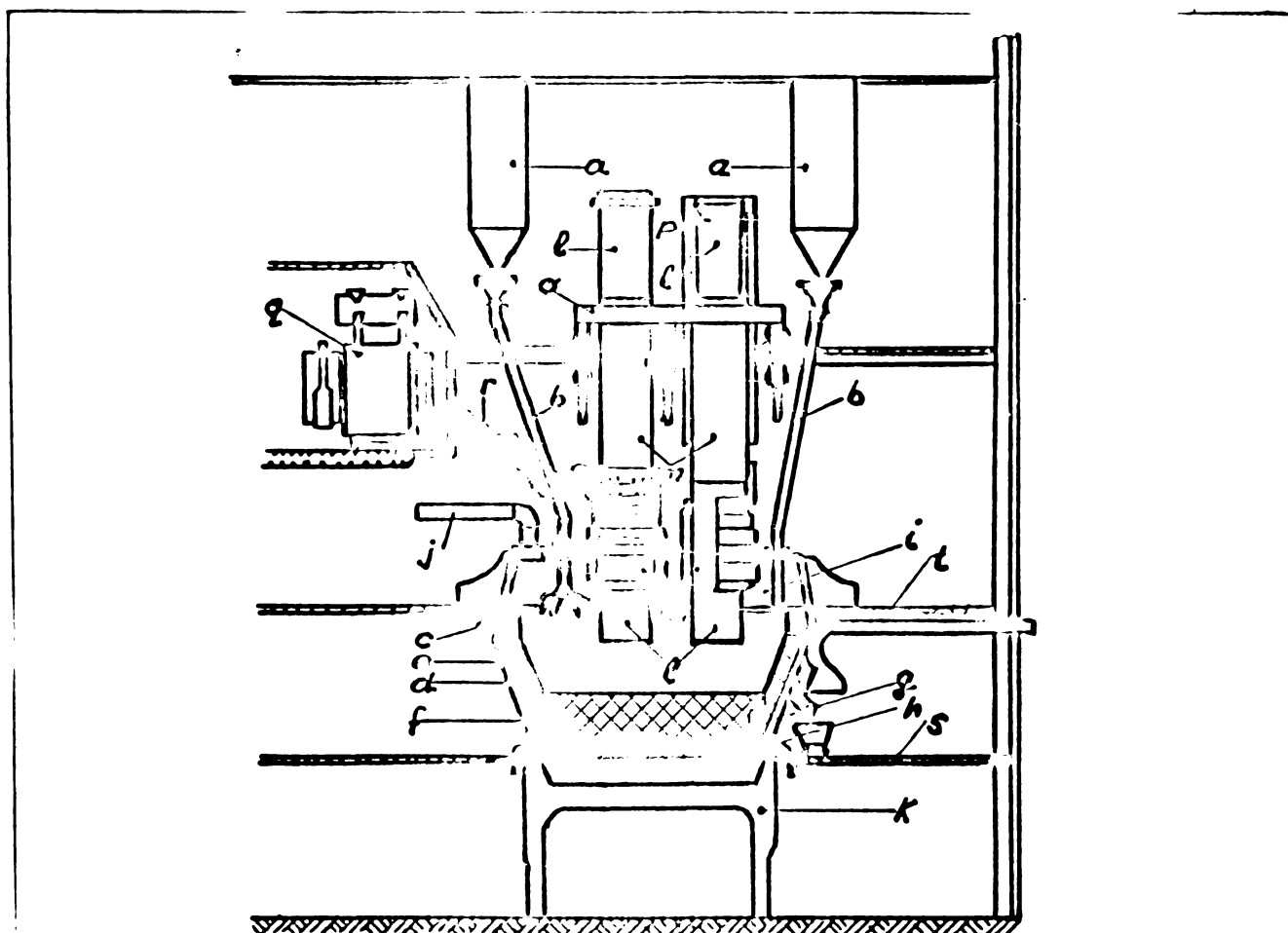


FIG.19. CUPTOR ELECTRIC DE TIP ÎNCHIS CU CUVĂ ROTUNDĂ.

a. buncăre de alimentare; b. jgheab de alimentare; c. suport metalic de protejere a zidăriei; d. zidărie refractară; e. mantă metalică; f. vatra cuptorului; g. rina de scurgere; h. cuva de scurgere; i. heta cuptorului; j. tubulatură de exhaustare gaze. k. șofardajul cuptorului; l. electrozii cuptorului; m. mantaua metalică; n. electrozilor; o. bacurile de contact; p. sistemul de manevrare a electrozilor; q. sistemul de prelungire automată; r. rețeaua de alimentare cu energie; s. platforma de scurgere; t. platforma de alimentare; u. transformatorul electric.

Cuptorul se caracterizează prin faptul că are o alimentare automatizată, este complet închis, încît se recuperează întreaga cantitate de CO format, prelungirea elec-

trozilor se face continuu fără reducere de sarcină și poate funcționa la 50 % din capacitate cu același randament ca și la sarcina maximă.

Cuptorul are cuvă rotundă, confecționată din tablă de oțel căptușită în interior cu zidărie refractară. Vatra cuptorului este constituită din blocuri de cărbune amorf.

Hota cuptorului complet închisă este construită din panouri din cupru răcite cu apă. O parte din panouri, sînt detașabile pentru a permite intervenției la cuptor în timpul opririlor.

Electrozii sînt de tip Söderberg de formă circulară cu \varnothing 1500 mm și acționați hidraulic.

Prelungirea electrozilor se face cu ajutorul unei instalații hidraulice, comandate din camera de comandă. Aceiași instalație permite și ridicarea la nevoie a electrozilor în bacuri.

Transmiterea curentului la electrozi se face prin 10 bacuri de cupru, răcite cu apă care se presează pe electrod cu o presiune reglabilă. Bacurile sînt înconjurate de o manta de protecție cilindrică, răcită cu apă care glisează odată cu mișcările electrodului prin capacul cuptorului, fiind etanșă ermetic față de gaze.

Transformatorul are o putere totală de 52,5 MVA. Conductorii electrici de la transformator la cuptor sînt răciți cu apă. Legătura flexibilă constă din pachete de bandă de cupru.

Tensiunea în secundar este reglabilă sub sarcina în trepte de cîte 10 volți în intervalul 150 - 250 V.

Hota cuptorului (capacul), mantaua protectoare a electrozilor, inelele de strîngere și toate celelalte instalații, care se găsesc în cîmpul rețelei secundare sînt confecționate din material antimagnetice, în felul acesta se ajunge la o reactanță a cuptorului relativ mică.

Faptul că suprafața cuptorului nu este observabilă, impune anumite instalații de măsurare, în special în condiții de materii prime inferioare calitativ. Astfel se măsoară temperaturile cu termoelemente sub capacul cuptorului în diferite puncte cît și temperatura apelor de răcire.

Sarja bine dozată și bine amestecată, ajunge în cuptor prin șibăre etanșe și burlane, care trec prin capacul cuptorului prin ștuțuri răcite cu apă. Ștuțurile sînt aranjate astfel încît se formează în jurul fiecărui electrod șase conuri de material. Corespunzător consumului, materia primă alunecă în cuptor, reînoindu-și conurile de material. Toate punctele de transbordare a materiei prime sînt prevăzute cu instalații de absorbție de praf eficiente.

Cuva cuptorului are trei guri de scurgere, amplasate radial față de electrozi și prevăzute cu rine din fontă, răcite cu apă peste care carbidul se scurge în troci din fontă. Arderea gurilor de scurgere se face cu energie de la un transformator special. Cuptorul este prevăzut cu o mașină automată de evacuat topitura din cuptor. Gazele de scurgere se aspiră complet, cu ajutorul unor ventilatoare puternice.

Scurgerea carbidului se face în troci din fontă de 1,6 t, montate pe un tren de vagoneti circular. Prin intermediul podurilor rulante, cuvele se depun în hală pentru răcire și apoi se introduc în instalația de sortare.

Gazul din cuptor care se compune în mare parte din oxid de carbon, se ridică sub capacul cuptorului, de unde prin două burlane cu tiraj este condus la o instalație de purificare. Presiunea sub hota cuptorului se menține prin reglare automată la - 2 mm col apă.

f. Cuptor de tip închis cu o putere de 35.000 kW, cu vatra rotitoare.

Principiul cuptoarelor rotative s-a folosit pentru prima dată în metalurgie. Introducerea acestor cuptoare în fabricarea feroaliajelor și a carburii de calciu necesită transformarea acestora în cuptoare circulare, care să le permită o mișcare de rotație. Aceste cuptoare sînt simetrice din punct de vedere electric, întrucît au cuva de formă circulară și electrozii așezați în triunghi.

În urma unui studiu detaliat al procesului, rotirea aplicată la început a fost înlocuită printr-o oscilație limitată.

./.

Dezvoltarea cuptoarelor complet închise rotative, sau oscilante, se datorește în mare parte firmei Elektrokemisk AS Oslo. Primul cuptor de carbid de acest fel a fost instalat de firma Stockholm superfosfat Fabrik A.B. în 1950 la Stockvick Suedia [106]

În figura nr. 20 se prezintă acest cuptor.

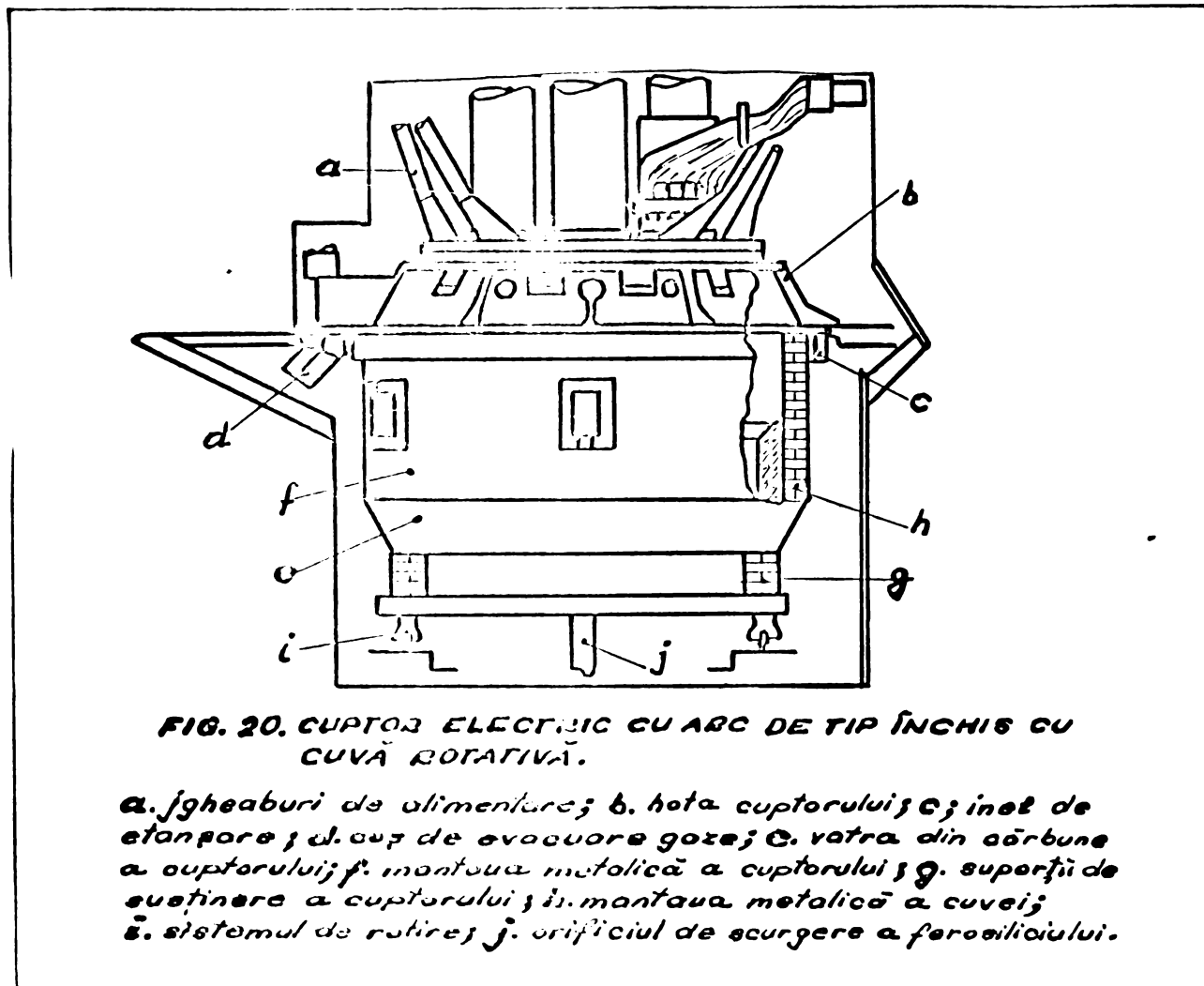


FIG. 20. CUPTOR ELECTRIC CU ARC DE TIP ÎNCHIS CU CUVĂ ROTATIVĂ.

a. jghiaburi de alimentare; b. hota cuptorului; c. inel de etanșare; d. cap de evacuare gaze; e. vatra din cărbune a cuptorului; f. mantaua metalică a cuptorului; g. suprafață de susținere a cuptorului; h. sistemul de rotire; i. mantaua metalică a cuvei; j. orificiul de scurgere a fierosiliului.

Cuptorul se sprijină pe dispozitivul de rotire. Vatra cuptorului este închisă cu un capac de metal. Rotirea este foarte încetă, o rotație completă la 26 - 36 ore alternativ, mișcarea este limitată la oscilare printr-un unghi la 120° , în aproximativ aceeași perioadă.

Electrozii sînt de tip Söderberg și se manevrează cu un dispozitiv hidraulic. Bacurile de contact sînt fixate pe electrozi prin presare hidraulică.

Materiile prime din buncărele de alimentare, ajung în cuptor prin jghiaburi de alimentare montate pe capacul cuptorului. Scurgerea carbidului se face în troci din fontă amplasate pe un tren de vagoneti.

Puterea maximă a cuptorului este de 35.000 kW iar cea minimă de 8000 kW. În acest interval de puteri se obține un carbid de 300 l/kg $\cos \varphi = 0,8 - 0,85$; domeniul de tensiune al transformatorului este de 80 - 240 V, iar amperajul 105.000 A.

Consumul de energie electrică este de 2940 kWh/t de carbid de 308 l/kg.

Consumul de cocs atinge valoarea de 500 kg/t granulația cocsului 3 - 40 mm, iar conținutul de carbon între 91 - 92 %. Consumul de var este de 916 kg/t de carbid la o granulație cuprinsă între 3 - 80 mm cu un conținut de 96 % oxid de calciu.

La o tonă carbură de calciu se obține 350 - 380 Nmc gaz cu o compoziție medie de 83 % CO, 7 % H₂, 0,5 % O₂, 3 % CO₂, 6,5 % N₂ cu o putere calorifică de 2750 kcal/mc.

Gazele rezultate de la cuptor sînt purificate după un procedeu care constă în reținerea completă a substanțelor solide la temperatura ridicată în filtre poroase fixe, care sînt curățate de depuneri cu ajutorul unui curent de gaz purificat, de scurtă durată din direcția contrară.

g. Cuptor de mare capacitate de 70000 kVA [16]

Cuptorul de 70000 kVA, reprezintă un real progres față de cuptoarele de 35, 40 și 42 MVA. La acest cuptor s-a renunțat la rotirea cuvei. În mod normal sarcina cuptorului este de 50 - 56 MW, tensiunea se poate regla între 80 - 310 V, cu 27 trepte, iar intensitatea între 36 - 130 kA.

Energia electrică este furnizată de trei transformatoare, care asigură o funcționare între 12 - 56 kW.

Consumul de energie electrică se ridică la 2930 - 2950 kWh/t carbid de 305 - 310 l/kg. Se poate obține carbid și de 325 - 330 l/kg.

Cuptorul este prevăzut cu un orificiu de evacuare a ferosiliciului, ceea ce permite evacuarea din cuptor la intervale regulate, a unei părți din fierul introdus cu materiile prime și virolele electrozilor Söderberg. Ferosiliciul evacuat conține cca. 15 % Si.

Cuptorul este complet acoperit cu un capac prevăzut cu panouri de cupru, cu căptușeala refractară și răcite cu apă. Se recuperează complet gazele rezultate din reacție.

Electrozii sînt circulari, au diametrul de 1500 mm și lungimea sub bacuri de 1600 mm.

Alimentarea materiilor prime se face prin jghiaburi telescopice mobile pe verticală amplasate în jurul electrozilor. Buncărele de alimentare sînt purjate continuu cu azot pentru împiedicarea eventualelor infiltrații de gaze cu conținut de CO.

Temperaturile din cuptor și compoziția gazelor, se măsoară automat și centralizat în camera de comandă.

Evacuarea gazelor se face pe două canale răcite cu apă montate în capacul cuptorului. Compoziția gazelor este : 80 - 90 % CO, 5 - 12 % H₂, restul CO₂, N₂ și CH₄. Se obține 340 - 380 Nmc gaz pe tona de produs. Purificarea gazelor se face pe cale uscată, prin filtre cu baterii de filtre ceramice.

Evacuarea topiturii din cuptor, se poate face continuu pe cele trei guri de scurgere, amplasate în fața electrozilor.

g) Cuptoare electrice cu arc, cu 6 electrozi

[53, 54, 71]

Acest tip de cuptoare se poate utiliza pentru obținerea ferosiliciului, siliciului metalic, feronichelului, feromanganului și a carburii de calciu. Se pot construi pentru o gamă ridicată de puteri, cuprinse între (300-100000 kVA). Sînt agregate moderne cu grad ridicat de mecanizare și automatizare.

În figura nr.21 și 22 se prezintă un cuptor de acest tip, în secțiune longitudinală și transversală. Dimensiunile și caracteristicile acestui cuptor utilizat în principal pentru topirea concentratului aglomerat de cupru-nichel, în vederea obținerii de mată corespunzător unei puteri de 32000 kVA și sînt :

./.

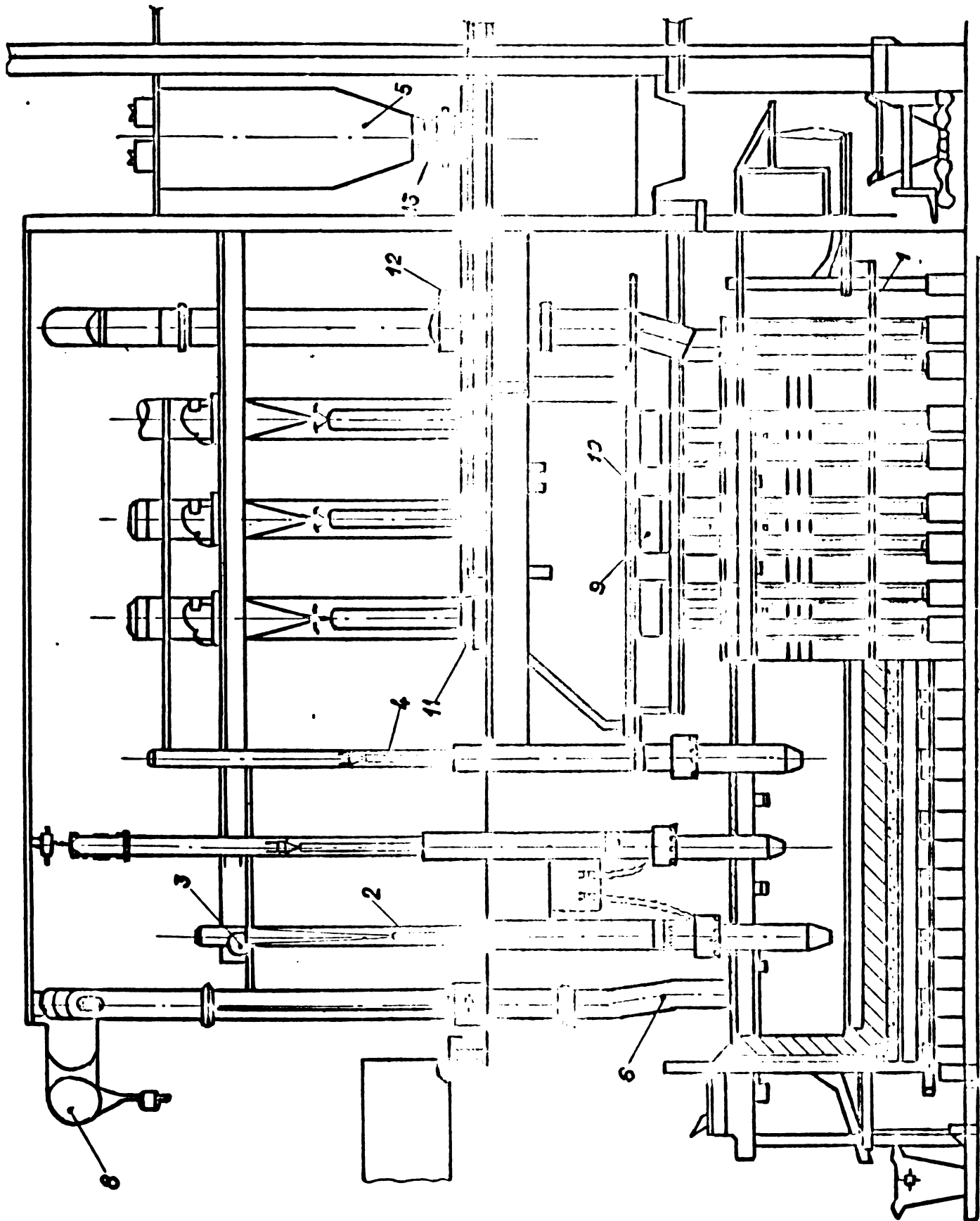
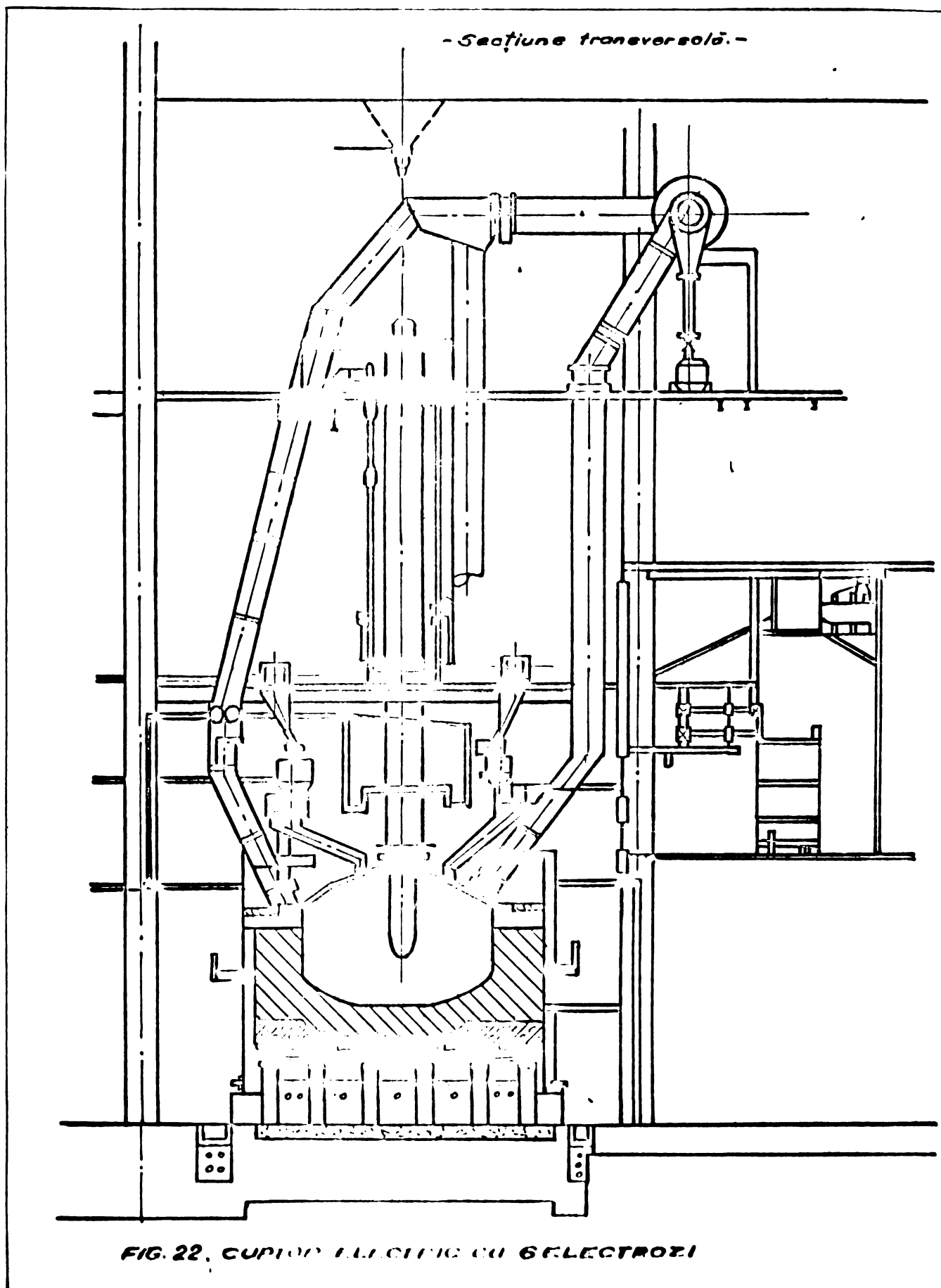


FIG. 21. CUPTOR ELECTRIC CU 6 ELECTROZI PT. TOPIREA MINERELOR.

Leva cuptrului; 2. dispozitiv de coborire a electrodului; 3. trolu pt ridicarea electrodului; 4. electrod; 5. buncar pt motorii primei; 6. conductor pt evacuare gaze; 7. buncar intermediar; 8. transportor reversibil; 9. transportor stationar; 10. catar pe banda; 11. alimentator cu banda.

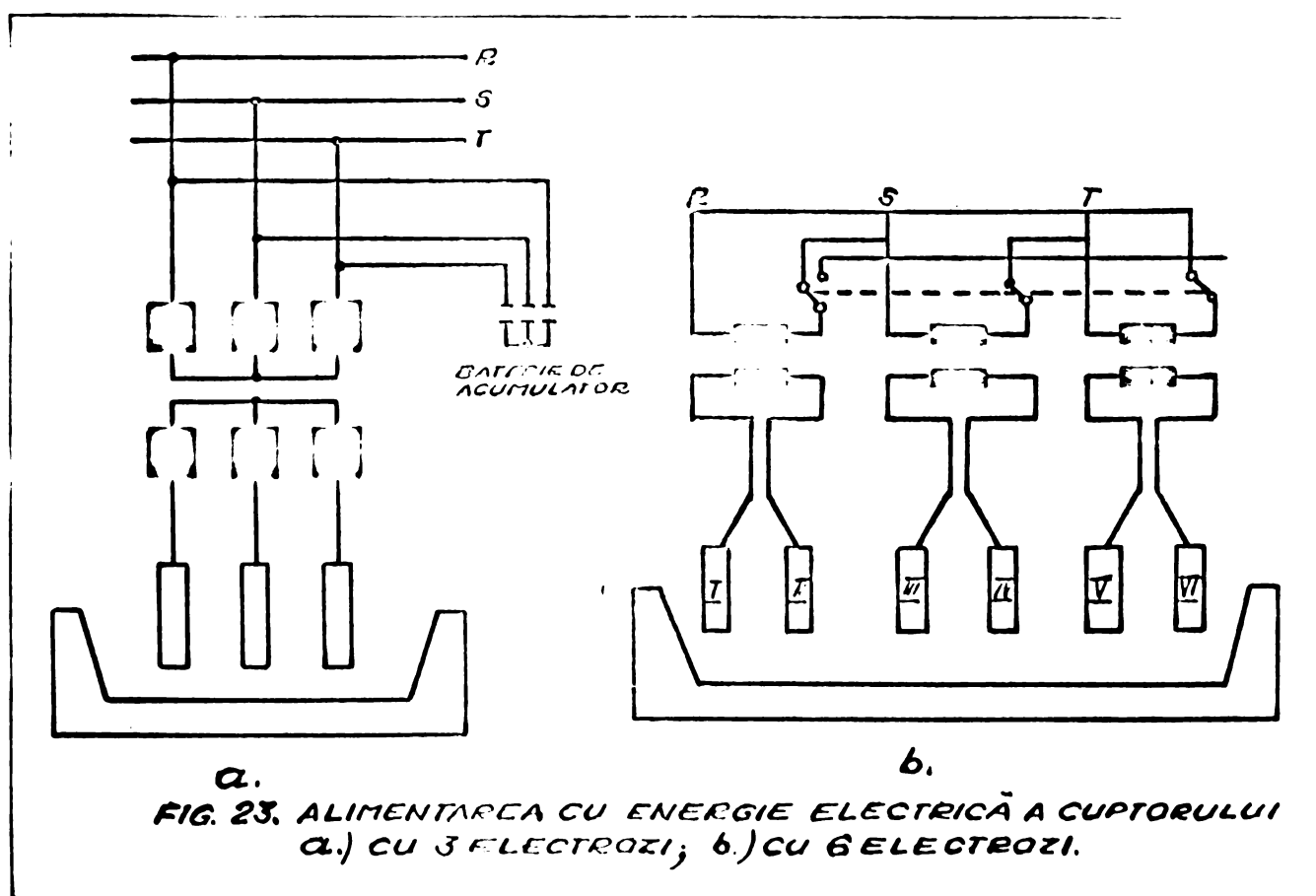


- dimensiunile cuvei 23,2 x 6,0 x 4,2 mm
- electrozi Söderberg cu \varnothing 1100 mm și lungimea 2200 mm
- suprafața votrei 139,2 mp
- puterea specifică a votrei 230 kVA/mp

Cuptorul este de tip complet acoperit cu electrozi așezați în linie, construcția cuvei și a acoperirii propriuzise în principal nu diferă de celelalte tipuri de cupatoare acoperite.

Alimentarea cu energie electrică se realizează de la două transformatoare trifazice cu putere cuprinsă între 6600 și 16000 kW cu 8 trepte de tensiune, cuprinse între 140,5 V și 384 V.

În figura 23 se prezintă schema de alimentare electrică a acestui tip de cuptor, comparativ cu a unui cuptor cu 3 electrozi.



Prin perfecționările aduse acestui cuptor se realizează alimentarea cu materii prime complet automatizată.

În figura 24 este prezentată această schemă care constă în următoarele :

./.

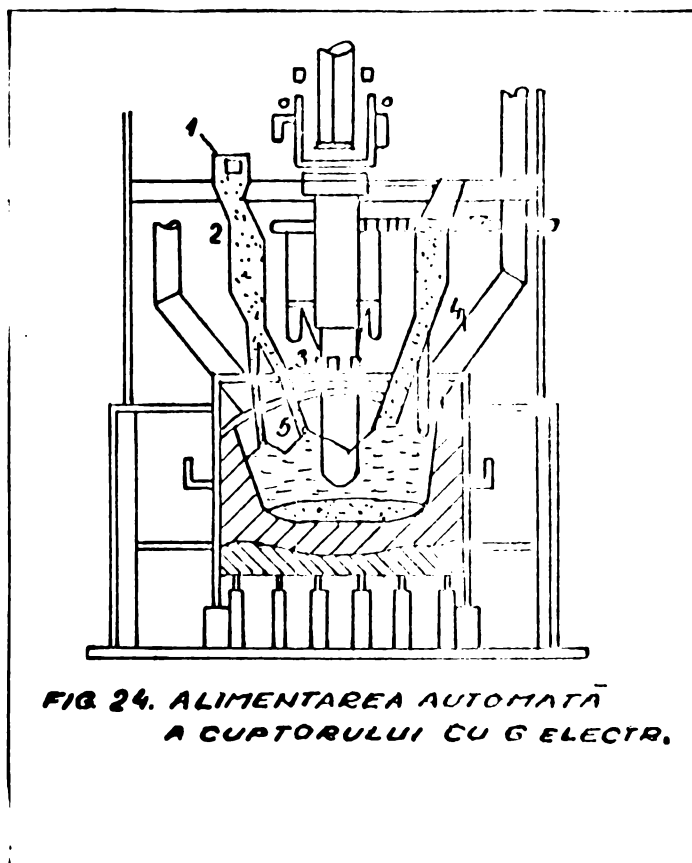


FIG. 24. ALIMENTAREA AUTOMATĂ
A CUPTORULUI CU 6 ELECTR.

- materialul se introduce cu ajutorul unui transportor mobil reversibil (1) în 12 buncăre (2) amplasat la ambele părți ale cuptorului. Fiecare buncăr este prevăzut cu câte trei tuburi de încărcare din care două tuburi centrale (3) încarcă materialul în direcția electrozilor, iar unul (4) spre peretele cuptorului. Tuburile centrale sînt prevăzute cu dispozitive mobile telescopice (5) care permit reglarea înălțimii conului pe care-l formează materialul.

Partea inferioară a tuburilor telescopice, este executată din fontă refractară obișnuită, care rezistă bine pînă la temperatura de 800 °C.

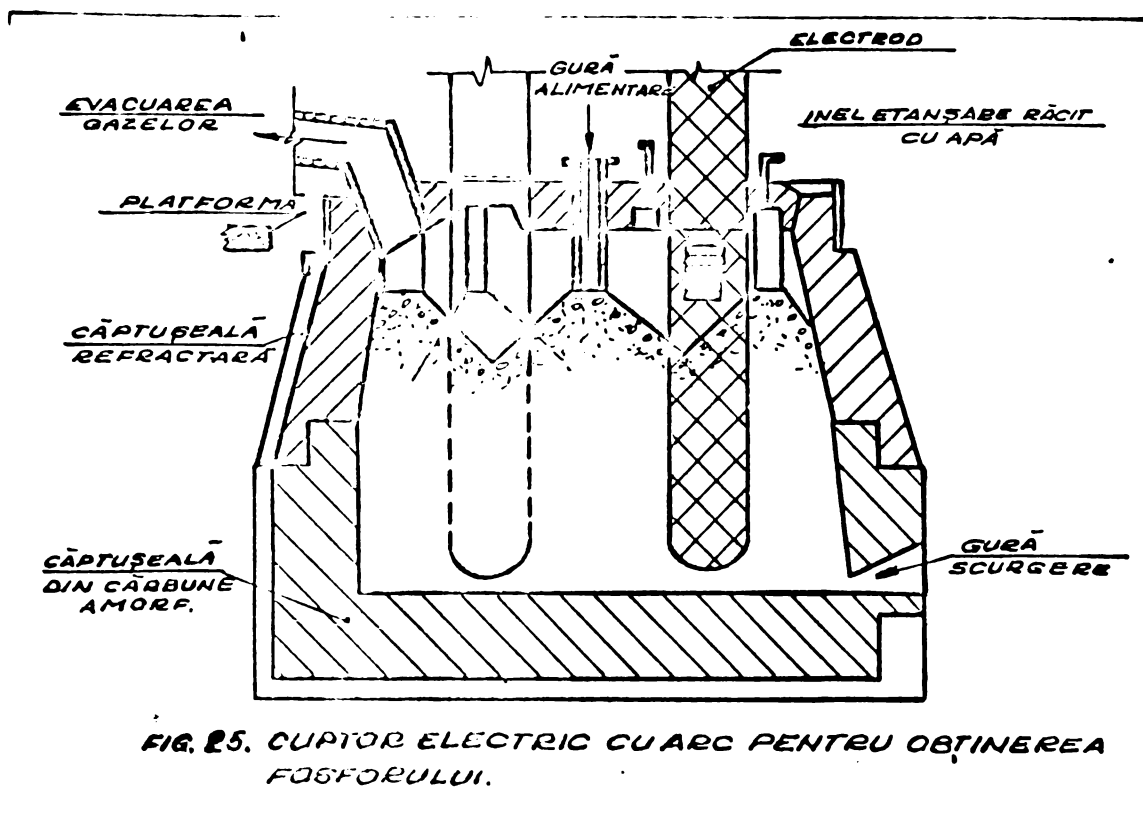
Se construiesc cuptoare cu 6 electrozi cu intensități în secundarul transformatorului pînă la 150000 A. Aceste cuptoare au o lungime de pînă la 35 m electrozii de tip Söderberg cu \varnothing 2000 mm. Celo utilizate pentru obținerea siliciului metalic și a silicocalciului au electrozi din cărbune amorf de \varnothing 1400 mm.

1. Cuptoare electrice acoperite în care se poate obține și acid fosforic. [84]

Acest tip de cuptor prezentat în figura nr. 25 este de tip vertical, ermetic închis. Electrozii utilizați sînt din cărbune prefabricat. Cuva de formă cilindrică se compune dintr-o manta din oțel, căptușită cu zidărie refractară. Vatra propriuzisă este constituită din blocuri de cărbune amorf. Inchiderea etanșă a părții superioare a cuvei, se face cu panouri răcite cu apă și căptușite cu zidărie refractară.

Scurgerea topiturii acumulate pe vatra cuvei, se face prin orificii amplasate în dreptul fiecărui electrod de arc.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA



Electrozii de arc, trec prin acoperirea cup-
torului fiind echipați cu un sistem de etanșare răcit cu apă.

Sarja reactantă, se alimentează prin guri de
alimentare ce străbat acoperirea și care se găsesc sub o pre-
siune de gaz inert sau aer.

Evacuarea gazelor se face printr-un coș am-
plasat în capacul acoperirii.

Din punct de vedere funcțional, se deosebesc
de cuptoarele clasice acoperite prin faptul că produsul valoros
se obține prin oxidare controlată în spațiul dintre încărcătură
și capacul cuptorului.

Materia primă formată dintr-un amestec de
roci fosforoase, fondluți silicoși și un agent reducător, pe
baza de carbon, se introduce în cuva cuptorului prin jghiaburile
amplasate în acoperirea cuptorului. În zona de arc la tempera-
tura în jur de 1700°C , se topește iar vaporii de fosfor rezul-
tați prin reducerea cu cărbunele din șarjă a oxidului de fosfor,
împreună cu oxidul de carbon, trec prin interstițiile șarjei
ce se topește, înspre partea de sus a cuptorului, unde gazele
sînt arse cu oxigenul din aerul introdus în condiții bine con-
trolate prin orificiile montate în capacul acoperirii, pentru
a forma P_2O_5 și CO_2 . Temperatura produselor de combustie ce
rezultă este între $1500 - 1700^{\circ}\text{C}$.

./.

Amestecul de gaze absorbit din cuptor este răcit și hidratat la H_3PO_4 în scrubere și turnuri de hidratare răcite direct cu apă. Temperatura de condensare a fosforului din amestecul de gaze este de aproximativ $198^{\circ}C$, astfel că fosforul poate fi separat prin condensare, iar oxidul și bioxidul de carbon recuperat.

Topitura de zgură și ferofosforul format din fierul materiilor prime sînt eliminate periodic prin gurile de scurgere a cuptorului.

Cuptorul prezentat are o putere de 6000 kW cu diametrul interior al cuvei 4,60 m adîncimea 2,4 m. Electrozii cu diametrul de 0,762 m sînt așezați în vîrfurile unui triunghi echilateral.

Din cele prezentate mai sus rezultă următoarele concluzii :

- obținerea carbidului în industrie se poate realiza într-o mare varietate de tipuri constructive de cuptoare electrice, care se deosebesc între ele prin construcție, tipul electrozilor utilizați și puterea de lucru ;

- cuptoarele electrice pentru fabricația de carbid cu modificări constructive neesențiale, pot fi utilizate și pentru obținerea unei game variate de alte produse (feroaliaje, electrocorindon, aliaje de aluminiu și siliciu topit metale, fosfor, carburi refractare etc).

- cuptoarele electrice monofazice în special și cele trifazice în general, de capacitate mică sub 10 MW își găsesc o întrebuințare scăzută în industrie. Se utilizează în scopuri de cercetare în instalații pilot, în special pentru obținerea unor carburi refractare sau aliaje speciale ;

- viitorul cuptoarelor pentru obținerea carbidului aparține cuptoarelor de tip complet închis, cu cuvă rotativă sau oscilantă. Randamentul în funcționare și eficiența economică în fabricație ridicată cît și consumul diminuat de manoperă vin să confirme superioritatea acestor cuptoare.

./.

Consumul de energie electrică și de material cărbunos se diminuează cu cca 10 - 15 % față de cuptoarele acoperite ;

- cuptoarele cu electrozi așezați în triunghi și cuvă rotundă, ca urmare a unei simetrii perfecte a câmpurilor magnetice utilizează cel mai eficient curentul electric.

- randamentele de curent la cuptoarele cu electrozi așezați în linie poate fi ameliorat prin conectarea fazei moarte la un transformator suplimentar ridicător de tensiune.

- cuptoarele moderne de mică sau mare capacitate sînt dotate cu electrozi de tip Söderberg. Electrozii sînt părțile componente ale cuptorului care condiționează în principal continuitatea procesului.

3.2. ELECTROZII DE ARC AI CUPTOARELOR ELECTRICE

[17, 21, 55, 56, 58, 63]

Electrozii cuptoarelor electrice, ca element prin care se conduce curentul electric, în interiorul cuptorului și prin care se realizează arcul voltaic la capătul scufundat în material sînt supuși în baza fenomenelor specifice arcului electric, unor condiții severe în ceea ce privesc proprietățile lor termice, electrice și mecanice.

Cuptoarele electrice cu arc, utilizează următoarele tipuri de electrozi :

a) electrozi de cărbune amorf, pentru cuptoarele de mică capacitate utilizate la obținerea carburului și feroaliajelor, Au rezistență mecanică și conductibilitate electrică bună, dar datorită costurilor de fabricație ridicate și discontinuității în procesul tehnologic se tinde a fi înlocuiți cu electrozi cu formare continuă (tip Söderberg).

b) electrozii din grafit, se întrebuințează în tehnologiile în care se impun condiții severe în ceea ce privește puritatea electrozilor și unde este necesară o densitate de curent ridicată. Sînt practic lipsiți de fier și au conținut redus de cenuse. Rezistă cel mai bine la acțiunea agenților chimici și la temperaturi ridicate. Costul lor este de cîteva ori mai ridicat decît al celor de cărbune amorf.

c) electrozii continui, autoaglomerați de tip Söderberg, care sînt utilizați în prezent cu bune rezultate în procesele tehnologice moderne, de mare capacitate, dat fiind costul lor mai scăzut, siguranța în funcționare mărită și asigurarea unei continuități prelungite a funcționării cuptoarelor electrice.

Acest din urmă tip de electrod, așa cum s-a arătat în capitolul introductiv, a fost conceput încă în anul 1909 de către ing.norvegian C.W.Söderberg, care a efectuat încercări de a utiliza electrozi de carbon nears în cuptorul electric astfel ca electrozii, să se formeze, datorită căldurii Joule a curentului electric alimentat, precum și datorită căldurii rezultate din cuptor. Procedul a fost brevetat de către firma "Det Norske Aktieselskab" pentru Elektrokemisk Industrie în Oslo în anul 1918. [24]

Primele cuptoare industriale pentru carbid și fonte, cu electrozi Söderberg s-au construit în anii 1925-1927 de către firma Elektrokemisk în colaborare cu Uzina Christiana Spigerwerk [1, 3]

Electrodul continuu Söderberg în forma sa actuală, constă dintr-un înveliș metalic din tablă de oțel, cu nervuri interioare în care se alimentează masa carbonică sub formă de bulgări sau topită. Electrozii pot fi în secțiune transversală, de formă circulară, eliptică, rectangulară etc. Masa carbonică constă, din antracit și cocs degazeificat, de diferite granulații și un liant - smoală de huilă.

Principiul funcționării lor, constă în încălcarea electrodului pe la partea superioară cu masa carbonică, pe măsura apropierii de spațiul de lucru al cuptorului, această masă se încălzește, se topește și în final se aglomerează, materiile volatile din liant se elimină. De modul cum se realizează eliminarea lor, depinde porozitatea, respectiv rezistența mecanică a electrodului ce se formează [8, 9, 72]

În țara noastră electrozii continui de tip Söderberg, s-au introdus esalonat începând din anul 1960 pentru obținerea carbidului, electrocorindonului granulat și mai recent pentru obținerea feroaliajelor.

Dat fiind forma și dimensiunile electrozilor impuse de puterile mari ale cuptoarelor, condiții mai exigente pentru pregătirea și formarea lor, se impun la cuptoarele de peste 40 MVA pentru obținerea carbidului.

Pentru asigurarea unor condiții optime de funcționare a cuptoarelor electrice, electrozilor de arc li se impun următoarele caracteristici funcționale :

- conductibilitate electrică ridicată
- rezistență mecanică crescută
- reactivitate chimică scăzută față de compoziția sarjei în zona arcului electric
- temperatură ridicată de oxidare, respectiv de ardere a masei de cărbune, calcinat și grafitat
- conținut mic de impurități (cenuse) a masei carbonice care stă la baza formării electrozilor.

./.

Materiile prime pentru obținerea pastei de electrozi (cu mici excepții) sînt aceleași pentru toate tipurile de cuptoare electrice, indiferent de feroaliajul sau carbura, care se obține în cuptoarele respective.

Pasta de electrozi Söderberg se obține din antracit, cocs, granule de electrozi de cărbune amorf și smoală de huiță.

Condițiile de calitate impuse antracitului sînt :

- materii volatile 4 - 7 %
- greutate specifică 1,6 gr/cc.min.
- cenușă 4 % max.
- greutate volumetrică 800-900 kg/mc.
- rezistivitate electrică 350-700 ohm.mm/m.

Condiția esențială impusă antracitului este rezistența mecanică ridicată, respectiv o densitate ridicată, pentru a se diminua degranularea în timpul amestecării cu restul componentelor din șarjă. Greutatea specifică reală este parametrul corelat cu rezistența mecanică și respectiv densitatea.

Condițiile de calitate impuse cocsului sînt:

- materii volatile 6 % max.
- cenușe 4 % max.
- umiditate 6 % max.
- porozitate cca 50 %
- greutatea specifică 1,75-1,9 gr/cc.
- greutatea specifică aparentă 0,85-1,0 gr/cc.

Se recomandă a fi utilizat cocsul care a fost obținut la temperaturi ridicate, avînd și o rezistență mecanică ridicată și de preferință cocs de petrol, datorită conținutului de cenușă scăzut.

Condițiile de calitate impuse electrozilor de cărbune amorf :

Se folosesc drept electrozi de cărbune amorf deșeurile rezultate de la diverse sorturi avînd calitatea sortului de electrod din care provine.

./.

Condițiile de calitate impuse smoalei de

huilă :

Smoala de huilă sau liantul este în stare solidă la temperatura ambientă și la lovire creapă ușor printr-o spărtură lucioasă. Trebuie să corespundă următoarelor condiții :

- punct de topire cca 90 °C
- rezidul la cocsificare 35 % max.
- conținutul de cărbune liber 25 % max.
- greutate specifică. 1,27-1,33 gr/cc.
- cenuse 0,5 % max.
- umiditate 1 % max.

Analizând prin metodele cunoscute în prezent masa carbonică, nu se poate stabili calitatea materiilor prime utilizate în fabricarea pastei de electrozi. Conținutul de cenuse ridicat al pastei de electrozi indică eventual utilizarea unor materiale cărbunoase la rândul lor cu conținut ridicat de cenuse, dar nu se poate identifica din care sort provine acest conținut.

Tehnologia pentru obținerea pastei de electrozi, constă în :

- calcinarea cocsului și antracitului la temperaturi de 800 - 1000 °C în cuptoare speciale (verticale tip retortă sau tamburi rotativi pînă la eliminarea volatilelor sub 1 %.
- granulara și măcinarea unei părți din amestecul antracit și cocs, în utilaje adecvate, la o finețe de cca 35 % refuz pe sita cu 4900 ochiuri/cmp.
- pregătirea liantului în sensul aducerii lui în stare lichidă prin încălzire la cca 130 °C.
- uscarea materiilor prime cocs, antracit, smoală, pînă la un conținut de umiditate sub 0,8 %.
- dozarea componentelor șarjei în următoarele proporții :

./.

- antracit calcinat 6 - 15 mm cca 45 %
- antracit și cocs calcinat
pulbere fină cca 35 %
- smoală cca 20 %

Antracitul intră în componența șarjei pentru masa de electrozi în proporție de 60 %. Din aceasta cca 75 % intră sub formă de granule, iar restul de 25 % sub formă de pulbere fin măcinată.

- amestecarea componentelor șarjei cocs, antracit, și deșeuri (praf și granule) cu smoala topită. Operația se realizează în malaxoare de regulă de tip discontinuu, în șarje cu încălzire indirectă. Prin amestecarea componentelor șarjei cu smoală topită, se realizează umplerea porilor și îmbrăcarea particulelor de cărbune cu un strat pelicular de smoală care ulterior la încălzire prin eliminarea substanțelor volatile se transformă într-un reziduu solid de cărbune, care creiază punți de legătură ale particulelor de cărbune formând în acest fel în final o masă compactă.

La creșterea temperaturii masa compactă se transformă într-un cărbune amorf obișnuit.

Gradul de umplere al porilor particulelor solide de către smoală (gradul de realizare a stratului pelicular) este funcție de timpul de malaxare (care este de cca 40 - 50 '), gradul de fluiditate al smoalei (temperatura ce se menține în timpul malaxării) și proprietățile fizico-chimice ale smoalei.

Calitatea masei de electrozi depinde deci de calitatea materiilor prime utilizate și de respectarea parametrilor tehnologici ai procesului.

Caracteristicile tehnice ale diferitelor tipuri de masă carbonică se prezintă în tabelul nr.5.

Nerespectarea tehnologiei de obținere a pastei de electrozi conduce la caracteristici ale pastei în afara limitelor admise. ./.

=====
 CARACTERISTICILE TEHNICE ALE UNOR TIPURI DE MASA CARBONICA
 =====

TABEL NR.5

Nr. Proveniența masei ort. carbonice	Caracteristicile masei crude										Caracteristicile masei coapte				
	Conținut în subst. volatile %	Conținut cenușe % max.	Densit. aparentă (gr/cmc min.)	Subst. volatil. în benzen %	Punct de sublimare sub sarcină °C	Subst. în tri-clor-eten %	Densit. reală gr/cmc min.	Densit. aparentă gr/cmc min.	Porozit. % max.	Rezist. la compresune kgf/cmp. min.	Rezistiv. electrică ohm.mmp/m	Coefficient dilată. (mm)	Rezistiv. la tracțiune kgf/cmp		
1. R.S.R. stas 4767/73	12-14	6	1,55	16-18	90-105	-	1,90	1,45	30	200	90	-	-		
2. R.P. Polonă	10,5-13,5	6	1,57	18	-	-	1,9	1,4	32	100	110	-	-		
3. Italia	13,2	2	1,61	18,5	-	-	1,96	1,46	29	200	92	-	-		
4. Anglia	11,5	0,7	1,57	17	-	-	2,02	1,44	29	250	75	-	-		
5. R.F. Germană licența IESSING	13,5-14,5	4,5-6	1,65	13,5-14,5	90-100	14-15	1,95	1,50	20-22	250-300	50-70	5.10-6	30-50		

INSTITUTUL POLITEHNIC
 TIMISOARA
 BIBLIOTECA CENTRALA

3.2.1. STUDII PRIVIND STABILIREA GRADULUI DE DEGAZEIFICARE A COMPONENTELOR ȘARJEI UTILIZATE PENTRU OBTINEREA MASEI CARBONICE (PASTEI DE ELECTROZI) CARE SE UTILIZEAZĂ LA FORMAREA ELECTROZILOR SODERBERG [59, 60, 62, 74]

Una din fazele importante ale procesului tehnologic de formare a electrozilor Söderberg în cuptorul electric de carbid s-au feroaliaje și anume, degazeificarea componentelor șarjei la valorile prescrise, poate fi controlată prin stabilirea termogramei degajării materiilor volatile din pasta de electrozi, înainte de introducerea în procesul de formare a electrozilor.

Stabilirea termogramei, respectiv analiza termogavimetrică în esență, reprezintă măsurarea masei probei studiate în cursul unui tratament termic.

Analiza termogavimetrică permite obținerea următoarelor informații asupra sistemului studiat :

- stabilirea domeniului de stabilitate termică a compusului cercetat, respectiv a produselor intermediare formate în decursul tratamentului termic ;

- determinarea punctelor și intervalelor de descompunere termică sau de interacțiune cu mediul înconjurător ;

- determinarea stochiometriei reacției de descompunere termică, respectiv de interacțiune cu mediul, în general oxidării.

În scopul stabilirii termogramei degajării materiilor volatile din diferite loturi de pastă de electrozi s-a utilizat un "Derivatograph" tip M.O.M. aflat în dotarea laboratorului de cercetări din Combinatul chimic Tîrnăveni.

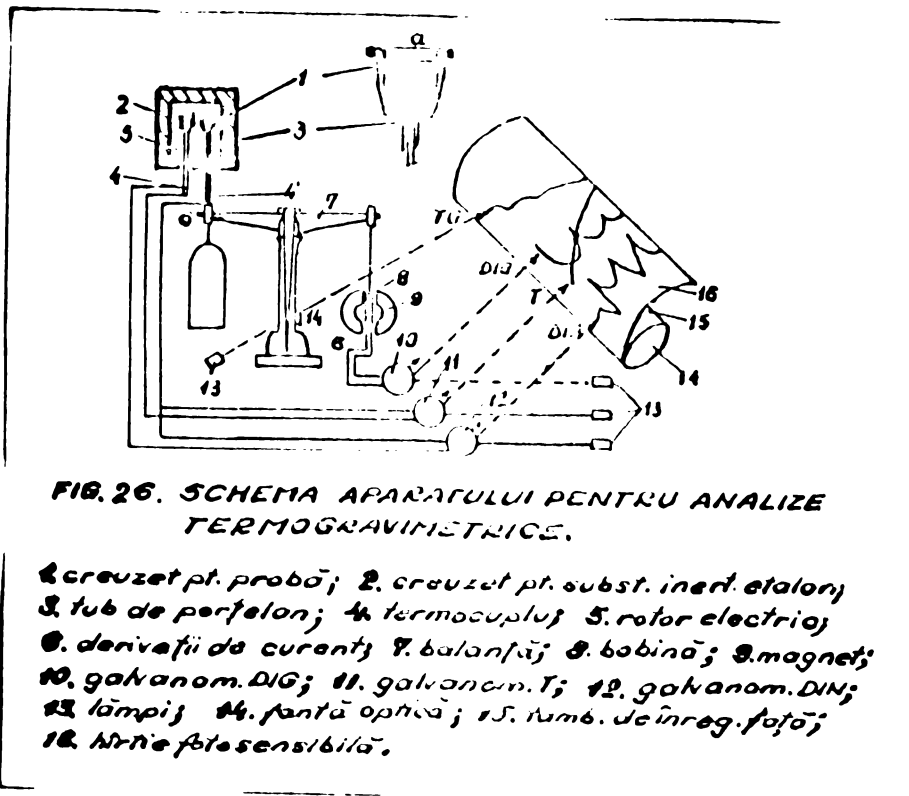
Aparatul, înregistrează automat schimbarea în greutate a substanțelor în funcție de temperatură (curba T.G. termogravimetrică-analise) ca și viteza de schimbare a greutății substanței (curba D.T.G. diferențial termogravimetrică-analise) și efectele termice a procesului (curba D.T.A. diferențial thermal analise). Totodată se poate urmări și temperatura substanței de analizat.

Curba T.G. reprezintă variația greutatei probei în funcție de temperatură. Derivata acestei curbe în raport cu temperatura calculată sau înregistrată direct printr-o tehnică experimentală oarecare reprezintă curba D.T.G.

Curba D.T.A. permite urmărirea transformărilor de fază dintr-un sistem, care sînt însoțite de variația de entalpie în timpul unui tratament termic cum ar fi :

- transformări polimorfe și recristalizări (efecte endoterme și exoterme)
- modificări în stare de agregare și punctele de tranziție corespunzătoare (topire, sublimare)
- descompuneri termice ca : deshidratare, decarbonatare, etc.
- reacții în fază solid între componentii sistemului.
- reacții între componentii sistemului și mediul înconjurător ca : hidratări, oxidări, carbonatări

Schema aparatului utilizat pentru analiza termogravimetrică a cinci loturi de pastă de electrozi este prezentată în figura 26.



Așa cum rezultă din schița prezentată, aparatul este format din cuptorul (5), suportul probei (3) și al etalonului, balanța (7) care permite înregistrarea curbei TG și prin sistemul electromagnetic (8-9) și galvanometrul (10) curba DTG, termoelementele (4,4') și multivoltmetrele (11 și 12) cu ajutorul cărora se poate înregistra curba DTA și T.

Stabilitatea balanței, s-a reglat în așa fel încât scăderea în greutate să poată fi indicată pe scală. Pentru analiză s-a prezentat materialul la o granulație de 0 - 20 mm.

Proba de analiză ca și substanța inertă (oxidul de aluminu) se află într-un creuzet de platină, care permite măsurarea exactă a temperaturii, fără ca termoelementul Pt - Pt.Rh să ajungă în contact cu substanța.

Pentru a împiedica arderea materialului supus analizei, determinările au fost executate în curent de gaz inert (15 l/oră N_2). Viteza de încălzire este variabilă ca și viteza de rotație a tamburului de înregistrare.

În figura nr.27 se prezintă termograma comparativă a cinci șarje de pastă de electrozi. Din diagramă rezultă respectarea întocmai a tehnologiei pentru degazeificarea materialului cărbunos care a stat la baza fabricării pastei de electrozi, numai pentru șarja nr.5 la care eliminarea materiilor volatile se realizează în proporție de 75 % între 500 - 600 °C, respectiv pînă la 600 °C se elimină peste 95 % din întreaga cantitate de materii volatile conținute în pastă. Se constată deci o degazeificare corespunzătoare a cocsului și antracitului introdus în fabricație și utilizarea unei smoale cu interval de temperaturi limitate pentru degajarea volatilelor.

Electrozii formați din șarja nr.4 - a rezultat neomogeni cu porozitate ridicată, rezistivitate electrică crescută, care în final nu a putut prelua densitatea de curent prescrisă.

./.

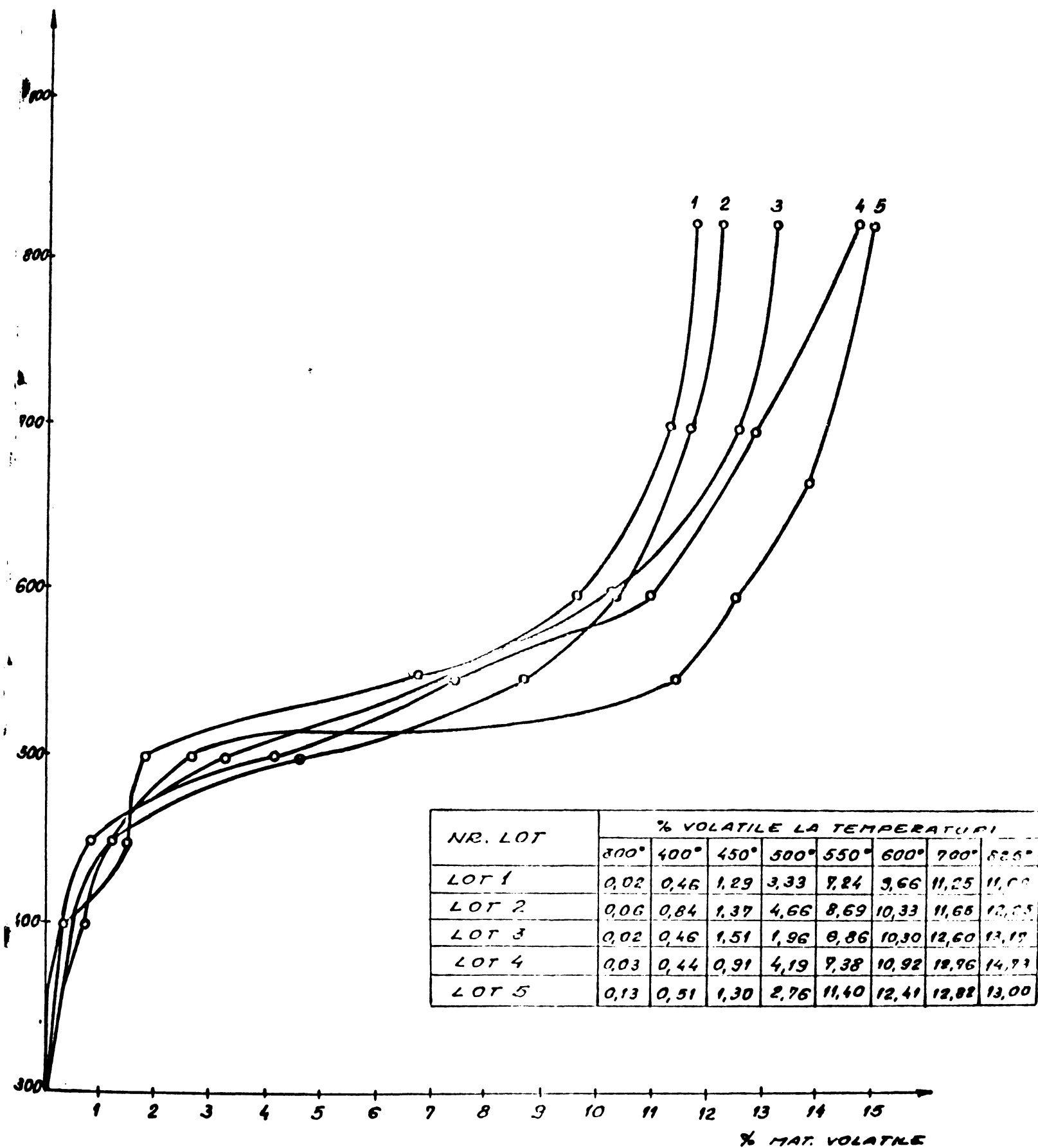


FIG. 27. TERMOGRAMA DEGAJĂRII MATERIILOR VOLATILE DIN PASTA DE ELECTROD

In figura 28 se prezintă aspectul neomogen al acestui electrod.

In concluzie prin stabilirea intervalului de temperaturi în care se degazeifică complet sau parțial pasta de electrozi prin analizarea termogavimetrică se oferă posibilitatea stabilirii măsurilor diferențiate pentru formarea și coacerea electrozilor Söderberg la cuptoarele electrice cu arc.



Fig 28

3.2.2. STUDII ASUPRA TEHNOLOGIEI DE FORMARE A
ELECTROZILOR SÖDERBERG [19, 46, 47, 99, 105]

Tehnologia de formare a electrozilor continui de tip Söderberg, la cuptoarele pentru obținerea carbidului și feroaliajelor, trebuie să asigure formarea unor electrozi de arc, cu caracteristici identice cu a electrozilor din cărbune amorf (blocuri carbonice) la care presarea, coacerea și grafita-rea, se realizează în faze distincte cu utilaje adecvate.

La formarea electrozilor Söderberg se urmărește ca ;

- zona de sub elementele de alimentare cu energie electrică (bacurile de contact) să fie complet cocsificată și parțial grafitată ;

- zona din jumătatea de jos a bacurilor de contact să fie solidificată și parțial cocsificată ;

- zona din jumătatea superioară a bacurilor și în continuare, pe o înălțime de min. 3-4 m să fie fluidă.

De modul cum se reușește a se menține constantă lungimea și poziția acestor zone, depinde buna funcționare a cuptorului electric.

Regimul termic la care este supus electrodul este determinat de :

- lungimea sub bacurile de contact a electrodului ;

- nivelul băii de topitură din cuva cuptorului
- concentrația în substanța activă a topiturii
băii ;

- densitatea de curent a electrodului

- densitatea de contact a bacului pe electrod

- mărimea suprafeței răcite a electrodului

- aportul caloric al gazelor de reacție ce ard la suprafața șarjei

- aportul caloric al agentului de încălzire a părții superioare a electrodului (zona superioară bacurilor de contact)

./.

Tehnologia propriuzisă de obținere a carbidului și feroaliajelor influențează direct formarea unor electrozi de calitate prin :

- menținerea unui nivel scăzut și consistent a topiturii în cuva cuptorului ;
- combustia la suprafața șarjei a unei cantități constante de gaze de reacție ;
- dozarea corespunzătoare a reactanților și dispersia uniformă în toate zonele cuptorului ;
- conținut scăzut de impurități a amestecului reactant
- evitarea întreruperilor în funcțiunea cuptorului, etc.

În scopul obținerii unor date, privind regimul termic de formare a electrozilor sau studiat caracteristicile de calitate a unui electrod format la diferite temperaturi de cocsificare și sub diferite presiuni.

Intr-o primă gamă de experimentări s-a urmărit în laborator a unei mase carbonice în intervalul de temperaturi cuprinse între 195 - 900 °C și presiune constantă (1 atm).

Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul nr.6.

Tabel nr.6

Caracteristicile pastei de electrozi la diferite temperaturi

Nr. pro bei	Temp. °C	Volatilitate %	CARACTERISTICILE DETERMINATE				Porozit. %
			Densitate aparentă gr/cmc	Densit. relat. g/cmc	Rezist. compres. kg/cmp	Rezist. electr. ohm/mmp/m	
1	300	12,26	1,50	1,74	138	18.750	13,2
2	400	10,99	1,44	1,77	180	14.375	18,6
3	500	6,8	1,34	1,84	202	11.872	27,1
4	600	5,7	1,29	1,79	210	1.000	28,0
5	700	1,5	1,30	1,71	219	95	23,0
6	800	0,9	1,34	1,70	225	80	21,0
7	900	0,72	1,28	1,81	202	87	29,3
10	195						3.402.187 masa top.

. / .

Pentru probele 1 - 9, regimul termic aplicat a fost cel din diagrama figurii nr.29 cu întreruperea temperaturii după menținerea timp de 30' la temperatura constantă. Răcirea s-a făcut în 6 ore pentru fiecare probă.

Din datele prezentate în tabelul nr.6 rezultă :

- degazeificarea în proporție de 88 % se realizează pînă la temperatura de 700 °C
- cantitatea cea mai mare de substanță volatilă se degajă între 400 - 500 °C.
- rezistența mecanică care asigură evitarea ruperii electrodului datorită greutateii coloanei proprii, se asigură începînd de la temperatura de 500 °C.
- electrodul poate prelua densitatea de curent prescrisă în tehnologie la o funcționare normală (5,5 - 6 A/cmp de electrod) numai la min.700 °C.
- procesul de calcinare al electrodului se realizează pînă la 600 °C fapt confirmat de diminuarea apreciabilă a rezistivității electrice peste această temperatură.

Dintr-un eșantion de pastă omogenizată, caracterizată prin :

- materii volatile	12,80 %
- cenușe	3,44 %
- greutate specifică aparentă (pasta copată)	1,31 gr/cmc
- greutate specifică reală (pasta coaptă)	1,70 gr/cmc
- rezistența la compresiune (pasta coaptă)	217 kgf/cmp
- rezistivitatea electrică (pasta coaptă)	84 ohm.mmp/m
- porozitatea	24 %

Mai multe epruvete au fost supuse la coacere după diagrama figurii nr.29 aplicînd pe timpul coacerii presiuni diferite.

./.

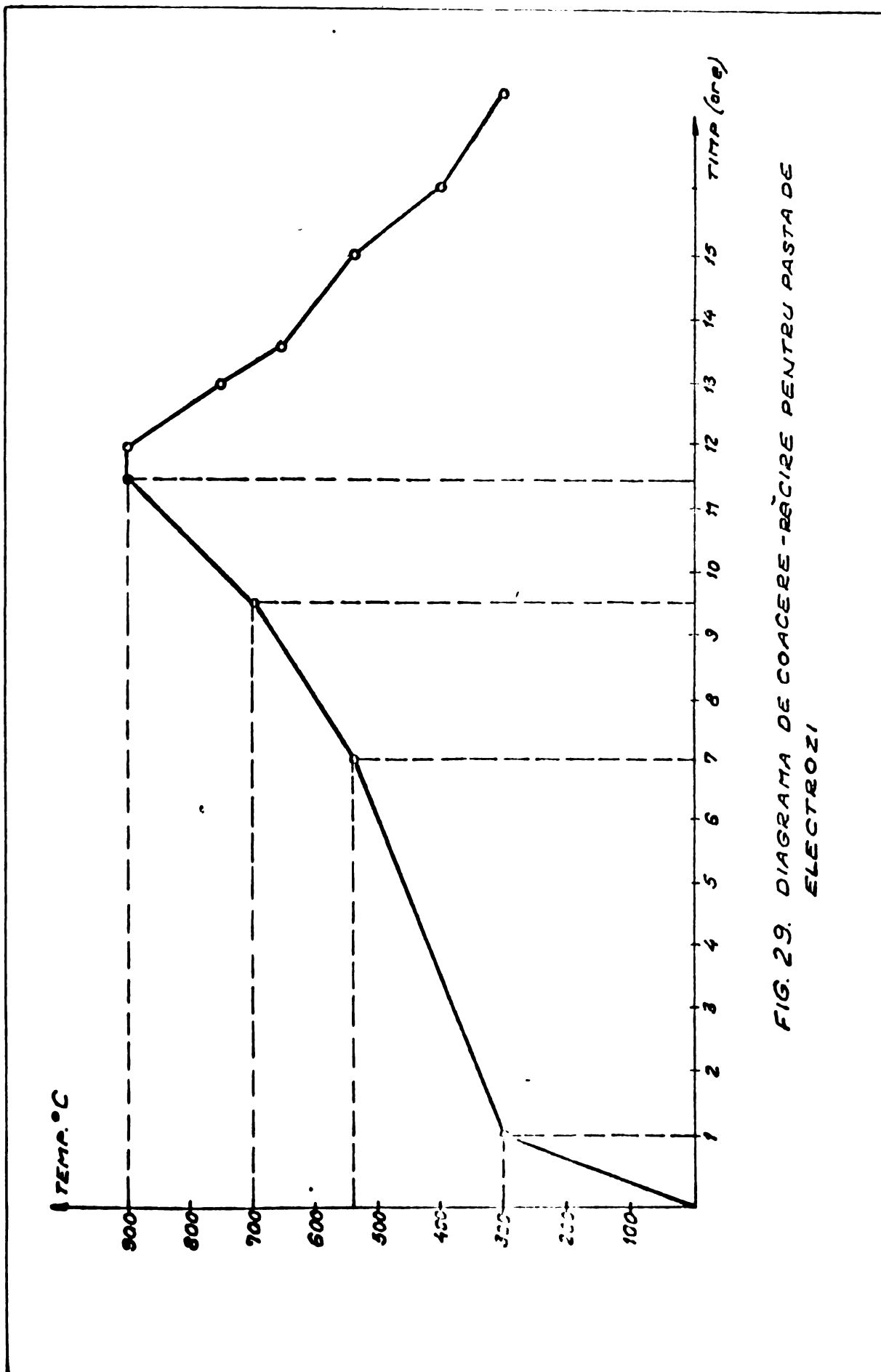


FIG. 29. DIAGRAMA DE COACERERE - RĂCIRE PENTRU PASTA DE ELECTROZI

Rezultatele care s-au obținut sînt prezentate în tabelul nr.7.

Tabelul nr.7

Principalele caracteristici ale pastei coapte la diferite presiuni.

Nr. probă	Presiune la care a fost sup. proba kg/cmp	Densitatea aparentă a pastei coapte gr/cmc	Densitate reală a pastei coapte gr/cmc	Rezist. la comp. kg/cmp.	Rezist. electr. ohm. mmp/m	Poroz. %
1	0	1,31	1,70	217	84	24
2	0,08	1,32	1,76	220	87	25
3	0,20	1,30	1,75	225	82	25
4	0,40	1,29	1,70	233	81	24
5	0,51	1,28	1,78	210	82	28

Analizînd datele din tabelul nr.7 rezultă ca la cuptoarele de 40 MVA, la care masa carbonică se alimentează în electrod, sub formă solidă, presiunea nu are o influență semnificativă asupra caracteristicilor electrodului format.

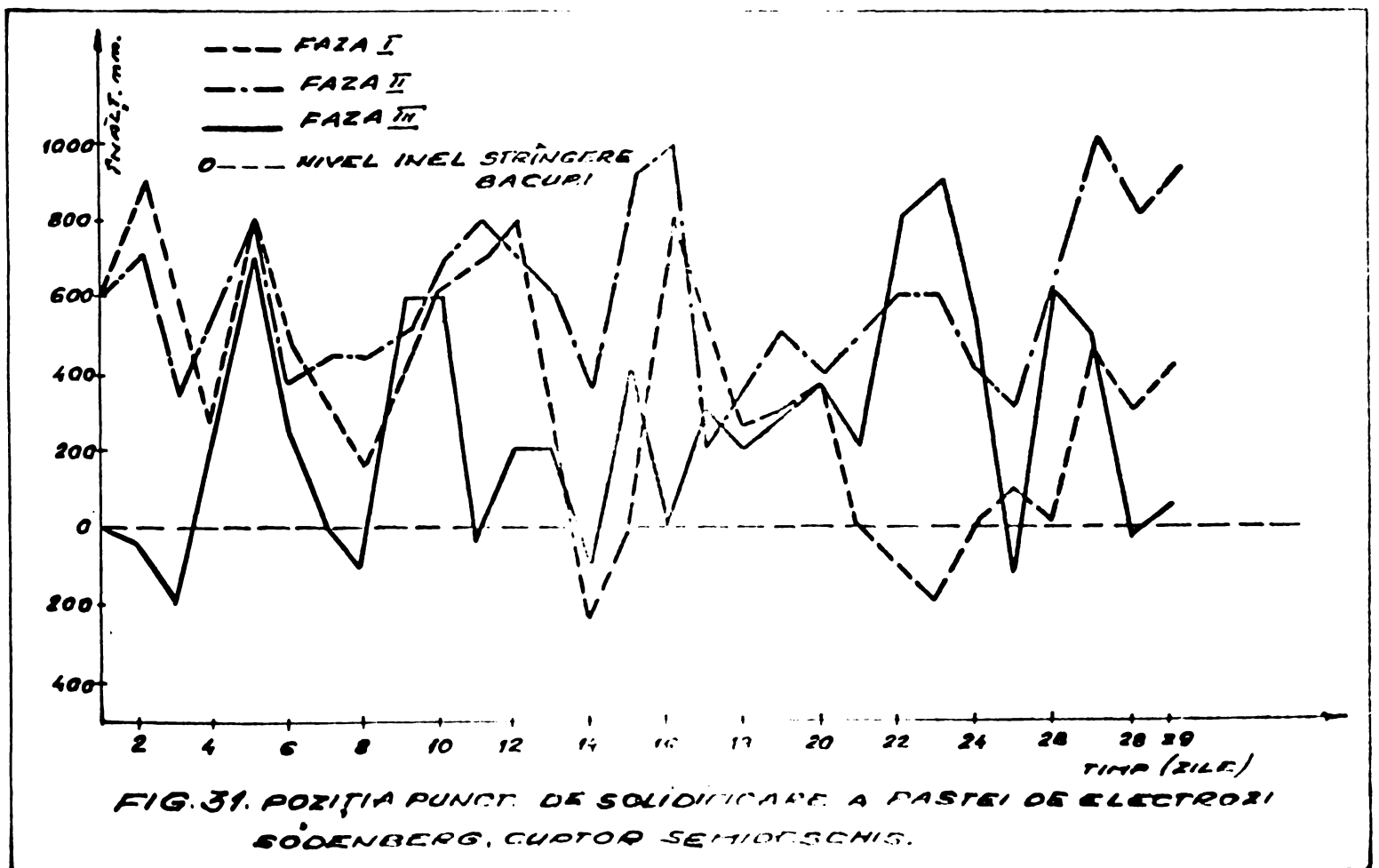
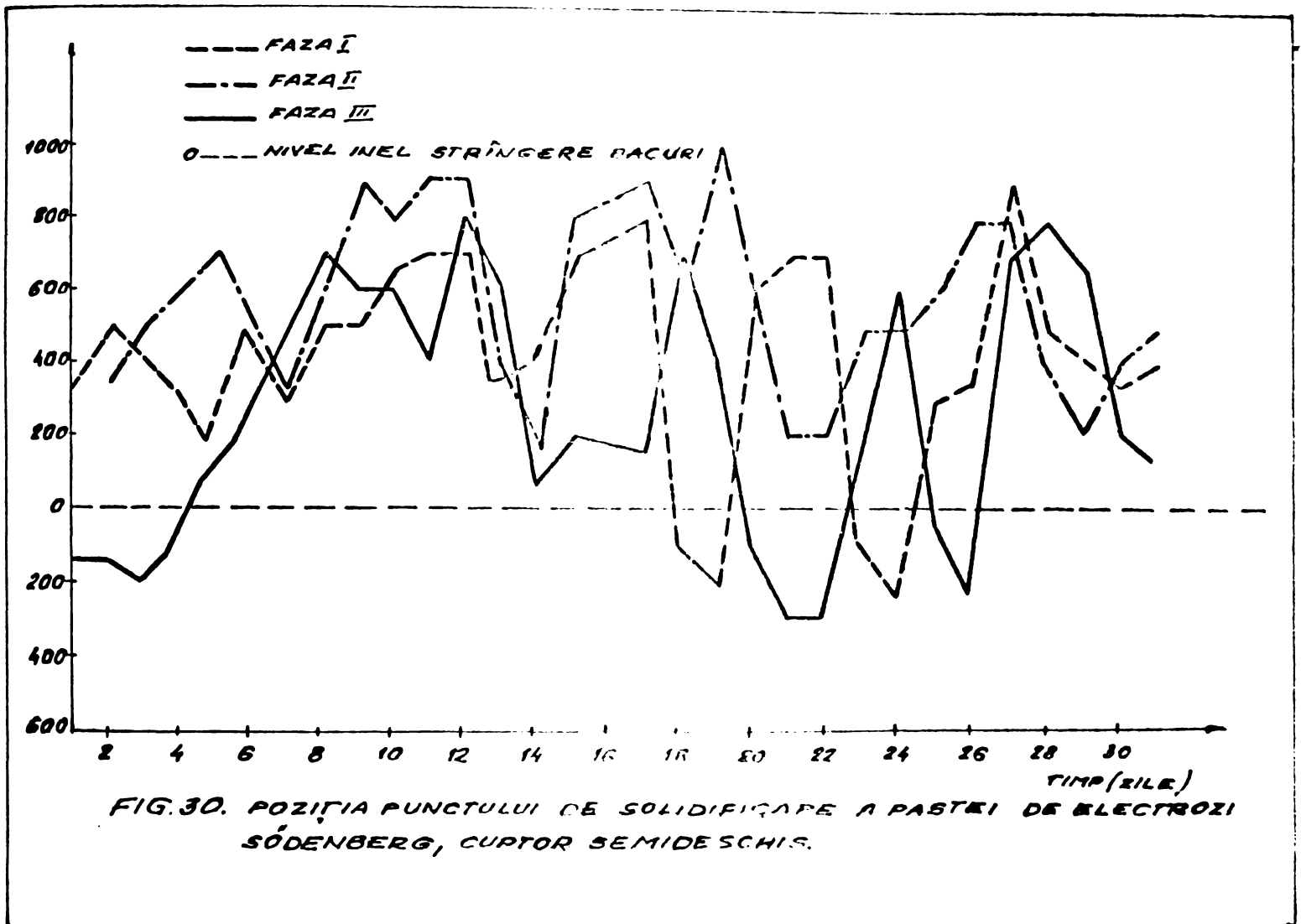
Presiunea de 0,51 kg/cmp este echivalentă cu presiunea realizată practic în electrodul Söderberg, la limita de separație lichid - solid.

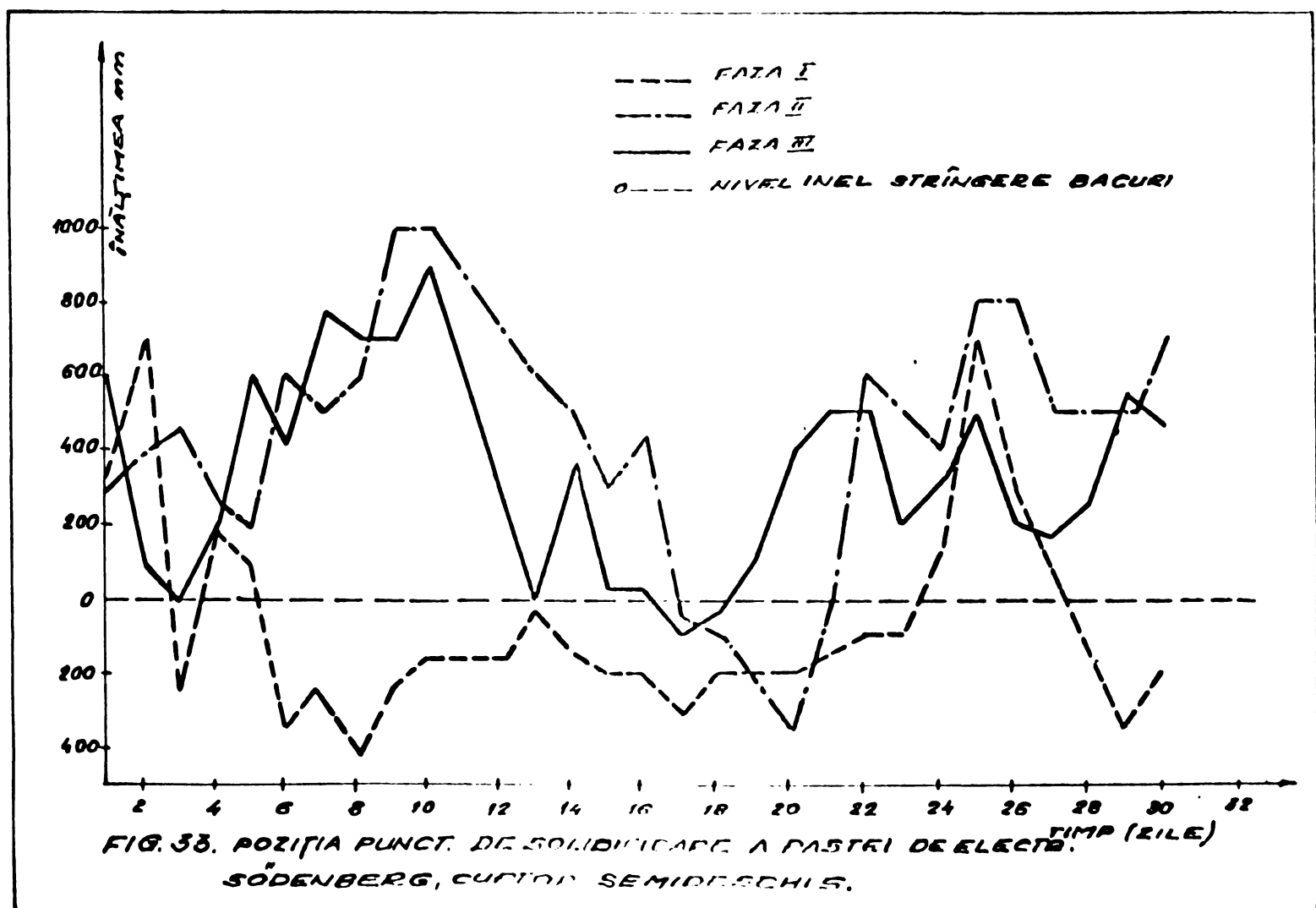
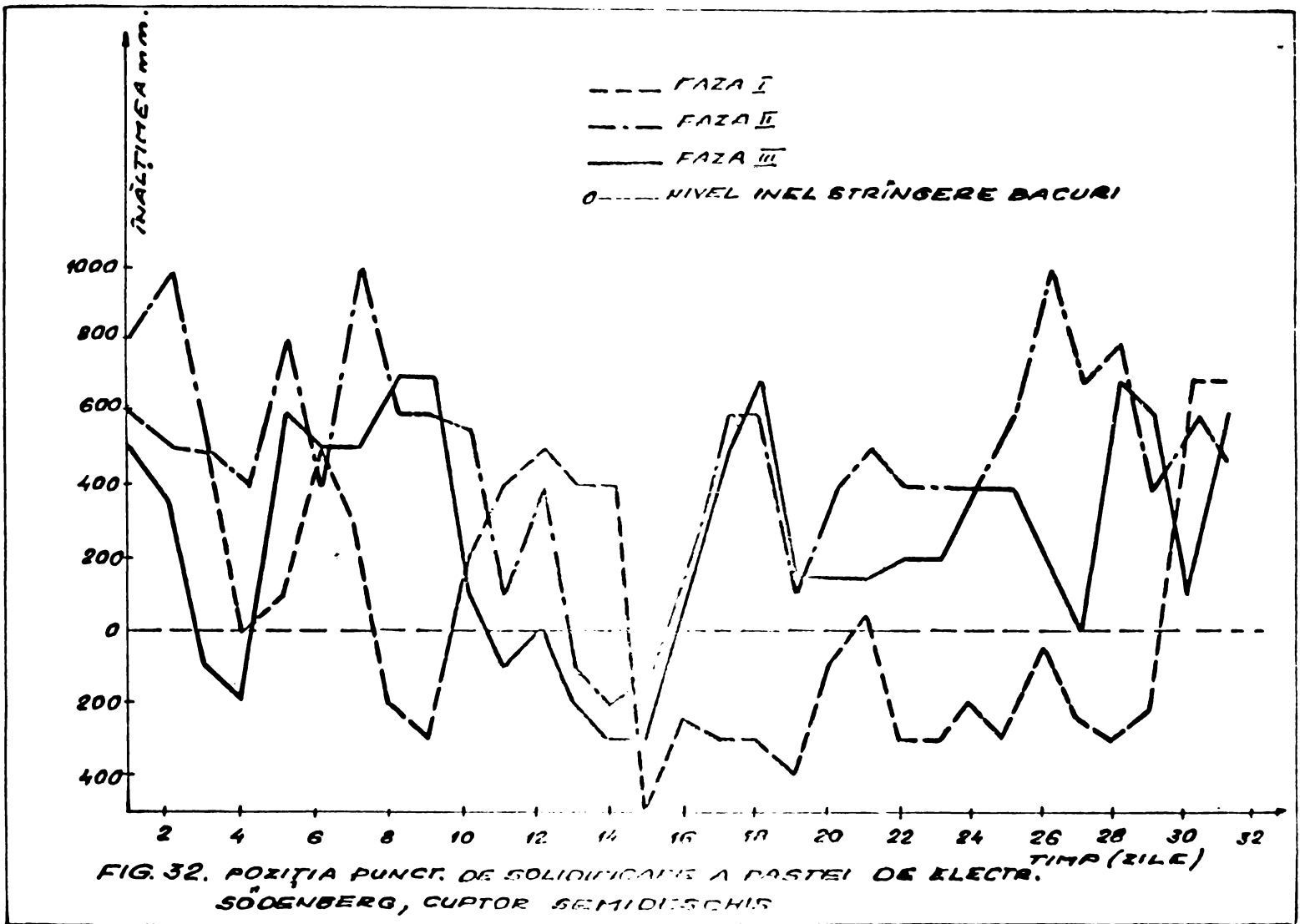
Interpretarea datelor experimentale obținute mai sus este legată de o altă grupă de experimentări și anume :

- s-a urmărit în condiții normale de funcționare, consecutiv timp de 120 zile, poziționarea punctului de solidificare a pastei în burlanele electrozilor la cuptoarele de 40 MVA de tip semideschis și de tip acoperit pentru fabricarea carbidului.

Rezultatele obținute sînt prezentate în figurile 30 - 37 cuptor semideschis și figurile 38 - 41, cuptor acoperit.

./.





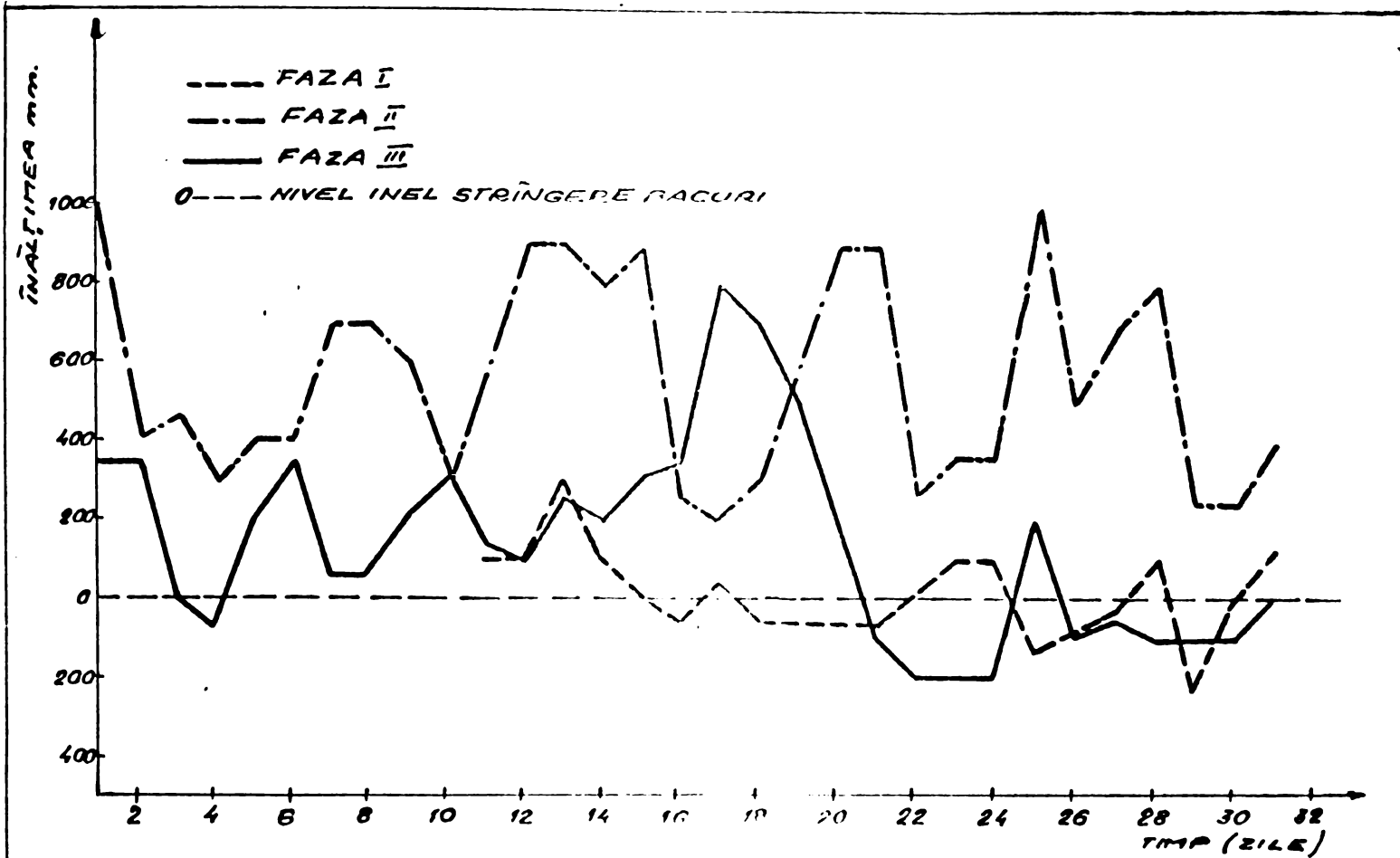


FIG. 34. POZITIA PUNC. DE SOLIDIFICARE A PASTEI DE ELECTROZI SÖDENBERG, CUPTOR SEMIDESCHIS.

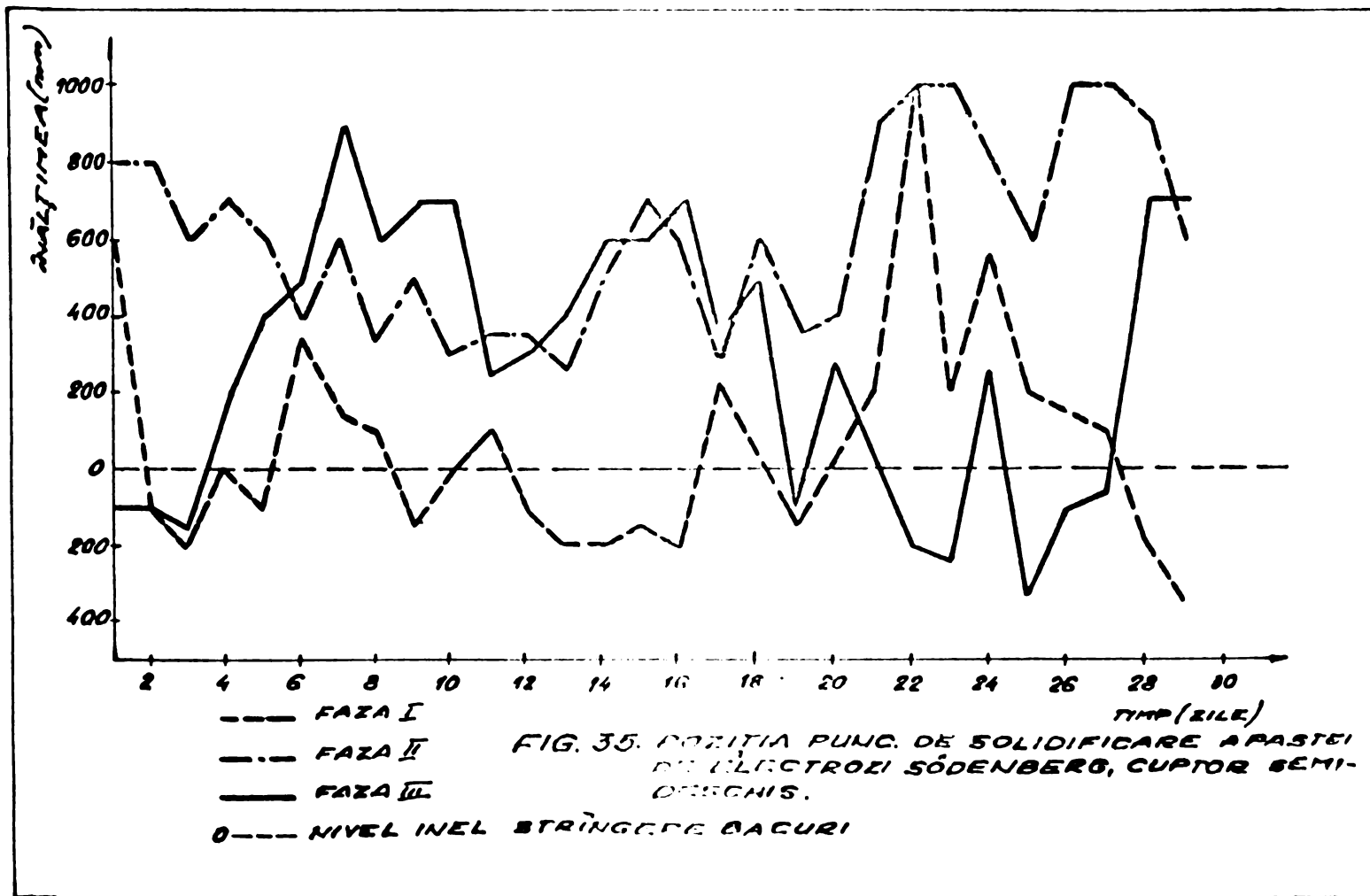
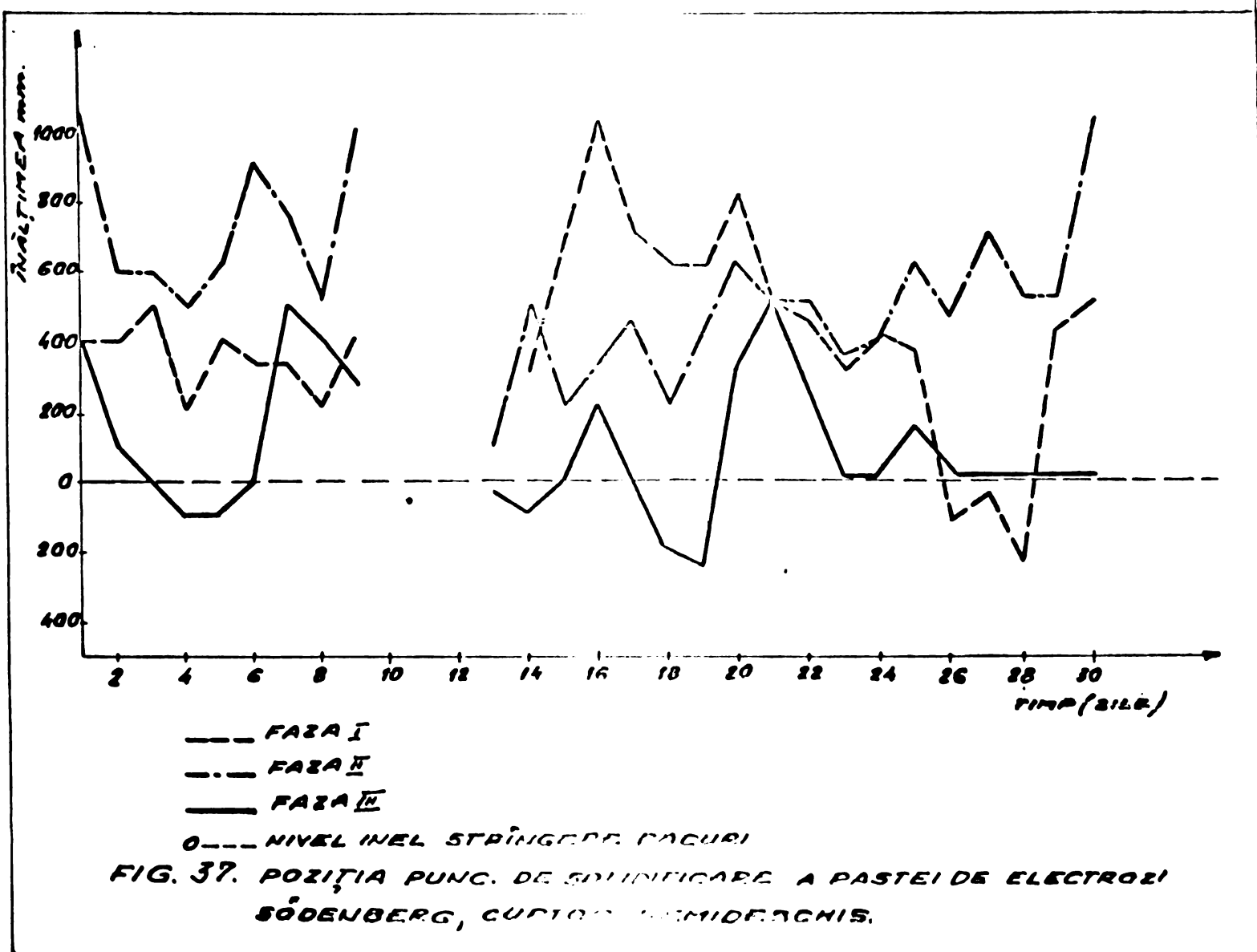
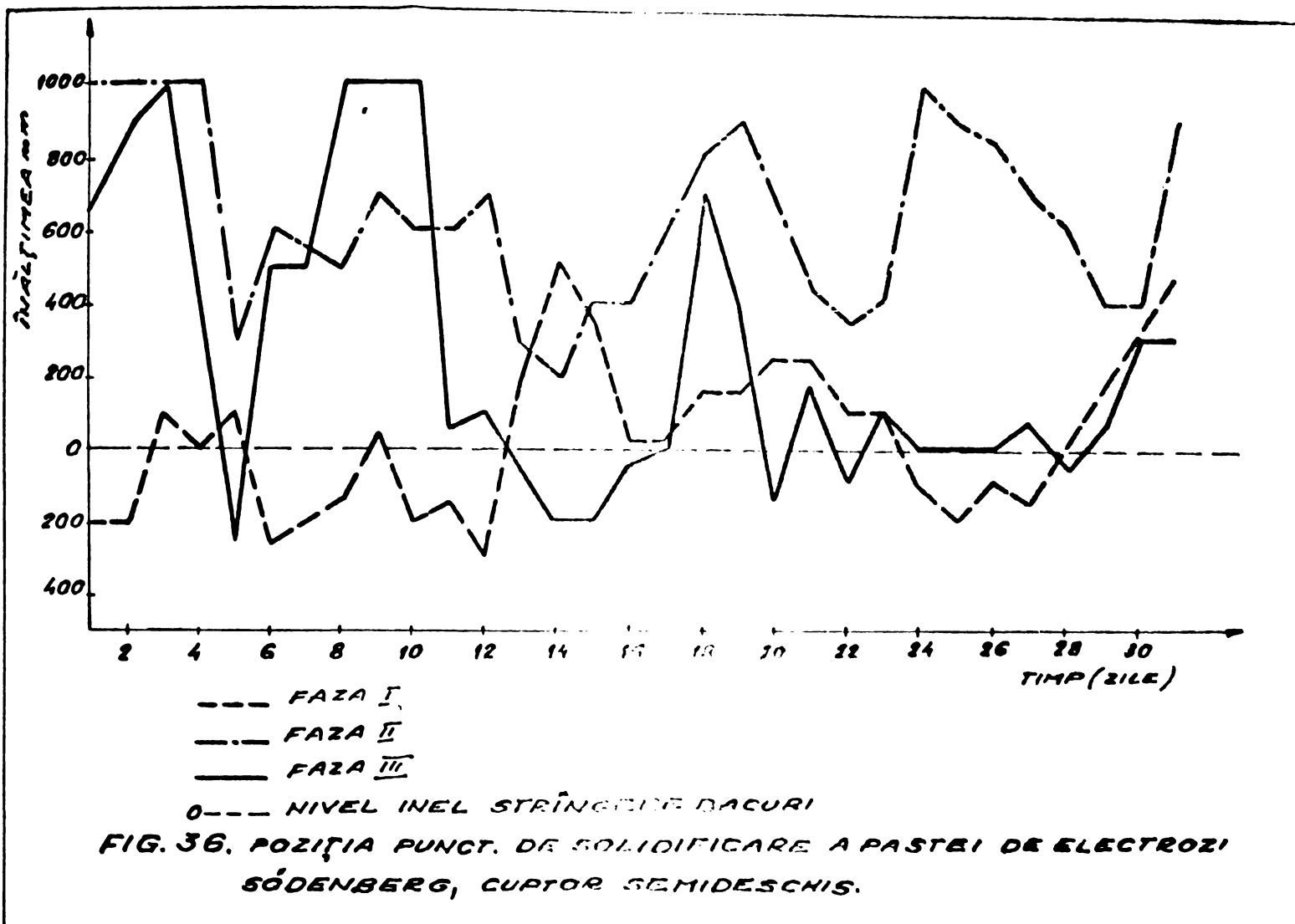
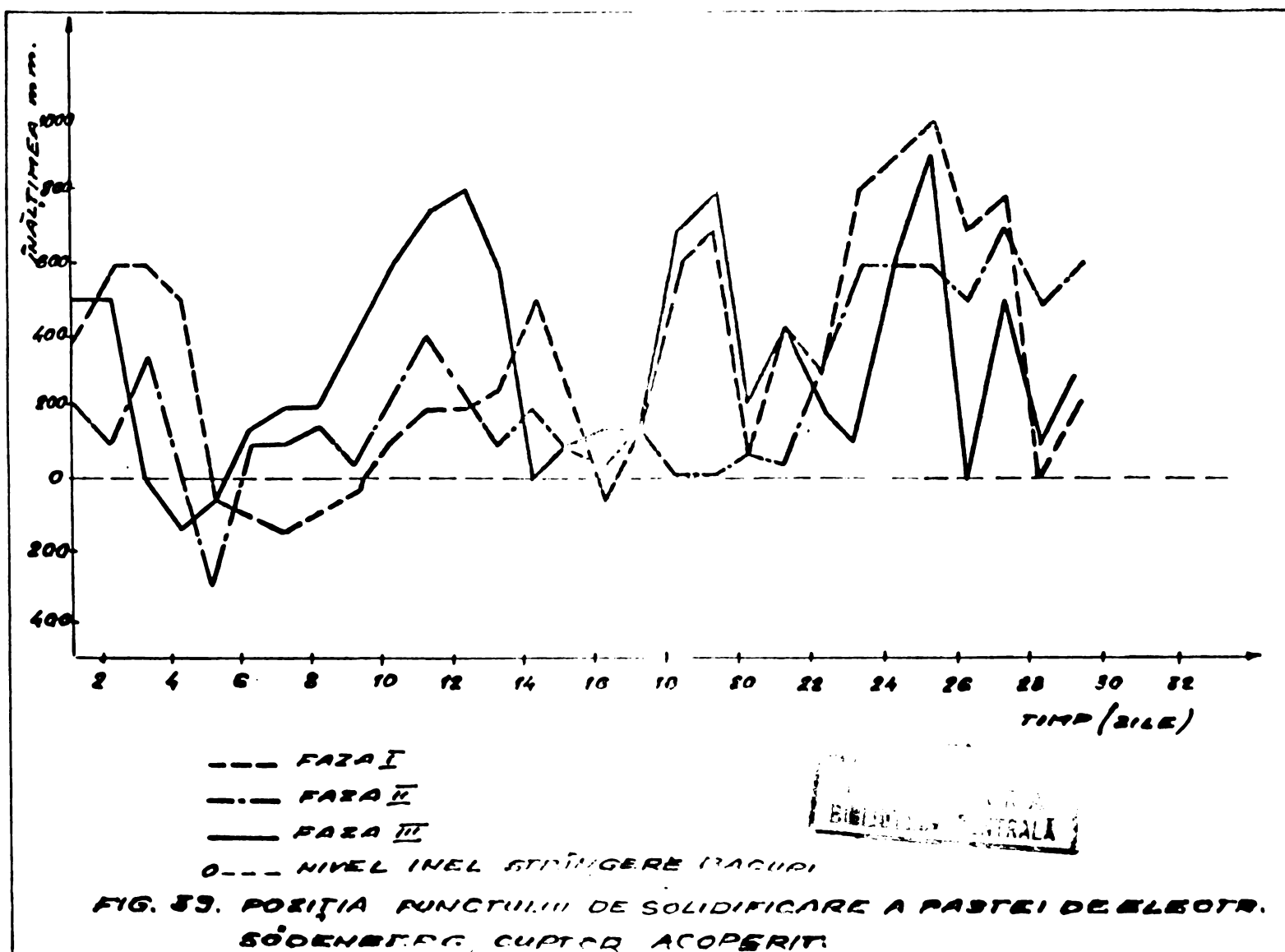
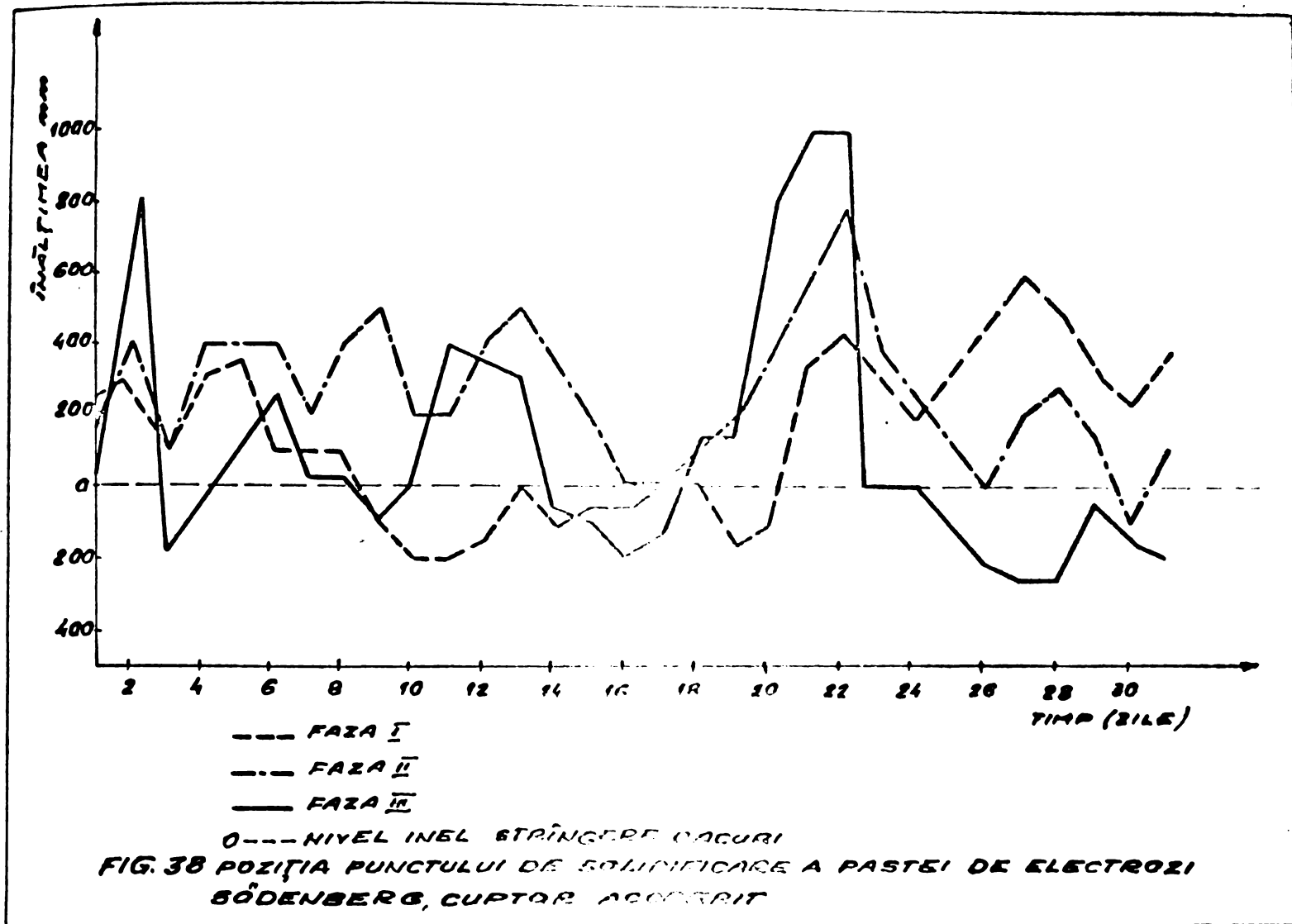
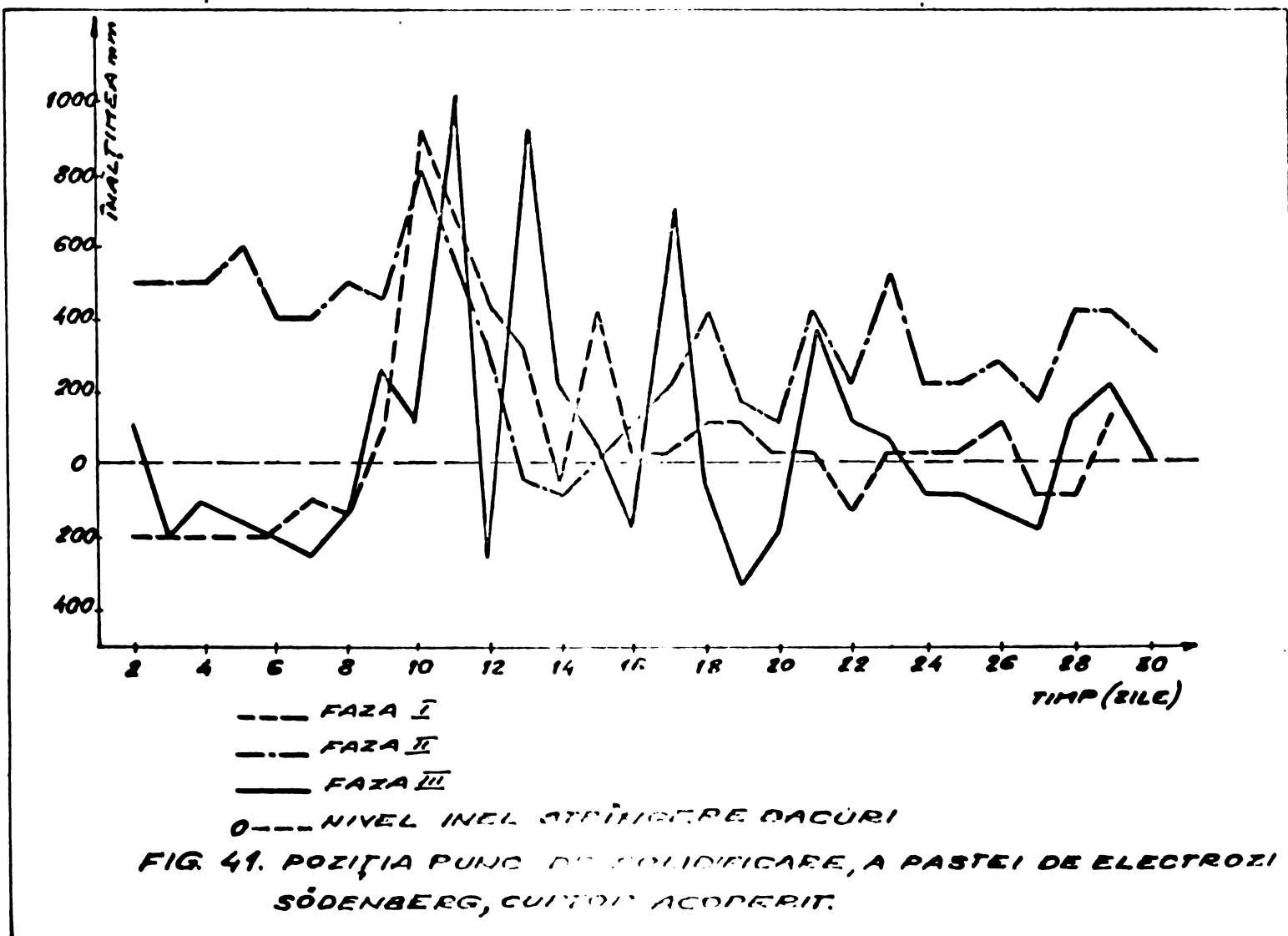
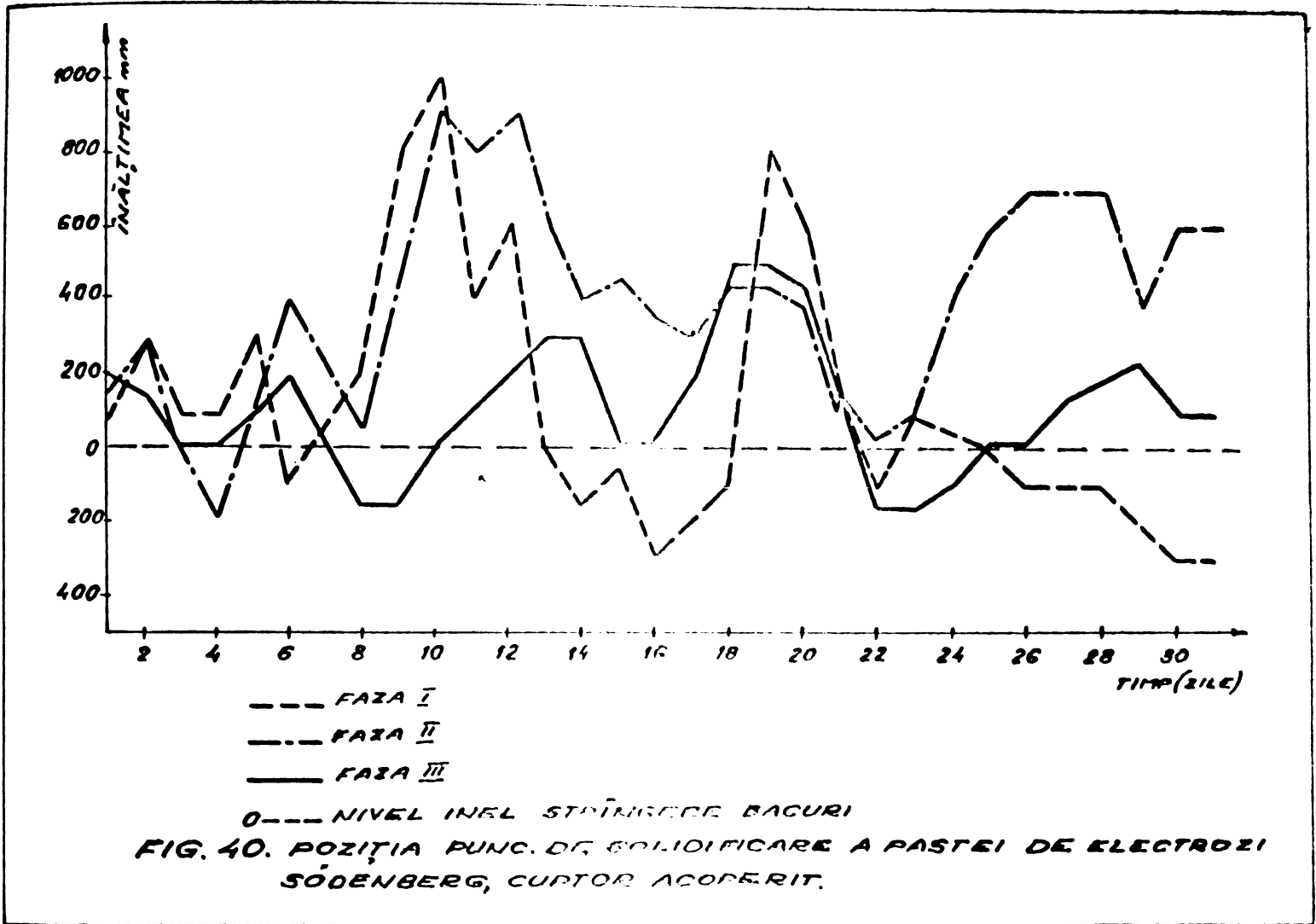


FIG. 35. POZITIA PUNC. DE SOLIDIFICARE A PASTEI DE ELECTROZI SÖDENBERG, CUPTOR SEMIDESCHIS.







- la cuptoarele de tip acoperit de 40 MVA pentru fabricarea carburului, s-a urmărit timp de 15 zile, în condiții normale de funcționare, la doi electrozi ai cuptorului, punctul de solidificare al pastei în burlan, comparativ cu punctul de indicare a temperaturii de 300 °C.

Rezultatele obținute sînt prezentate în figura nr.42.

Analizînd diagramele menționate mai sus (poziția punctului de solidificare a pastei de electrozi) se constată variația zilnică a poziției punctului de solidificare și a necorelației între aceasta și temperatura, fenomen explicat prin ;

- regimul termic variabil al gazelor de hotă
- întreruperi ale procesului tehnologic,
- lungimi variabile în timp a electrozilor sub bacurile de contact.
- variația peste limita admisă a nivelului topiturii în cuptor
- calitatea inconstantă a pastei de electrozi. Extinderea degajării materiilor volatile pe un interval mai mare de temperatură

Cocsificarea eșantioanelor de pastă de electrozi la diferite temperaturi și la diferite presiuni, s-a efectuat într-un cuptor de laborator cu încălzire electrică, conceput special acestui scop. Schița cuptorului este prezentată în figura nr.43.

Cuptorul electric are forma paralelipipedică, cu dimensiunile indicate în figură.

La exterior este prevăzut cu o carcasă metalică, grosimea tablei fiind de 2 mm, iar pe părțile laterale, opus așezate, se găsesc capacele elementelor de încălzire, prevăzute cu 14 găuri de \varnothing 25 mm.

Elementele de încălzire, sînt bare de silită în număr de 14 cu \varnothing ext 14 mm și lungimea de 450 mm. Izolația termică a cuptorului electric este asigurată prin :

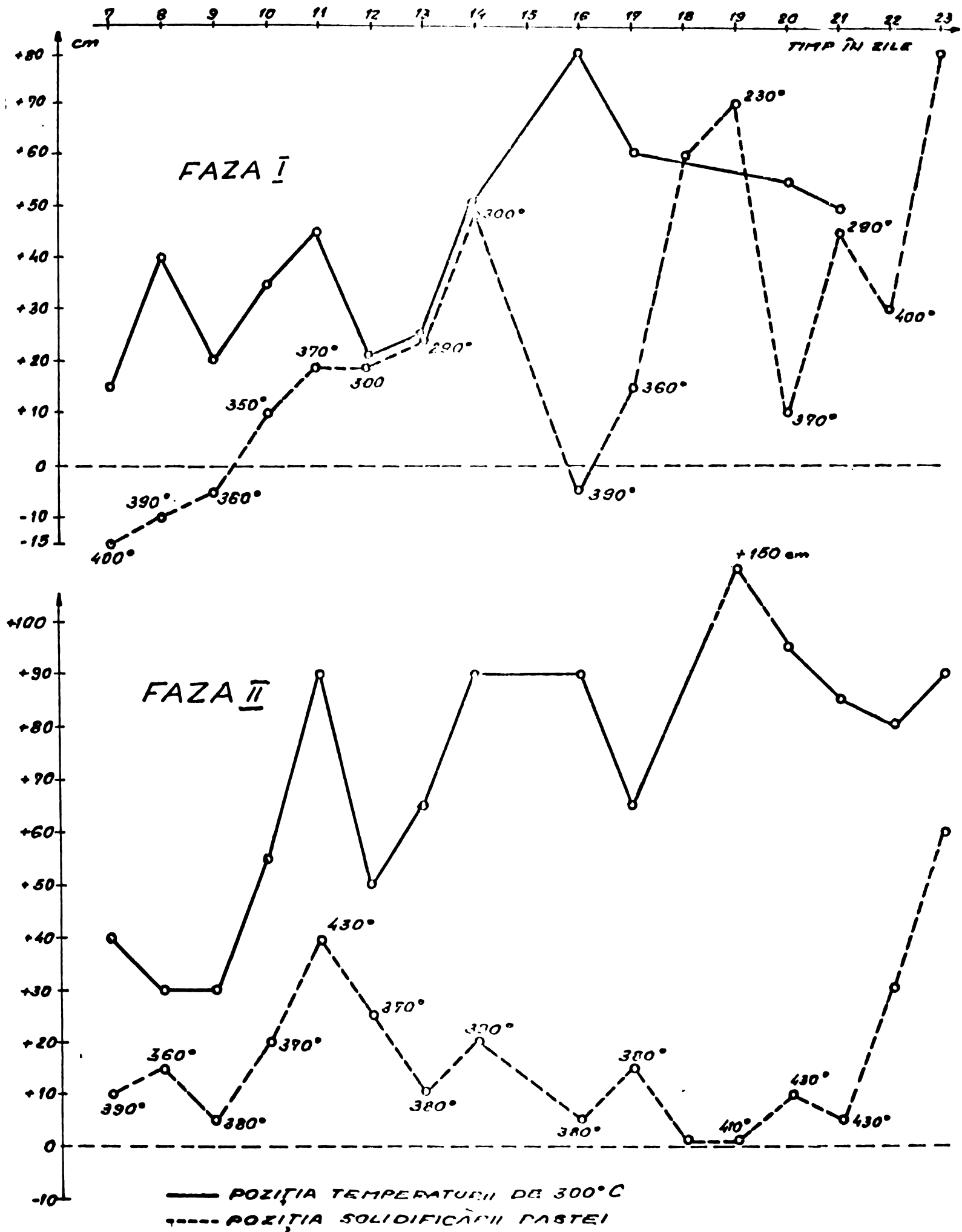


FIG. 42. VARIAȚIA PE ÎNĂLȚIMEA COLOANEI DE ELECTROD A POZIȚIEI DE 300°C.

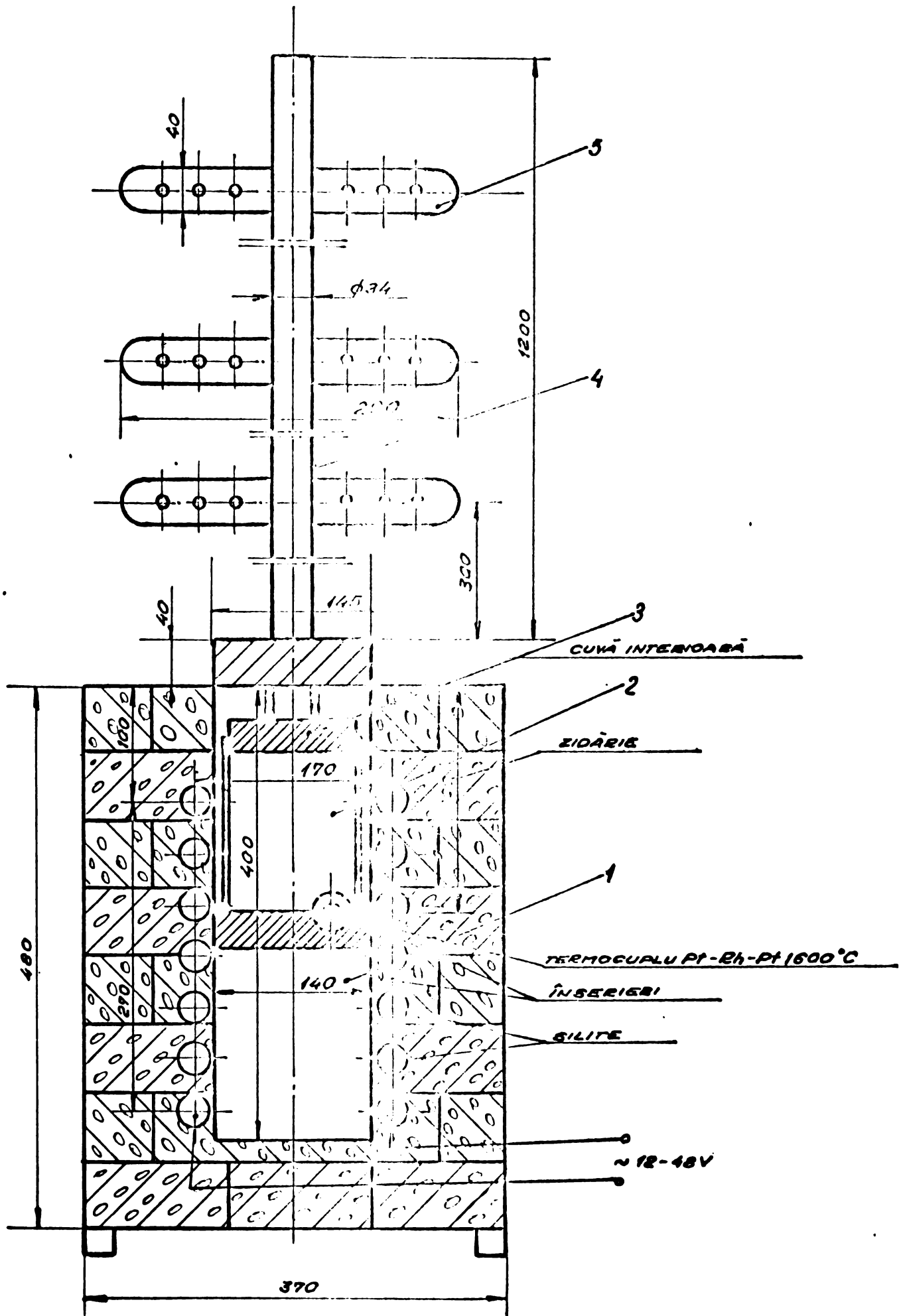


FIG. 43. CUPTOR ELECTRIC TERMOSTABIL PTR. LABORATOR.

- un strat praf șamotă
- două straturi de cărămidă de șamotă
- un strat cărămidă refractară subțire, cu perforații pentru montarea silitelor.

Camera de coacere (1) este confecționată din tablă de V_2A grosimea de 3 mm cu dimensiunile de 135 x 112 x 380 mm. Pentru evitarea combustiei gazelor rezultate în urma calcinării, în zona elementelor de încălzire, camera de coacere este confecționată etanș față de zona de amplasare a silitelor.

Coacerea realizându-se sub presiune, deasupra formeii cu masa carbonică (2) se fixează un piston (3) cu brațe (4) piston ce are și rolul de capac al camerei de coacere.

Cuptorul este prevăzut cu un termocuplu din Pt-Rd-Pt, indicarea temperaturii realizându-se prin intermediul unui milivoltmetru regulator.

Este de asemenea prevăzut cu un panou de termoreglare, programarea făcându-se conform diagramei de coacere a pasteii de electrozi.

Cuptorul se conectează la o surșă de curent de 220 V prin intermediul unui transformator, cu tensiunea din secundar variind între 30 - 80 V.

Pentru coacere, pasta de electrozi în prealabil se topește într-un malaxor cu paletii (orizontali) încălzit indirect cu gaze de ardere. Topitura la 120 - 130 °C se introduce în forme paralelipipedice cu dimensiunea 72 x 72 x 160 mm confecționate din oțel normal (malaxorul a fost conceput adecvat acestui scop).

Rezistența la compresiune a pasteii calcinate se realizează pe esantioane cu dimensiunile de 40 x 25 x 20 mm cu o presă hidraulică de laborator, iar rezistivitatea electrică cu o puncte Thommson pe esantioane de aceeași dimensiune.

Atît aparatura de laborator, metodele de analiză cît și diagrama finală de coacere după numeroase serii de determinări, au fost omologate pentru controlul fabricației electrozilor Söderberg de la cuptoarele electrice pentru carbid.

In urma studiilor efectuate asupra tehnologiei de formare a electrozilor Söderberg se poate afirma că formarea unor electrozi Söderberg de bună calitate este condiționată de modul și locul unde se realizează faza de degazeificare (calcinare) a masei carbonice în electrod. Rezistența mecanică, conductibilitatea electrică și calorică a electrodului format sînt și ele condiționate de modul de conducere a procesului de degazeificare a electrodului.

3.2.2.1. RIDICAREA DIAGRAMELOR TEMPERATURII IN ELECTROD LA DIFERITE TIPURI DE CUPTOARE [13, 18, 72, 102]

In scopul poziționării temperaturii critice în electrod, s-a procedat la stabilirea diagramei temperaturii în electrozii diferitelor tipuri de cuptoare și anume :

- a. pentru cuptor de 40 MVA de tip acoperit
- b. pentru cuptor de 40 MVA de tip semideschis
- c. pentru cuptor de 12 MVA de tip deschis

Principalele caracteristici comparative ale electrozilor celor trei tipuri de cuptoare studiate sînt prezentate în tabelul nr. 8.

a. Determinarea experimentală a temperaturii în electrod la un cuptor de 40 MVA de tip acoperit.

Stabilirea diagramei temperaturii coloanei de electrod, s-a realizat cu instalația de măsură prezentată în figura nr.44.

Instalația de măsură constă dintr-un termocuplu Cr-Al, cu lungimea de 9 m și 4 m cablu de compensare montat într-o conductă de \varnothing interior 50 mm cu lungimea de 11,8 m. Firul termocuplului este izolat față de pereții conductei prin cilindrii (teacă) ceramici cu \varnothing interior 20 mm și lungimea de 1.500 mm.

Teava metalică denumită și sondă este introdusă în electrod cu partea inferioară în locul unde se dorește a se determina temperatura. Este fixată printr-un braț de susținere care susține electrodul încît poziția ei este fixă față de întreg ansamblul portelectrod, bacuri de contact și inel de strîngere a bacurilor. Dispozitivul de susținere a sondei oferă posibilitatea modificării poziției sondei pe verticală.

Aparatul de măsură (milivoltmetru indicator gradat în $^{\circ}\text{C}$) și instalația a avut posibilitatea de măsurare a temperaturii maxime de 900°C .

./.

PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE ELECTROZILOR CUPTOARELOR ELECTRICE

Tipul cuptorului	Forma elec- trozilor în secțiune	Dimens.în secțiune a electrozi- lor (mm)	Supraf. secțiunii (cm ²)	Lung.sub bacuri mm	Inalt.col. de pastă fluidă în mm	Intensit. curent. pe elec- trod (A)	Densit. curent maximă (A/cm ²)	Tensiun curent electr (V)
• Deschis de 12 MVA	rotundă	φ 1000	7253	800-1000	2-3	45.000	5,73	90
• Semiîncălzit de 40 MVA	dreptunghi- lară cu ce- petele ro- tunjite	2600x50	17475	1100-1400	3-4	100.000	5,73	135
• Acoperit de 40 MVA	"	"	"	1200-1600	4-5	100.000	5,73	150

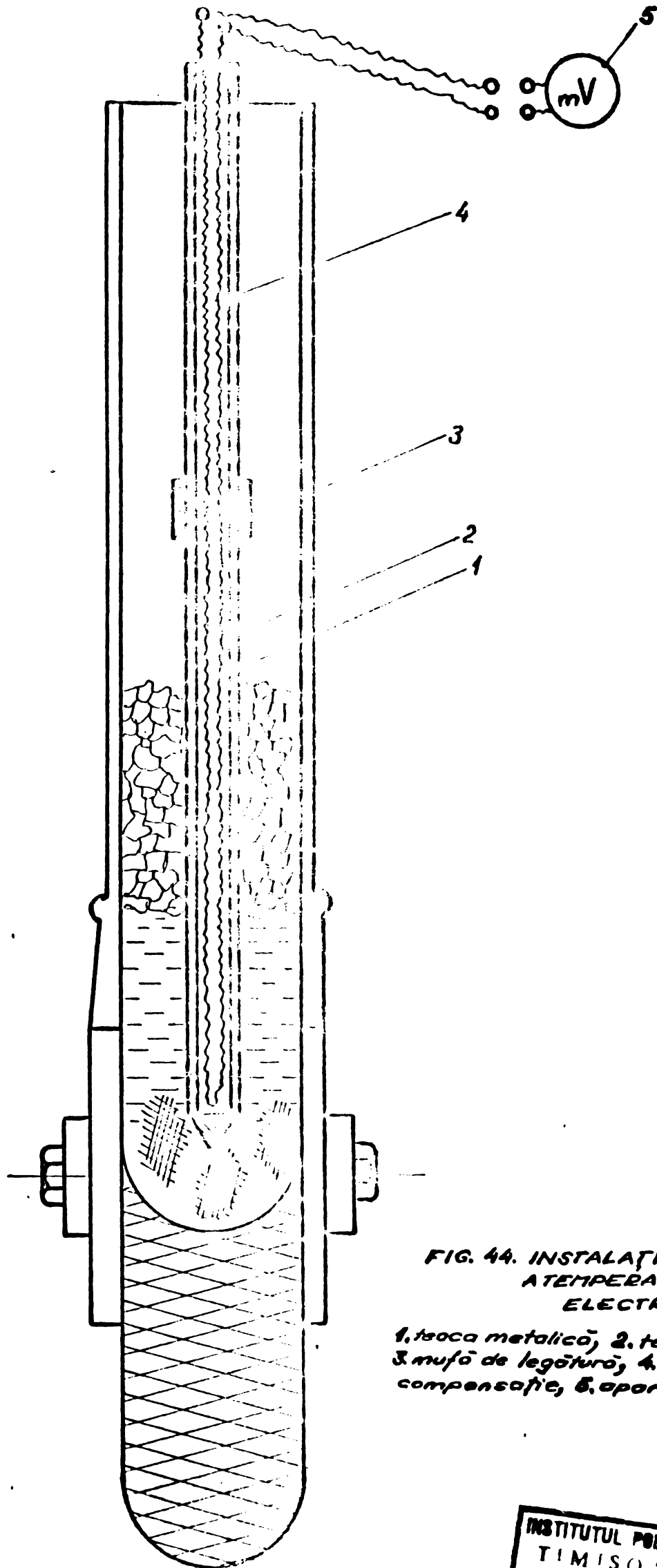


FIG. 44. INSTALAȚIA PENTRU MĂSURAREA
A TEMPERATURII ÎN
ELECTROD.

1. teacă metalică, 2. termocuplu,
3. mufă de legătură, 4. cablu de
compensare, 5. aparat de măsură
(mV)

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Electrodul cuptorului de tip acoperit studiat, a fost echipat cu 8 buc. bacuri de contact din cupru, răcite cu apă de formă paralelipipedică 1250 x 350 x 110 mm.

Distanța între bacuri a fost de 210 mm iar suprafața liberă desfășurată neacoperită cu bacuri a electrodului pe înălțimea corespunzătoare înălțimii unui bac este 4,425 mp (figura 45)

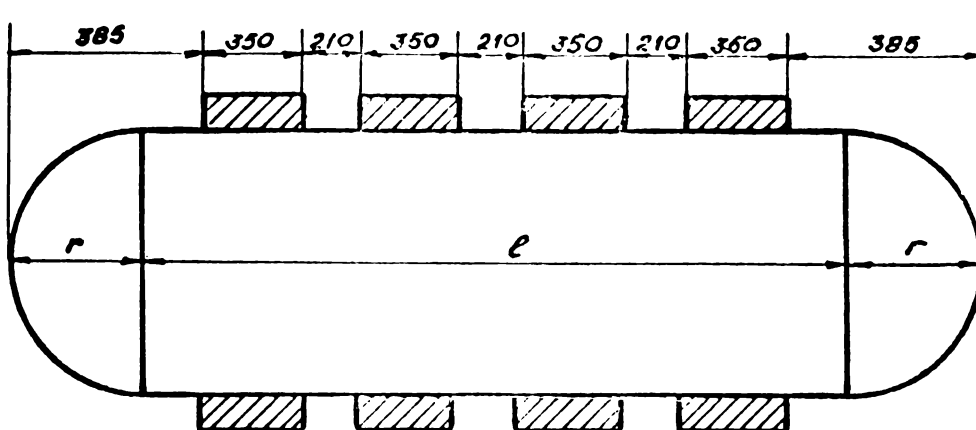
$$\text{Raportul dintre } \frac{\text{suprafața acoperită}}{\text{suprafața totală}} = \frac{3,5}{7,925} = 0,44$$

Diagrama temperaturii măsurate în electrodul fazei marginale (de lângă transformator) este prezentată în figura nr.46.

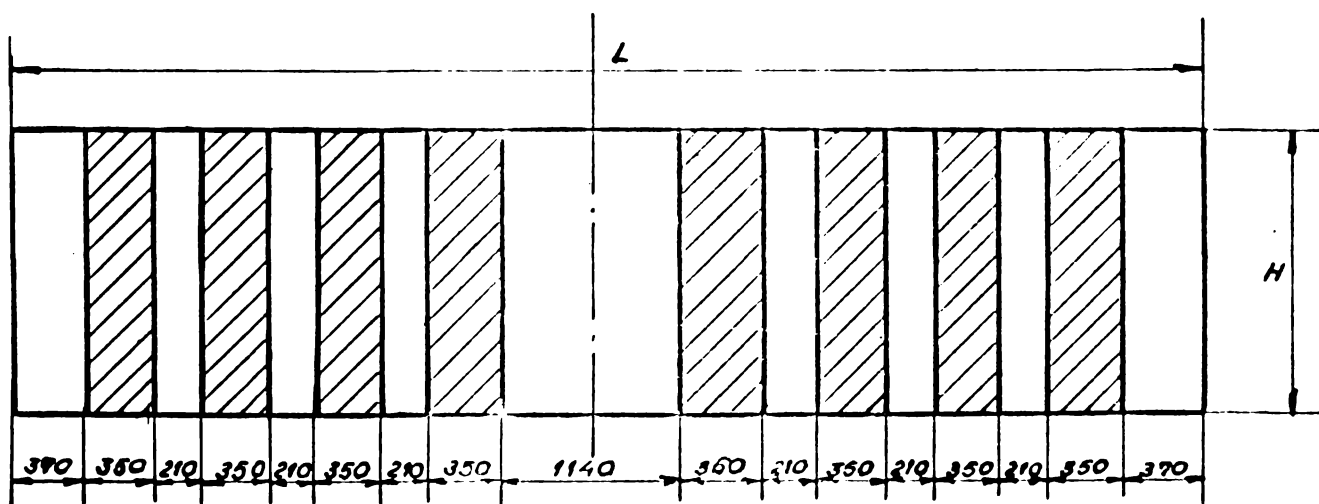
Variația în timp a acestei temperaturi este prezentată în diagramele figurii 47 și 48.

./.

a. Electrocul în secțiune orizontală se prezintă:



b. Suprafața desfășurată a burlanului corespunzător lungimii unui bac.



$H = 1250 \text{ mm}$, lungimea unui bac.

$L = 6340 \text{ mm}$

Suprafața acoperită de bacuri: $8 \times 1250 \times 350 = 3,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$

Secțiunea desfășurată: $6340 \times 1250 = 7925 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$

$$\frac{S_{\text{bac.}}}{S_{\text{desf.}}} = \frac{3,5}{7,925} = 0,44$$

$$S_{\text{liberă}} = 7,925 - 3,5 = 4,425 \text{ m}^2$$

FIG. 45. SUPRAFAȚA DESFĂȘURATĂ A BURLANULUI PENTRU ELECTRODUL UNUI CUPTOR DE 40 MVA DE TIP ACOPERIT.

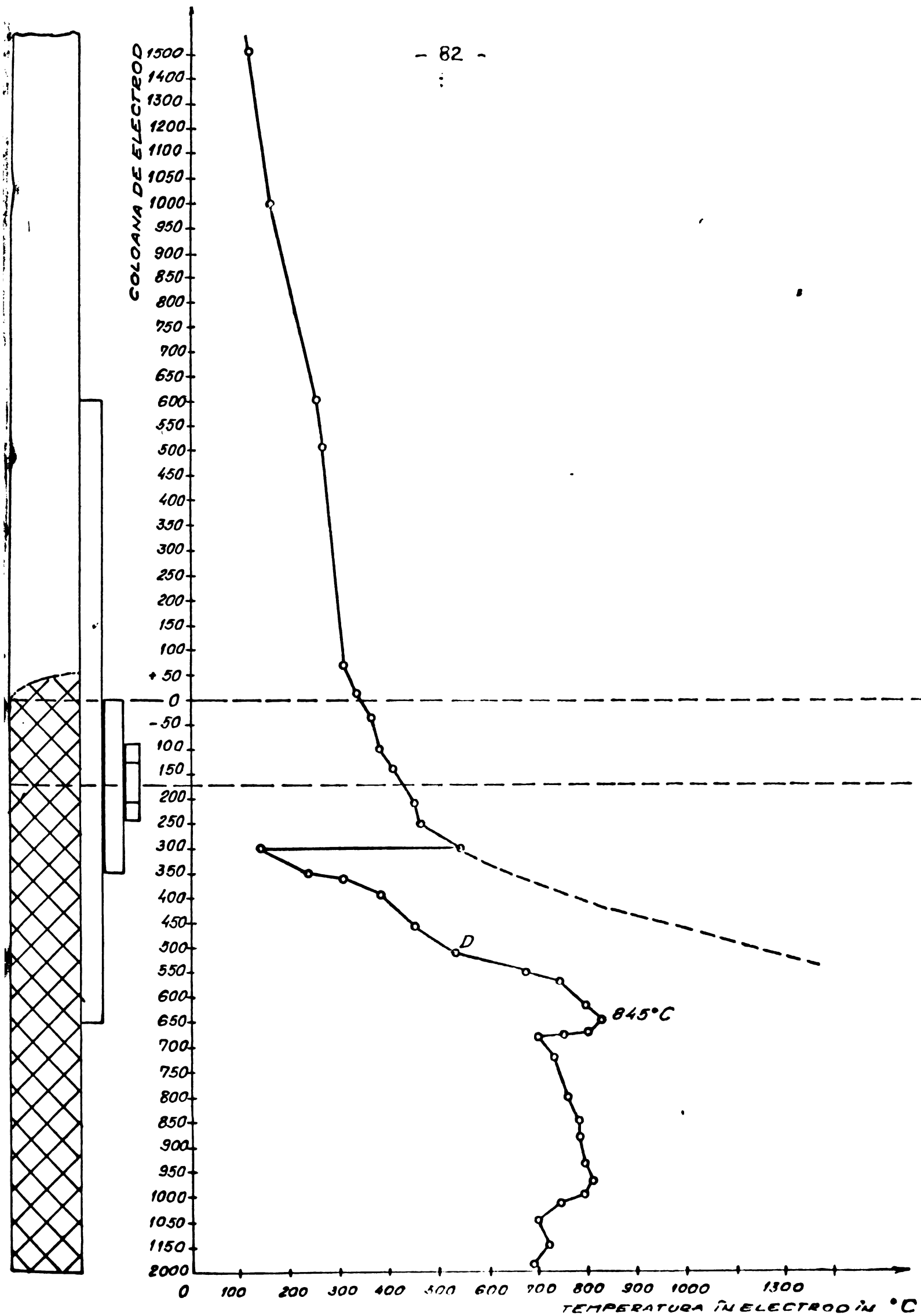
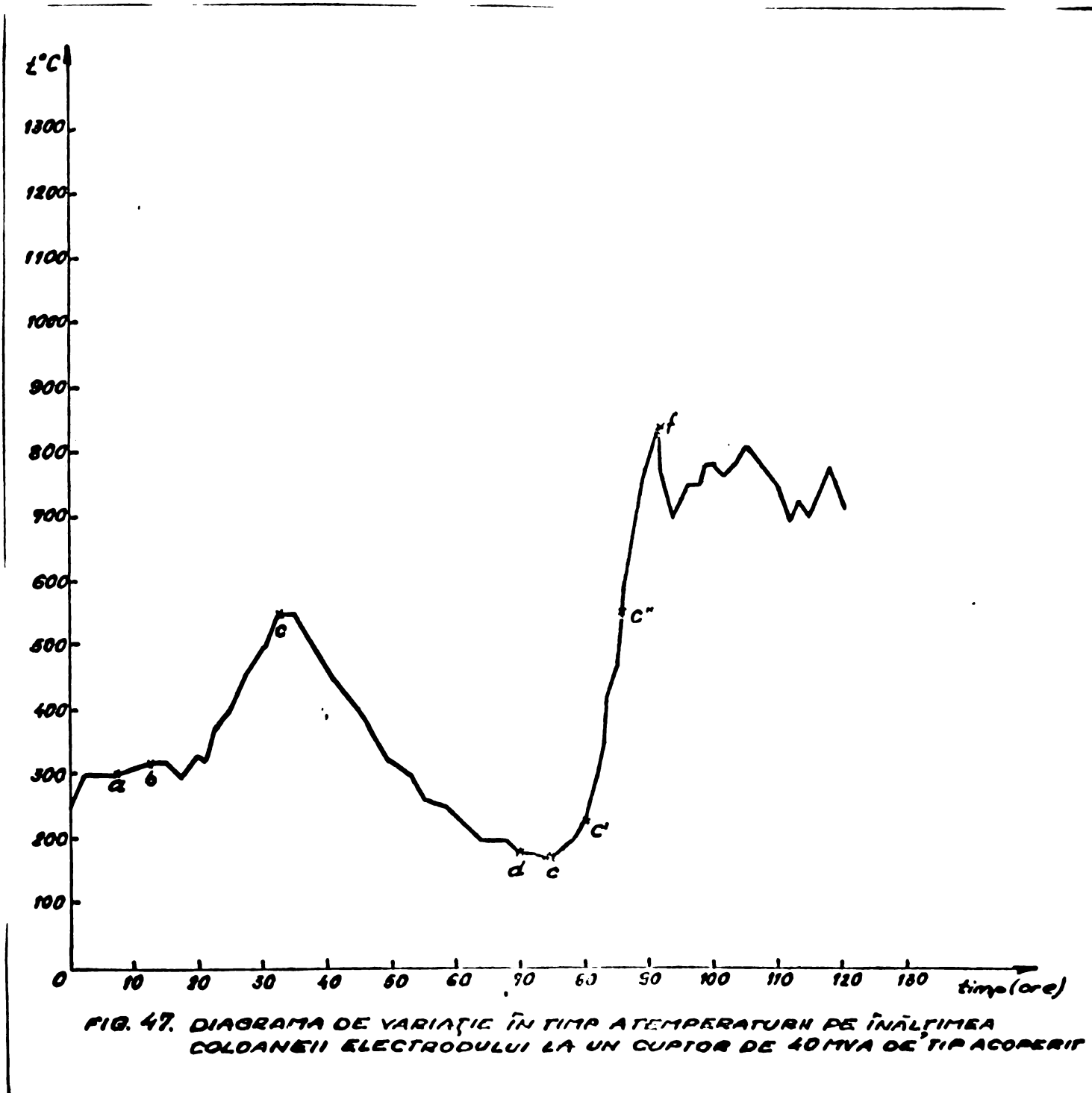
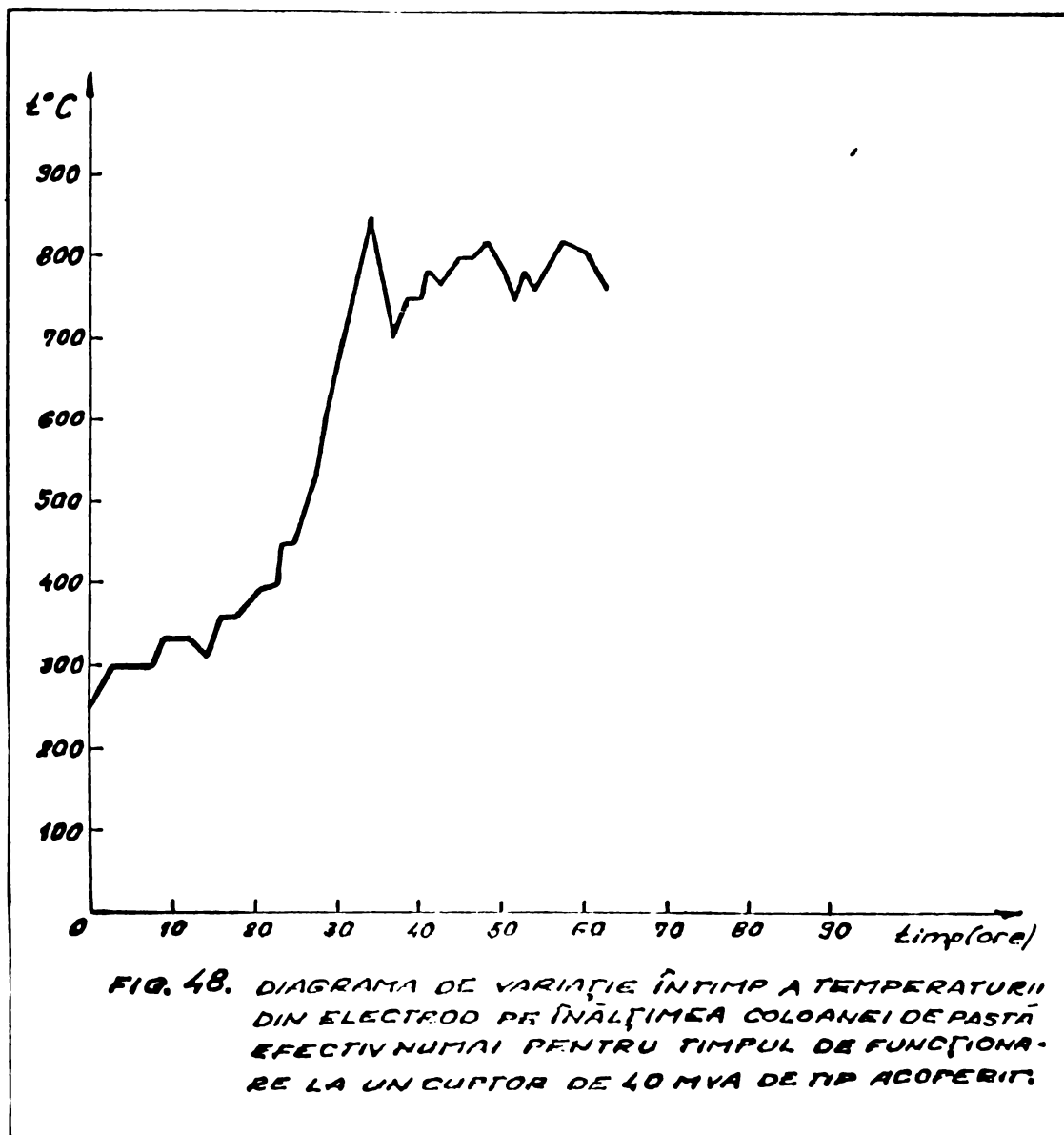


FIG. 46. VARIATIJA TEMPERATURII ÎN ELECTROD LA CUPTORUL DE 40 MVA, DE TIP ACOPERIT.





Așa cum rezultă din datele experimentale prezentate în tabelul nr.9 și diagrama figurii 46 s-a determinat temperatura în electrod prin măsurare cu un termocuplu, fixat la poziția + 500 mm de la partea superioară a inelului de strângere, care s-a deplasat odată cu electrodul. Temperatura la poz. + 500 mm a fost de 250 °C și la poziția inferioară de - 650 mm de la partea superioară a inelului de strângere a bacurilor de 845 °C când s-a străpuns izolația termocuplului. Deci coloana de electrod la care s-a determinat temperatura la un interval de timp de 60 minute a fost de 500 mm + 650 mm = 1.150 mm.

Tabelul nr.9

privind datele obținute prin măsurarea temperaturii în
electrod la cuptorul acoperit, de 40 MVA la un electrod
lateral.

DATA	ORA	Tempera- tura în electrod	Nivel față de punctul sup.al ine- lului de strângere + mm/m.	Poziția sondei față de brațul suportu- lui + mm.	OBSERVATII	
1	2	3	4	5	6	
13.10.1976	9,00	90	+ 1850	+ 1450		
	9,30	100	+ 1600	+ 1200		
	10,00	160	+ 1000	+ 600		
	10,20	240	+ 600	+ 200		
	10,45	260	+ 500	+ 100	s-a fixat sonda prin sudare pe șuvițele burlanului.	
	11,00	275	+ 480	+ 80		
	12,00	290	+ 440	+ 40		
	13,00	295	+ 400	+ 0		
	14,00	295	+ 380	- 20		
	15,00	295	+ 340	- 60		
	16,00	295	+ 300	- 100		
	17,00	295	+ 260	- 140		
	18,00	295	+ 240	- 160		
	19,00	295	+ 240	- 160		
	20,00	300	+ 240	- 160		
	21,00	300	+ 240	- 160		
	22,00	310	+ 240	- 160		
	23,00	320	+ 220	- 180		
	24,00	320	+ 180	- 200		
	14.10.1976	1,00	320	+ 160	- 240	
		2,00	320	+ 120	- 280	
		3,00	310	+ 100	- 300	
		4,00	310	+ 60	- 340	
		5,00	320	+ 10	- 390	
6,00		330	+ 10	- 390		
7,00		330	+ 10	- 390		
8,00		365	- 50	- 450		
9,00		380	- 100	- 500		
10,00		390	- 140	- 540		
11,00		400	- 160	- 560		
12,00		430	- 180	- 580		
13,00		460	- 220	- 620		
14,00		465	- 240	- 640		
15,00		580	- 240	- 640		
16,00		500	- 260	- 660		

./.

	1	2	3	4	5	6
	17,00	520	-	280	-	680
	18,00	540	-	300	-	700
	19,00	540	-	300	-	700
	20,00	540	-	300	-	700
	21,00	540	-	300	-	700
	22,00	520	-	300	-	700
	23,00	510	-	300	-	700
	24,00	490	-	300	-	700

15.10.1976	1,00	480	-	300	-	700
	2,00	470	-	300	-	700
	3,00	450	-	300	-	700
	4,00	440	-	300	-	700
	5,00	430	-	300	-	700
	6,00	410	-	300	-	700
	7,00	390	-	300	-	700
	8,00	380	-	300	-	700
	9,00	370	-	300	-	700
	10,00	355	-	300	-	700
	11,00	340	-	300	-	700
	12,00	325	-	300	-	700
	13,00	310	-	300	-	700
	14,00	300	-	300	-	700
	15,00	290	-	300	-	700
	16,00	278	-	300	-	700
	17,00	270	-	300	-	700
	18,00	260	-	300	-	700
	19,00	245	-	300	-	700
	20,00	235	-	300	-	700
	21,00	230	-	300	-	700
	22,00	230	-	300	-	700
	23,00	220	-	300	-	700
	24,00	220	-	300	-	700

16.10.1976	1,00	210	-	300	-	700
	2,00	200	-	300	-	700
	3,00	200	-	300	-	700
	4,00	200	-	300	-	700
	5,00	200	-	300	-	700
	6,00	200	-	300	-	700
	7,00	190	-	300	-	700
	8,00	180	-	300	-	700
	9,00	180	-	300	-	700
	10,00	180	-	300	-	700
	11,00	180	-	300	-	700
	12,00	180	-	300	-	700
	13,00	175	-	300	-	700
	14,00	180	-	300	-	700
	15,00	185	-	300	-	700

decuplat captorul la ora 18,00 pt. regenerarea uleiului la TRAFO 40 MVA

captorul oprit

captorul oprit

cuplat captorul la ora 12 puterea capt. 5 MW.
idem 8,5 MW
idem 12 MW

•".

1	2	3	4	5	6
	16,00	195	- 300	- 700	puterea cupt. 16 MW
	17,00	200	- 300	- 700	" 19 MW
	18,00	220	- 300	- 700	" 30 MW
	19,00	265	- 340	- 740	
	20,00	315	- 360	- 760	
	21,00	370	- 380	- 780	
	22,00	420	- 400	- 800	
	23,00	480	- 470	- 870	
	24,00	540	- 500	- 900	

17.10.1976	1,00	620	- 520	- 920	
	2,00	680	- 550	- 950	
	3,00	750	- 570	- 970	
	4,00	805	- 620	-1020	
	5,00	845	- 640	-1040	decuplat ora 5,45
	6,00	810	- 660	-1060	
	7,00	760	- 680	-1070	cuplat 7,55
	8,00	700	- 680	-1080	Se observă degajările de gaze din sonda după care datele sînt ne semnificative
	9,00	740	- 720	-1120	
	10,00	760	- 760	-1160	
	11,00	760	- 800	-1200	
	12,00	780	- 820	-1220	
	13,00	790	- 840	-1240	
	14,00	790	- 860	-1260	
	15,00	780	- 880	-1280	
	16,00	790	- 900	-1300	
	17,00	790	- 920	- 1320	
	18,00	795	- 940	-1340	
	19,00	810	- 980	-1380	
	20,00	800	-1000	-1400	
	21,00	790	-1020	-1420	
	22,00	780	-	-1460	
	23,00	750	-1030	-1430	
	24,00	740	-1040	-1430	

18.10.76	1,00	700	-1060	-1460	
	2,00	705	-1110	-1510	
	3,00	730	-1150	-1550	
	4,00	700	-1200	-1600	
	5,00	720	-1220	-1620	
	6,00	750	-1260	-1660	
	7,00	770	-1300	-1700	
	8,00	760	-1320	-1720	
	9,00	720	-1360	-1760	

In scopul stabilirii variației temperaturii unui punct fix din electrod în procesul de răcire a acestuia fără sarcina electrică și în perioada de retemperare cu sarcina electrică în creștere, cuptorul a fost scos de sub sarcină în

două etape, de 4 ore, (intervalul a - b fig.47 și respectiv 42 ore (intervalul c - d fig.47) după care cuptorul a revenit la încărcare electrică normală.

Exceptând opririle la care se adaugă și intervalul de timp (d - e) din diagrama de 6 ore, când cuptorul a fost în programul de urcare a sarcinii după oprirea de 42 ore prelungirea electrodului respectiv modificarea poziției, de măsurare a temperaturii față de echipamentul fix al electrodului, s-a făcut în medie cu 30 mm/60 minute. Principalii parametri de funcționare ai cuptorului au fost menținuți relativ constanți.

Eliminând din diagrama fig.47 intervale ce corespund opririi cuptorului, rezultă diagrama pentru timpul efectiv de funcționare care este prezentată în fig.48, gradientul de temperatură a fost de 13,2 °C/oră.

Diagrama fig.47 pentru intervalul (c - d) când electrodul nu s-a găsit sub sarcina electrică (diagrama transpusă în fig.49) analizată, oferă date privind viteza de coborîre a temperaturii în electrod, punctul de măsurare -300 mm sub partea superioară ainelului de strîngere constituind un nivel critic de coacere a electrodului. Funcție de gradientul de temperatură, rezultat din diagrama fig.47 intervalul e-f cît și din cel rezultat și din diagrama fig. 49, se stabilește timpul de revenire la sarcina normală de lucru a cuptorului după opriri, respectiv de retemperarea electrodului.

Gradientul mediu de temperatură rezultat din diagramă fig. 49 raportat la 42 ore oprire este de

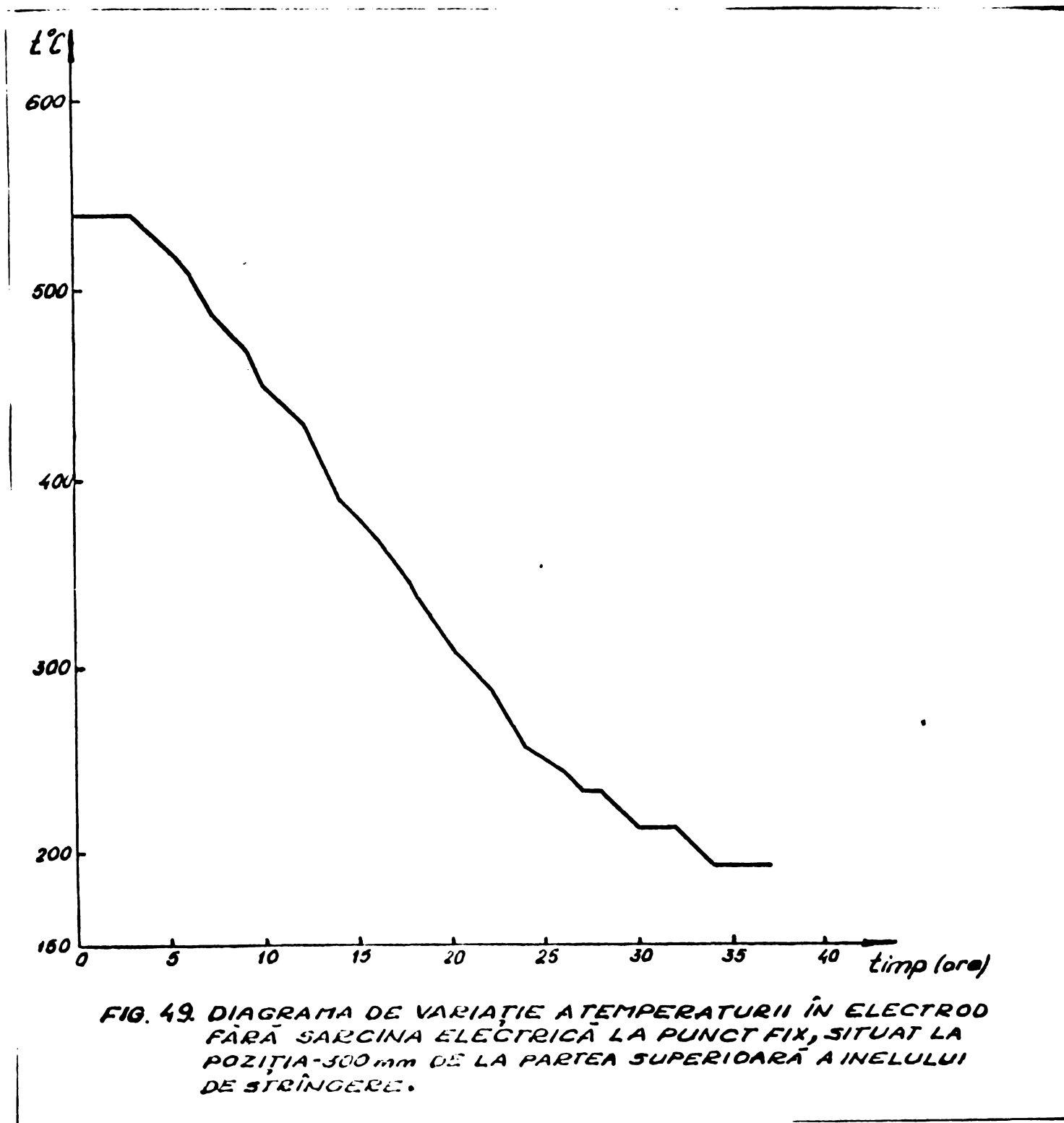
$$\frac{540 - 180}{42} = 8,57 \text{ } ^\circ\text{/oră}$$

In intervalul de 42 ore acest gradient variază astfel ;

- prime 3 ore - temp.constantă gradient egal cu 0
- următoarele 2 ore - temp.scade " egal cu 25°/oră
- " 2 ore - " " egal cu 10°/oră
- " 16 ore - " " egal cu 5°/oră

./.

Din această diagramă rezultă că la opriri de pînă la 3 ore retemperarea electrozilor nu este factorul determinant al timpului de readucere a cuptorului la puterea nominală de lucru.

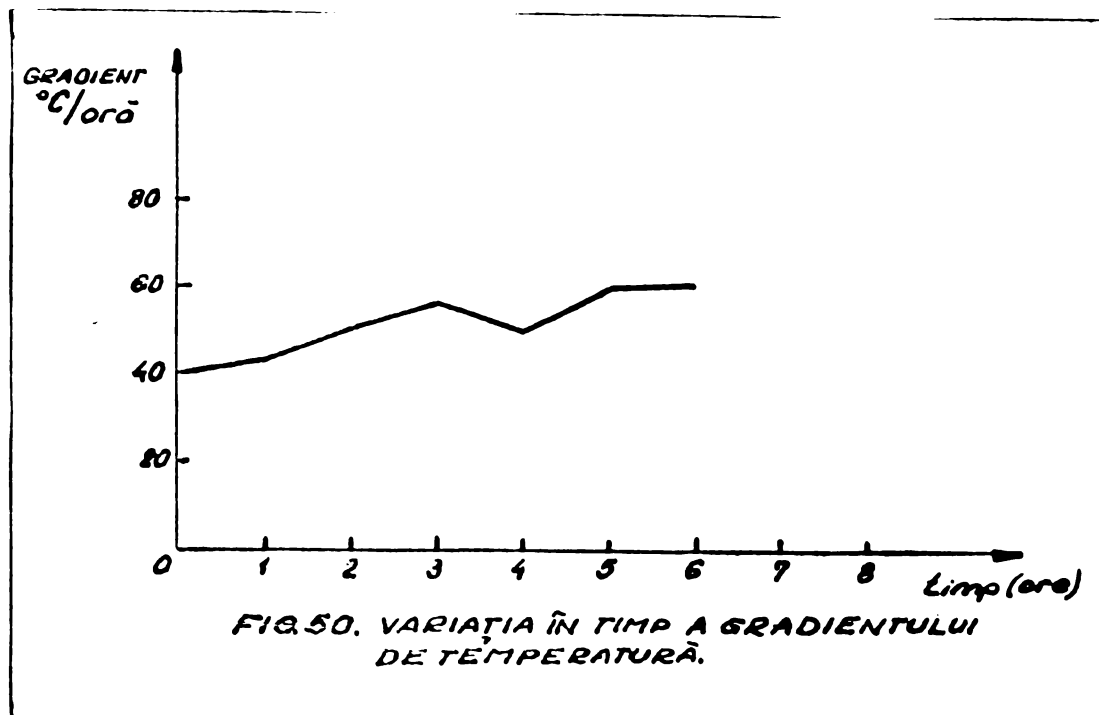


Gradientul mediu de temperatură conform diagramei fig.47 intervalul e - f rezultă ;

- pentru 6 ore timp în care cuptorul s-a ridicat la sarcina normală de lucru (e - e')

$$\frac{220 - 180}{6} = 6,6 \text{ } ^\circ\text{C/oră}$$

- pentru următoarele 6 ore când temperatura ajunge la valoarea la care s-a întrerupt procesul (e'-e'') gradientul este de $\frac{540 - 220}{6} = 53$ °/c oră cu o variație aproximativ liniară (fig. 50) întrucât în acest interval punctul de măsurare a coborât prin prelungirea electrozilor cu 220 mm.



Prin interpretarea datelor din diagrama fig.47 intervalele e-e'-e''-f se stabilește regimul de prelungiri a electrozilor după opriri mai mari de 5 - 6 ore.

b) Determinarea experimentală a temperaturii în electrod la un cuptor de 40 MVA de tip semideschis.

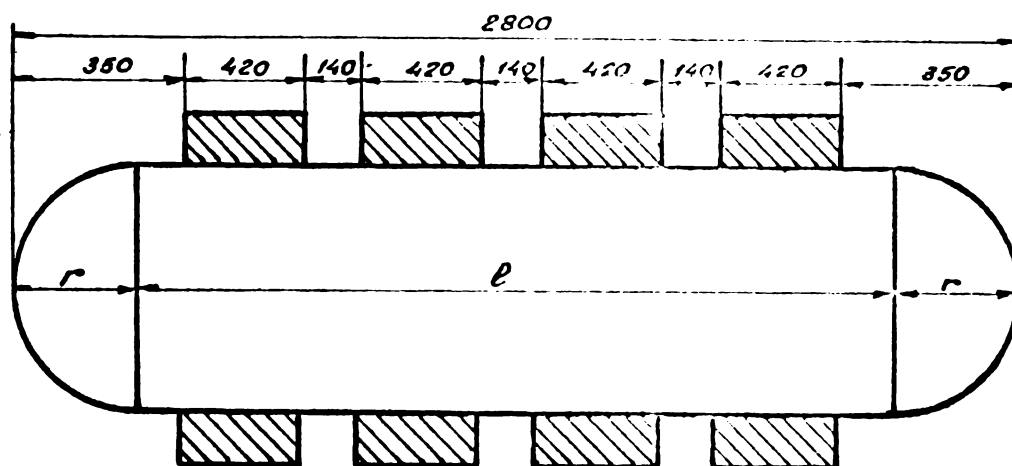
Cu un termocuplu Pt-Rd-Pt de lungime 1,5 m și cablu de compensație de 11,5 montat în același fel ca și cel de Cr-Al, cuplat la un aparat indicator cu scala de indicare maximă la 1600 °C, s-a făcut o nouă serie de măsurători la un cuptor semideschis la electroful fazei de mijloc în scopul:

- ridicării diagramei la temperatură pînă la 1600 °C.
- obținerii de informații privind regimul termic al electrozilor cuptorului semideschis, comparativ cu al cuptorului acoperit
- stabilirea influenței dimensiunii bacurilor de contact asupra regimului termic al electrozilor.

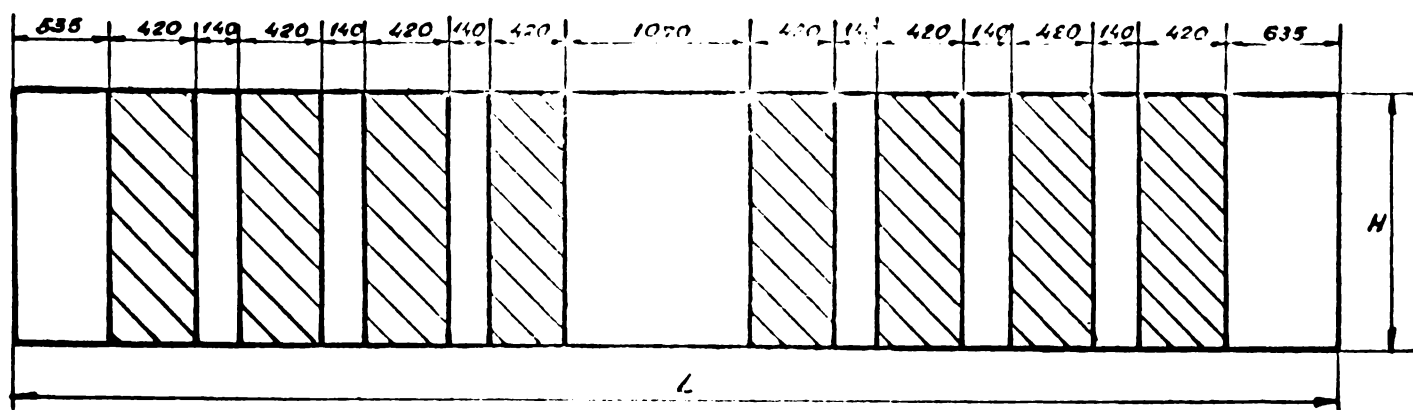
La cuptorul semideschis, distanța dintre bacurile de contact a fost de 140 mm iar suprafața liberă desfășurată neacoperită cu bacuri a electrodului pe înălțimea corespunzătoare înălțimii unui bac a fost de 47 % din suprafața totală (fig.51)

FIG. 51. SUPRAFAȚA DESFĂȘURATĂ A BURLANULUI PENTRU ELECTRODUL UNUI CURTOR DE 40MVA TIP SEMIDESCHIS.

a. Electrocul în secțiune orizontală se prezintă :



b. Suprafața desfășurată a burlanului corespunzător lungimii unui bac.



$H = 1950 \text{ mm}$ lungimea unui bac.

$$L = 2l + 2 \frac{2\pi r}{2} = 2 \cdot 2150 + 2\pi \cdot 325 = 6341 \text{ mm}$$

$$S_{\text{desf.}} = 6341 \cdot 1950 = 12,364 \cdot 10^6 \text{ mm}^2 = 12,364 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{bacuri}} = 8 \cdot 1950 \cdot 420 = 6,552 \cdot 10^6 \text{ mm}^2 = 6,552 \text{ m}^2$$

$$\frac{S_{\text{bac.}}}{S_{\text{desf.}}} = \frac{6,552}{12,364} = 0,52$$

$$S_{\text{liberă}} = 12,364 - 6,552 = 5,812 \text{ m}^2$$

Raportul dintre suprafața acoperită și cea totală este ;

$$\frac{S_a}{S_t} = \frac{6,552}{12,364} = 0,52$$

Diagrama temperaturii măsurate în electrod este prezentată în figura 52. Variația în timp a acestei temperaturi este prezentată în diagrama fig.53 și tabelul 10 iar cu eliminarea opririlor în figura 54.

Tabel nr.10

privind datele obținute privind măsurarea temperaturii în electrod la un cuptor semideschis de 40 MVA faza mijlocie.

Data	Ora	Temperatura în electrod	Poziția sondei față de suport cm.	Poziția termocuplului cm.	Observații	
1	2	3	4	5	6	
24.11.76	8,00	80	+ 67	+ 200		
	8,20	130	+ 40	+ 173		
	8,45	170	+ 10	+ 143		
	9,00	200	0	+ 133		
	9,20	210	- 30	+ 103		
	9,45	240	- 40	+ 93		
	10,00	310	- 60	+ 73		
	10,30	420	- 80	+ 53	fixat sonda prin sudare pe șuvițele burtaului	
	11,00	450	- 82	+ 51		
	12,00	470	- 84	+ 49		
	13,00	480	- 88	+ 45		
	14,00	490	- 90	+ 43		
	15,00	490	- 92	+ 41		
	16,00	490	- 96	+ 39		
	17,00	490	- 98	+ 35		
	18,00	480	- 100	+ 33		
	19,00	460	- 102	+ 31		
	20,00	460	- 106	+ 27		
	21,00	450	- 108	+ 25		
	22,00	450	- 112	+ 21		
	23,00	470	- 116	+ 17		
	25.11.76	24,00	470	- 118	+ 15	
		1,00	480	- 120	+ 13	
2,00		490	- 122	+ 11		
3,00		495	- 124	+ 9		
4,00		495	- 126	+ 7		
5,00		520	- 128	+ 5		
6,00		530	- 130	+ 3		
7,00		500	- 132	+ 1		

./.

1	2	3	4	5	6
	8,00	550	- 134	-	1
	9,00	590	- 136	-	3
	10,00	610	- 140	-	7
	11,00	620	- 142	-	9
	12,00	660	- 144	-	11
	13,00	710	- 148	-	15
	14,00	750	- 150	-	17
	15,00	770	- 152	-	9
	16,00	810	- 154	-	21
	17,00	830	- 156	-	23
	18,00	860	- 156	-	23
					oprit ore vîrf ora 18
	19,00	850	- 156	-	23
	20,00	830	- 156	-	23
	21,00	830	- 156	-	23
	22,00	820	- 160	-	27
	23,00	870	- 164	-	31
	24,00	880	- 166	-	33
					cuplat ora 22,00
26.11.76	1,00	980	- 168	-	35
	2,00	1030	- 172	-	39
	3,00	1070	- 174	-	41
	4,00	1100	- 178	-	45
	5,00	1160	- 180	-	47
	6,00	1200	- 182	-	49
	7,00	1230	- 186	-	53
	8,00	1240	- 190	-	57
	9,00	1240	- 192	-	59
	10,00	1280	- 196	-	63
	11,00	1340	- 198	-	65
	12,00	1400	- 204	-	71
	13,00	1480	- 206	-	73
	14,00	1520	- 210	-	77
	15,00	1450	- 212	-	79
					temperat.maximă se presupune deteriorarea termocuplului
	16,00	1360	- 214	-	81
	17,00	1600	- 216	-	83

Măsurarea temperaturii, a început a se face la punctul de solidificare a pasteii (400 °C) la + 530 mm de la partea superioară a inelului de strîngere a bacurilor. Temperatura maximă indicată de aparat a fost de 1520 ° la poziția - 770 mm de la partea superioară a inelului de strîngere a bacurilor de contact. Deci temperatura a crescut în 51 ore de la 400 °C la 1520 °C în medie cu ;

$$\frac{1520 - 400}{51} = 21,9 \text{ } ^\circ\text{C pe oră}$$

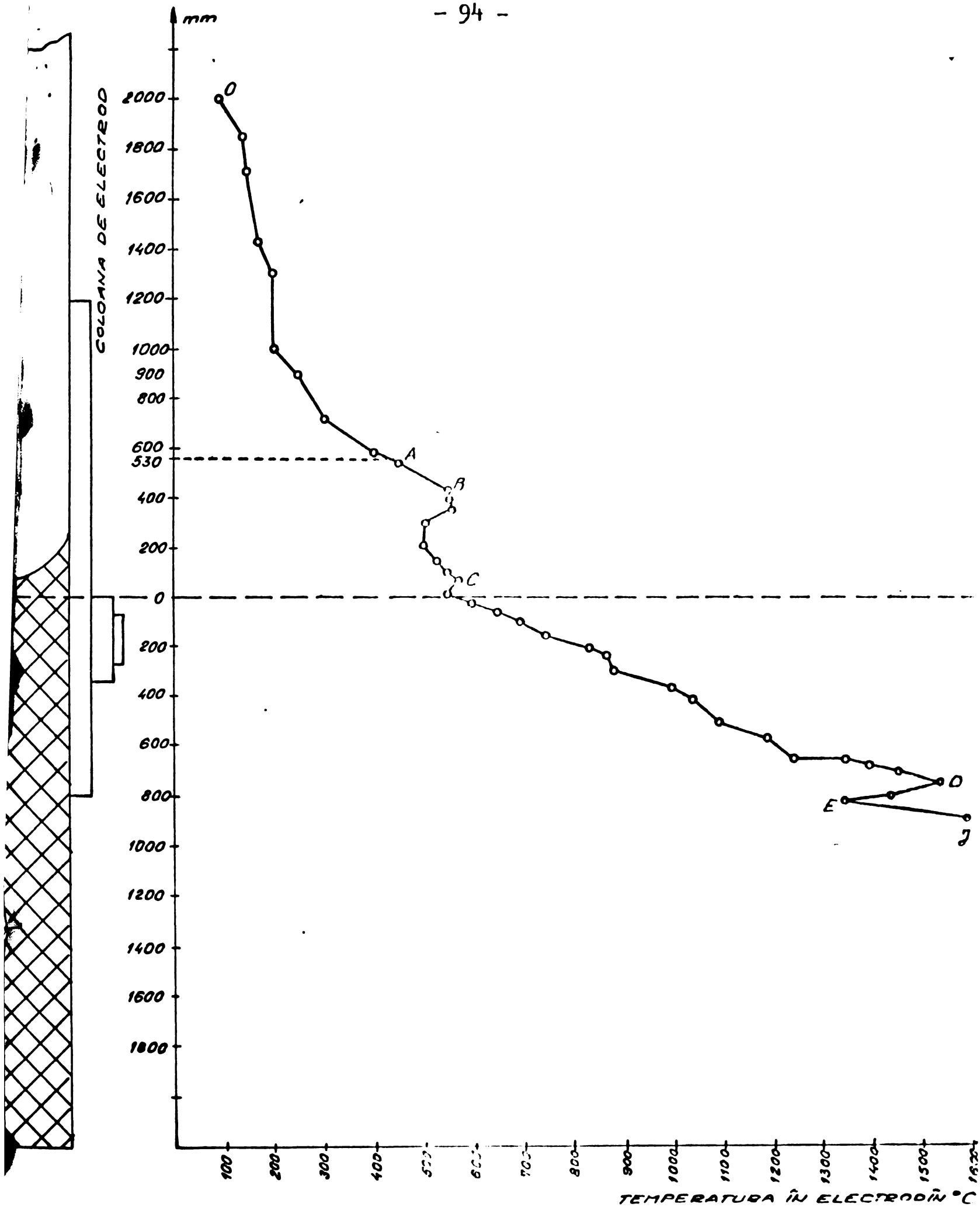


FIG. 52. VARIAȚIA TEMPERATURII ÎN ELECTROD LA CUPTORUL DE TIP SEMIDESCHIS.

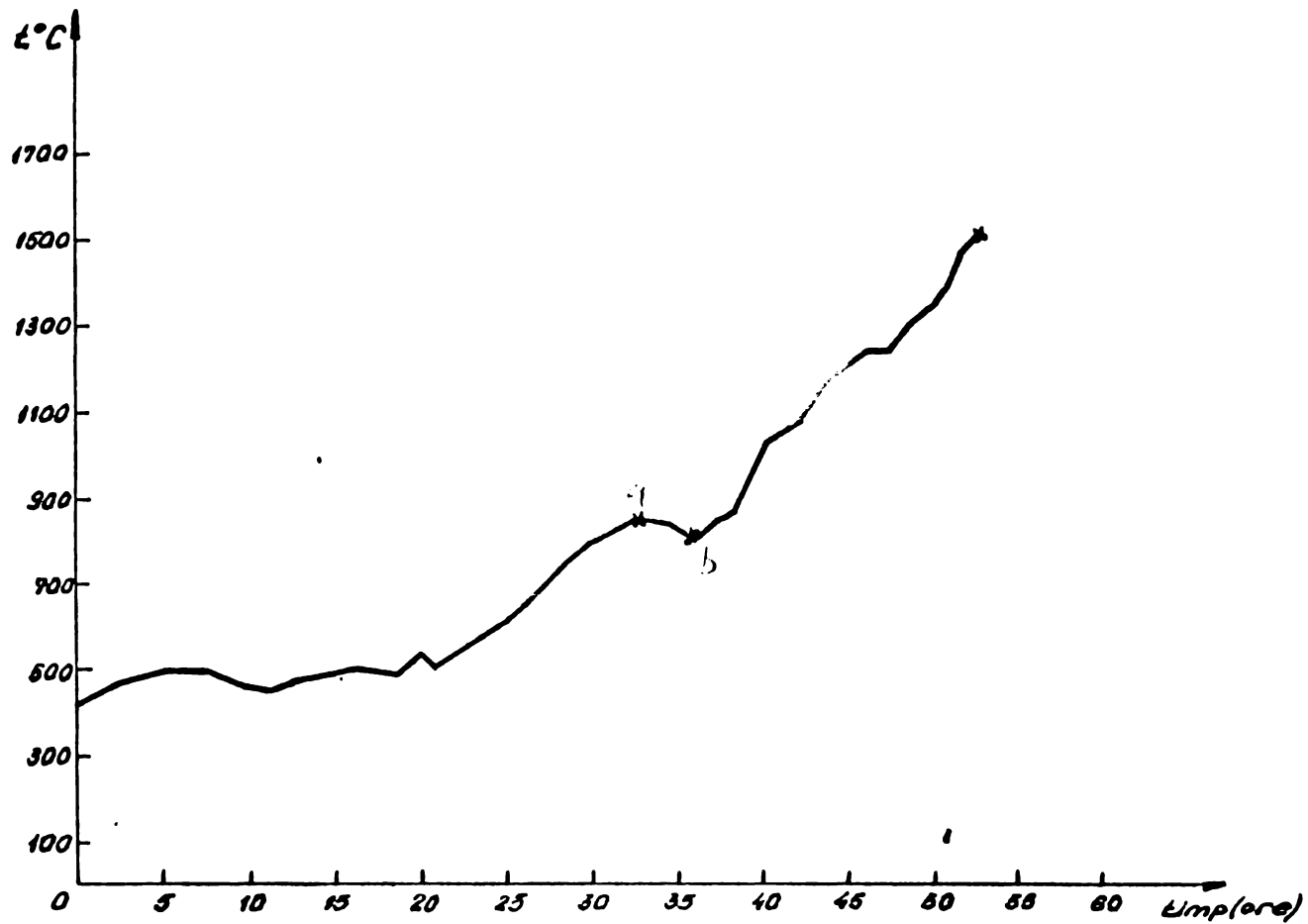


FIG. 53. DIAGRAMA DE VARIATIE ÎN TIMP A TEMPERATURII PE ÎNĂLȚIMEA COLOANEI ELECTRODULUI LA UN CUPTOR DE 40 MVA SEMIDESCHIS.

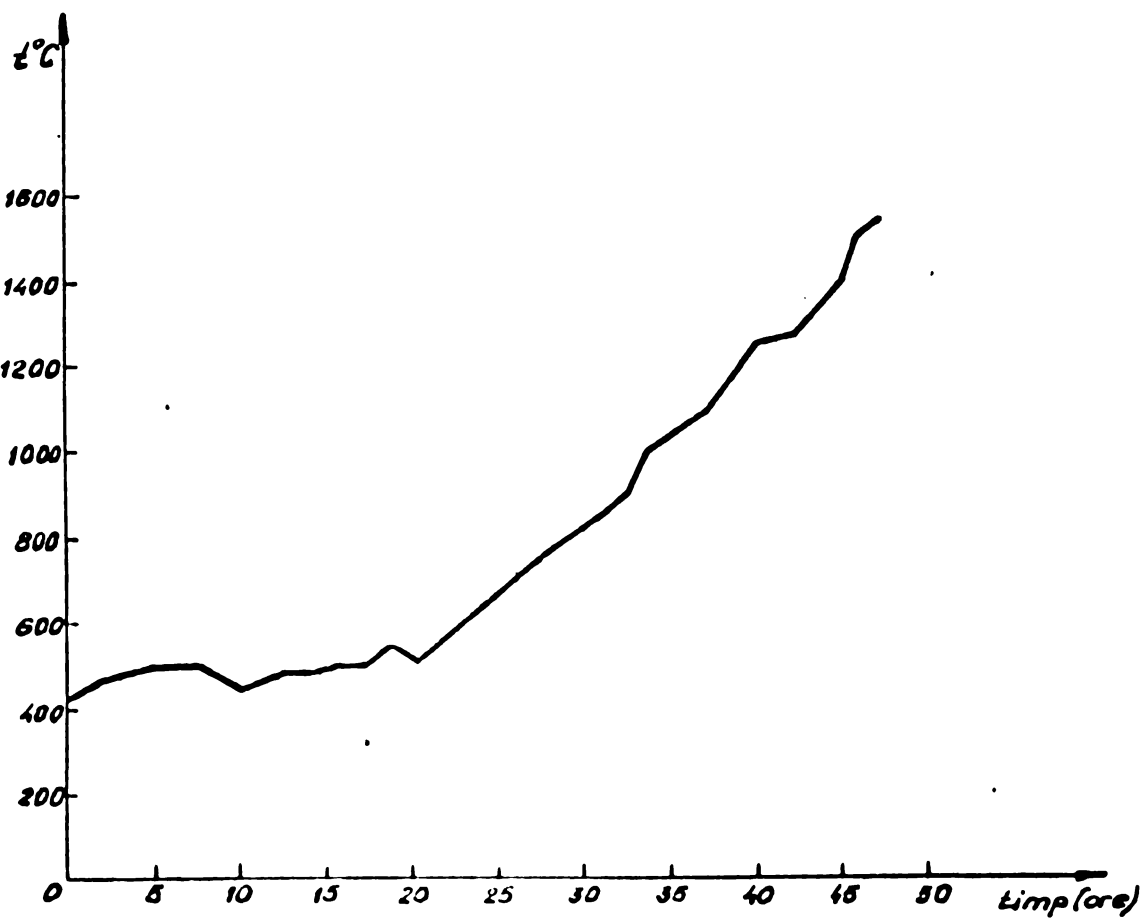


FIG. 54. DIAGRAMA DE VARIATIE ÎN TIMP A TEMPERATURII ÎN ELECTROD PE ÎNĂLȚIMEA COLOANEI DE PASTĂ EFECTIV NUMAI PENTRU TIMPUL DE FUNCȚIONARE LA UN CUPTOR DE 40 MVA SEMIDESCHIS.

Eliminând opririle de cuptor (intervalul a-b fig. 53) prelungirea electrodului a fost în medie de :

$$\frac{1300 \text{ mm}}{47 \text{ ore}} = 27 \text{ mm/oră} = 2,7 \text{ cm/oră}$$

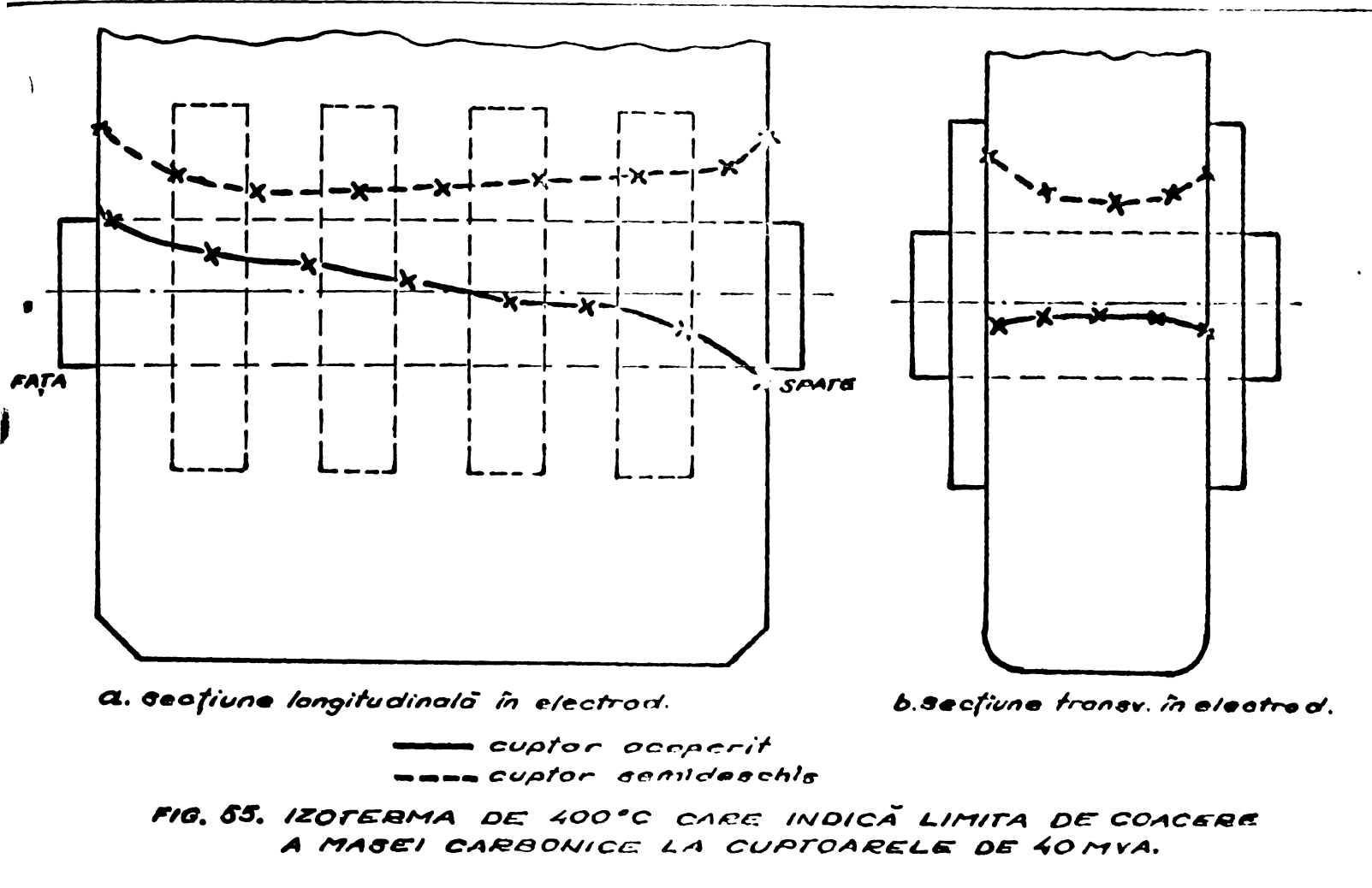
Analizînd datele din diagrama fig.52 rezultă menținerea temperaturii relativ constante în jur de 500 °C în intervalul A-B-C, pînă la partea superioară a inelului de strîngere a bacurilor, după care temperatura crește cu un gradient constant de 40 °C/oră, pînă la partea inferioară a bacurilor, unde după o inflexiune a curbei (posibil eroare de măsurare) temperatura crește brusc, peste limitele de măsurare ale aparatului.

Rezultă deci, o creștere a temperaturii cu un gradient constant și peste 800 °C. Regimul termic al electrodului cuptorului deschis este mai accentuat datorită cantității în plus de gaze care ard la suprafața șarjei. Analizînd comparativ diagramele de măsurare a temperaturii electrodului cuptorului acoperit, cu cel al cuptorului semideschis, în zona inferioară inelului de strîngere, se constată în ambele cazuri creșterea bruscă a temperaturii la ieșirea electrodului de sub bacuri, ceea ce conduce la concluzia că aportul conductibilității termice a electrodului de la capătul imersat spre bacurile de contact este determinat în procesul de temperare a electrodului.

În figura 55 sînt prezentate izotermele la 400 °C, stabilite experimental, pentru cuptorul acoperit și cel semideschis, pe secțiune longitudinală și secțiunea transversală pe direcția axelor secțiunilor.

Din datele experimentale, rezultă o diferență a nivelelor de coacere respectiv a izotermei de 400 °C la cele două tipuri de cuptoare, respectiv valori mai scăzute la cuptorul acoperit la care arde la suprafața șarjei o cantitate mai mică de gaze. La ambele tipuri de cuptoare jumătatea din față a electrozilor se temperează mai accentuat datorită incandescenței mai mari a zonei de descărcare a topiturii.

./.

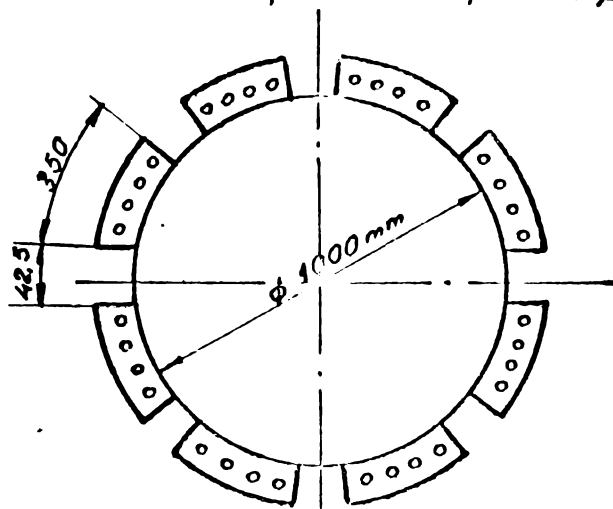


Izotermele în secțiune transversală (fig.55a) prezintă forme diferite la cele două tipuri de cuptoare. La cuptorul acoperit, central electrodului este mai temperat decât extremitățile, iar la cuptorul semideschis fenomenul este invers.

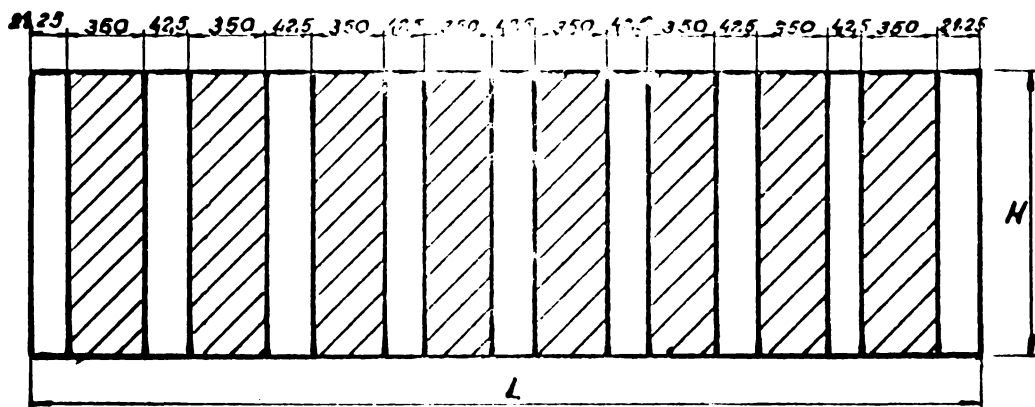
c) Determinarea experimentală a temperaturii în electrod, la un cuptor de 12 MVA, de tip deschis cu electrozi rotunzi.

S-a ridicat diagrama temperaturii în electrod la un cuptor de tip deschis cu cuvă rotundă. Electrozii de arc au fost de tip Söderberg, în secțiune circulară cu \varnothing 1000 mm echipați cu bacuri din țeavă de cupru. Dimensiunea unui bac care are patru țevi din cupru montate într-un suport este de 1200 x 350 x 60 mm. Distanța dintre bacuri a fost de 42,5 mm iar suprafața liberă desfășurată neacoperită cu bacuri a electrodului pe înălțimea corespunzătoare unui bac este de 0,4 mp sau 10,6 % din suprafața totală (figura 56).

a. Electrocul în secțiune orizontală se prezintă astfel:



b. Suprafața desfășurată a burlanului coresp. lungimii unui bac.



$H = 1200$ mm lungimea bacului

$L = \pi D = 3141$ mm.

Suprafața acoperită cu bacuri: $S = 1,2 \times 0,35 = 3,36$ m²

Suprafața desfășurată: $S = 1,2 \times 3,14 = 3,76$ m²

Suprafața liberă: $S = 3,76 - 3,36 = 0,4$ m²

$$\frac{S_{\text{liberă}}}{S_{\text{desf.}}} = \frac{0,4}{3,76} = 0,106$$

FIG. 56. SUPRAFAȚA DESFĂȘURATĂ A BURLANULUI PENTRU ELECTRODUL UNUI CUPTOR DE 12 MVA, DE TIP DESCHIS.

Diagrama temperaturii măsurate în electrod este prezentată în figura nr.57.

Variația în timp a acestei temperaturi este prezentată în diagrama figurii 58.

Așa cum rezultă din datele experimentale prezentate în figura 57 și 58 s-a determinat temperatura în electrod la o coloană de 2200 mm cuprinsă între + 2000 mm

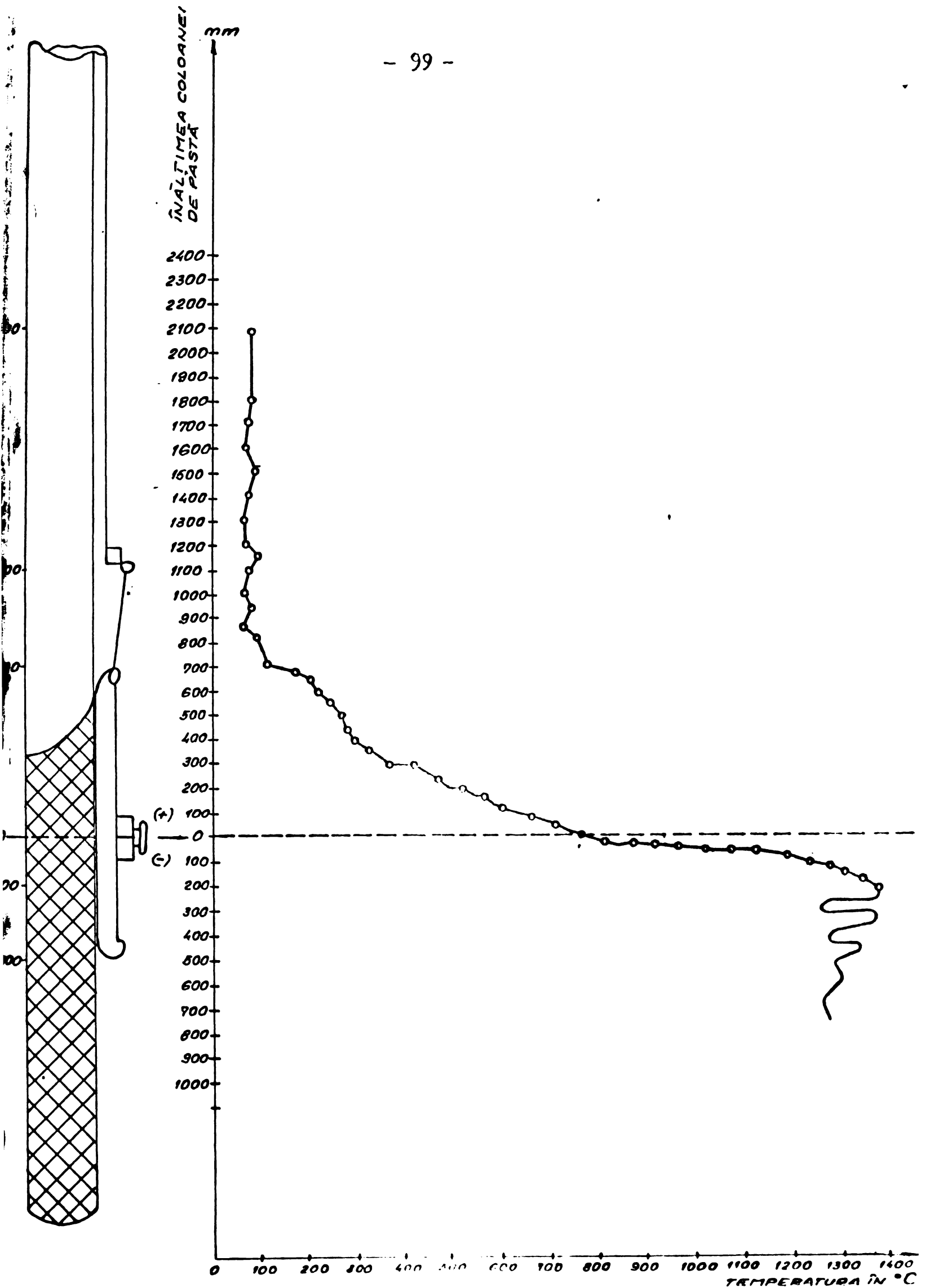


FIG. 57. VARIATIJA TEMPERATURII ÎN ELECTROD LA CUPR. DE 12,5 MVA DE TIP DESCHIS CU ELECTROZI ROTUNZI.

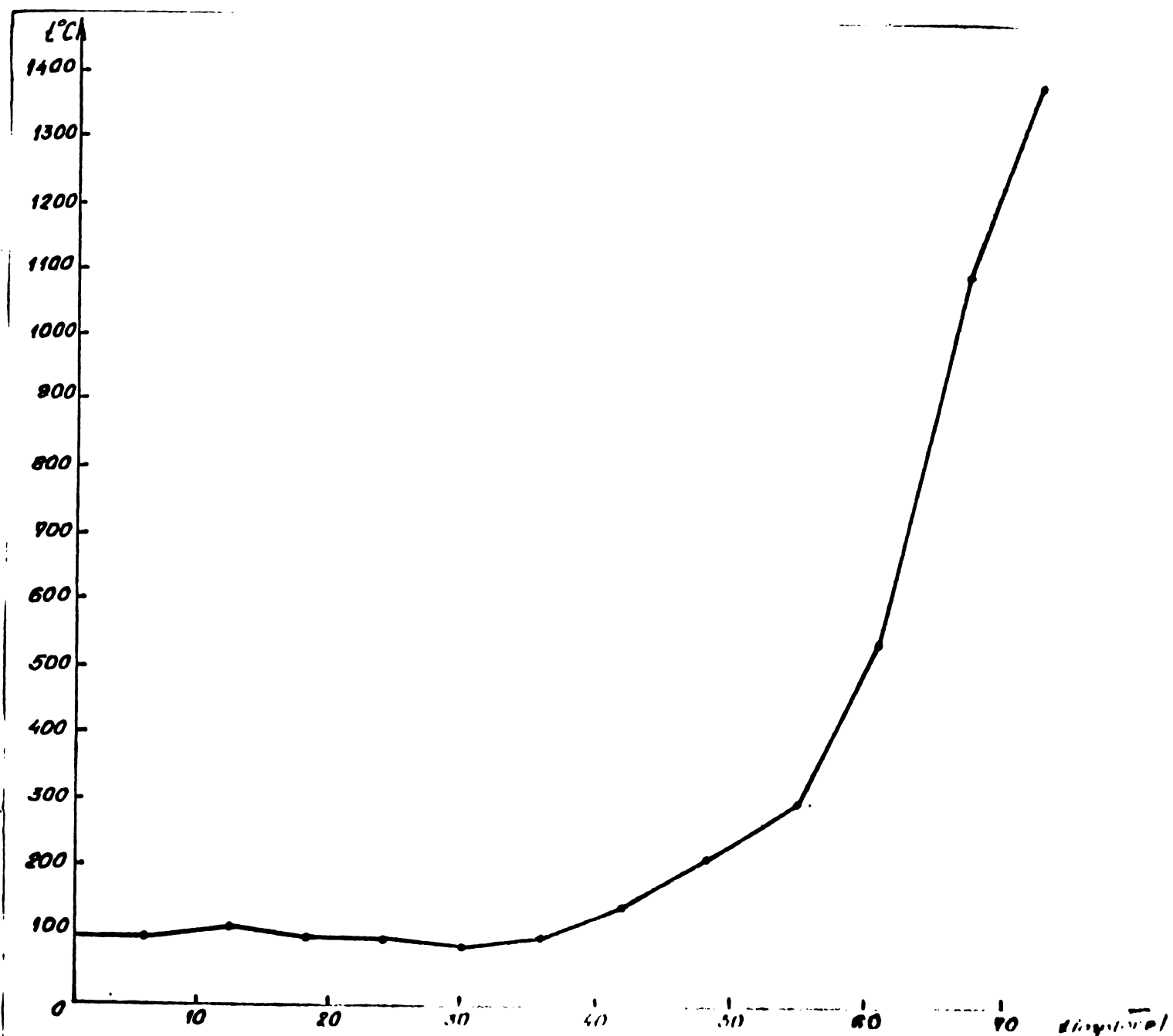


FIG. 58. DIAGRAMA DE VARIAȚIE ÎN TIMP A TEMPERATURII ÎN ELECTROD PE ÎNĂLȚIMEA COLOANEI DE PASTĂ PENTRU CUPTOR DE 40 MVA.

peste axa inelului de strângere și - 200 mm sub aceasta. Coloana de electrod poate parca superioră a bacurilor de contact la care s-a determinat variația în timp a temperaturii a fost de 1300 mm.

Timpu total de măsurare a temperaturii a fost de 71,5 ore respectiv, s-a realizat un gradient de $\frac{1400^{\circ} - 100^{\circ}}{71,5} = 18,18^{\circ}\text{C}$, pentru întreaga coloană și de $\frac{1400 - 1200}{29,5} = 42^{\circ}\text{C}$, pentru electrod din zona bacului de contact.

./.

În toată perioada de experimentare, cuptorul nu a fost oprit. Consumul de electrod în perioada de experimentare a fost de : $\frac{2200 \text{ mm}}{71,5} = 30,7 \text{ mm/oră}$.

În urma experimentărilor efectuate pentru cuptorul deschis se constată un gradient al temperaturii pentru coloana de electrod din zona bacurilor de contact mai ridicat, decît la cuptoarele de 40 MVA acoperite și semideschise.

Ridicarea diagramelor de temperatură a coloanelor electrozilor celor trei tipuri de cuptoare stabilite, cît și determinările legate de stabilirea caracteristicilor masei carbonice, la diferite temperaturi conduc la următoarele concluzii :

- asigurarea căldurii necesare temperării electrodului se face deci la cuptorul acoperit cu o pondere mai ridicată prin transmiterea căldurii prin electrod, de la capătul imersat în topitură, spre bacurile de contact, iar la cuptorul semideschis, ponderea asigurării căldurii, se face de la gazele de ardere ce înconjoară electrodul.

- necesitatea stabilirii cu exactitate a zonei de început a temperaturii în electrod la min. 400 °C, zona care nu trebuie să coboare sub axul inelului de strîngere a bacurilor de contact.

- întreaga sarcină electrică este preluată de către electrod, de la bacurile de contact, numai prin jumătatea de jos a acestora (cca 32 % din suprafața totală a bacului) fapt ce conduce la posibilitatea diminuării lungimii bacurilor de contact, în special la cuptoarele acoperite.

- interpretarea diagramelor de temperatură și a izotermelor din electrod, conduc la necesitățile stabilirii de măsuri diferențiate de formare a electrozilor la cuptoarele acoperite, față de cele semideschise și respectiv deschise.

Din analiza datelor prezentate în diagrama figurii nr.49 diagrama de variație a temperaturii în electrod fără sarcina la un punct fix, rezultă posibilitatea diminuării timpului de încărcare, electrică a cuptoarelor după oprire.

Programele noi adoptate, comparativ cu cele utilizate premergător studiului, sînt prezentate în fișele tabel nr.11 și nr. 12. La opriri pînă la 6 ore, considerate cele mai frecvente, s-a propus o diminuare a timpului la cuptoarele de 12 MVA cu 55 %, iar la cuptoarele de 40 MVA cu 37 %. Menționez că programele de revenire existente (inițiale) au fost stabilite numai pe baza experienței acumulate în funcționarea cuptoarelor de carbid.

Tabelul nr.11

privind regimul de încărcare electrică a cuptoarelor de 40 MVA de tip acoperit și semideschis.

Nr. crt.	Durata opririi în ore	Timp de revenire la normal		Obs.
		Existent	Propus	
1.	0 - 1	15 minute	10 minute	
2.	1 - 2	25 minute	15 minute	
3.	2 - 3	35 minute	20 minute	
4.	3 - 4	45 minute	25 minute	
5.	4 - 5	50 minute	35 minute	
6.	5 - 6	60 minute	40 minute	
7.	6 - 7	1,30 ore	60 minute	
8.	7 - 9	2,00 ore	1,45 ore	
9.	9 - 12	3,00 ore	2,00 ore	
10.	12 - 16	4,00 ore	3,00 ore	
11.	16 - 22	5,00 ore	4,00 ore	
12.	22 - 30	6,00 ore	5,00 ore	
13.	30 - 40	8,00 ore	5,00 ore	
14.	40 - 50	10,00 ore	6,30 ore	
15.	50 - 60	12,00 ore	8,00 ore	
16.	60 - 72	14,00 ore	10,00 ore	
17.	72 - 96	16,00 ore	11,00 ore	
18.	96 - 120	20,00 ore	12,00 ore	
19.	120 - 144	25,00 ore	14,00 ore	
20.	144 - 168	30,00 ore	15,00 ore	
21.	158 - 192	35,00 ore	20,00 ore	
22.	192 - 240	40,00 ore	24,00 ore	
23.	240 - 312	50,00 ore	26,00 ore	
24.	312 - 384	55,00 ore	28,00 ore	
25.	384 - 480	60,00 ore	30,00 ore	
26.	480 - 576	65,00 ore	32,00 ore	
27.	576 - 696	70,00 ore	36,00 ore	
28.	696 - 960	75,00 ore	38,00 ore	
29.	960 - 1200	80,00 ore	40,00 ore	
30.	1200 - 2400	82,00 ore	42,00 ore	

Din analiza datelor din diagramele figurii 47 și 49 diagrame de variație în timp a temperaturii pe înălțimea coloanei electrodului, rezultă că la opriri mai mari de

./.

6 ore, nu este indicat a se efectua prelungiri ale electrodu-
lui decît după revenire sau funcționarea unui anumit timp la
parametrii normali ai cuptoarelor.

Tabelul nr.12
privind regimul de încărcare electrică a cuptoarelor
de 12 MVA de tip deschis

Nr. crt.	Durata opririi în ore	Timp de revenire la normal		Observ.
		existent	propus	
1.	0 - 1	15 minute	10 minute	
2.	1 - 2	25 "	15 "	
3.	2 - 3	40 "	20 "	
4.	3 - 4	60 "	25 "	
5.	4 - 5	1,15 ore	30 "	
6.	5 - 6	1,30 ore	35 "	
7.	6 - 7	1,45 ore	45 "	
8.	7 - 9	2,00 ore	60 "	
9.	9 - 12	2,5 ore	1,5 ore	
10.	12 - 16	4,00 ore	2,0 ore	
11.	16 - 22	7,00 ore	3,00 ore	
12.	22 - 30	10,00 ore	4,00 ore	
13.	30 - 40	14,00 ore	6,00 ore	
14.	40 - 50	16,00 ore	8,00 ore	
15.	50 - 60	17,00 ore	10,00 ore	
16.	2,5 - 3 zile	18,00 ore	12,00 ore	
17.	3 - 4 zile	19,00 ore	14,00 ore	
18.	4 - 5 zile	20,00 ore	16,00 ore	

Funcție de gradientul de răcire a electrodu-
lui, s-a adoptat următorul grafic, de revenire la parametri
normali ai cuptorului :

Timpul de oprire a cupt. în ore	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22
Timpul după care începe prelungirea după revenire la normal a cupt.(ore)	30	1, 2 30	2, 2 30	2, 2 30	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4

./.

3.2.2.2. CONSIDERATIILE ASUPRA ROLULUI STRUCTURII METALICE A ELECTRODULUI SODERBERG [7, 8, 58]

Performanțele electrodului Süderberg, sînt în mare măsură condiționate de modul de realizare a structurii metalice a acesteia. Structura metalică a acestui tip de electrod, constă din mantaua metalică din oțel obișnuit cu grosimea de 1,5 - 3 mm de mărime și formă în secțiune, funcție de tipul cuptorului. Pe suprafața interioară a mantalei, sînt sudate benzi (aripioare) din tablă de aceeași grosime cu mantaua. Conform studiilor realizate în cadrul societății Edison Porta Maghera Veneția - Italia [45] asigurarea căldurii necesare formării electrozilor se face prin :

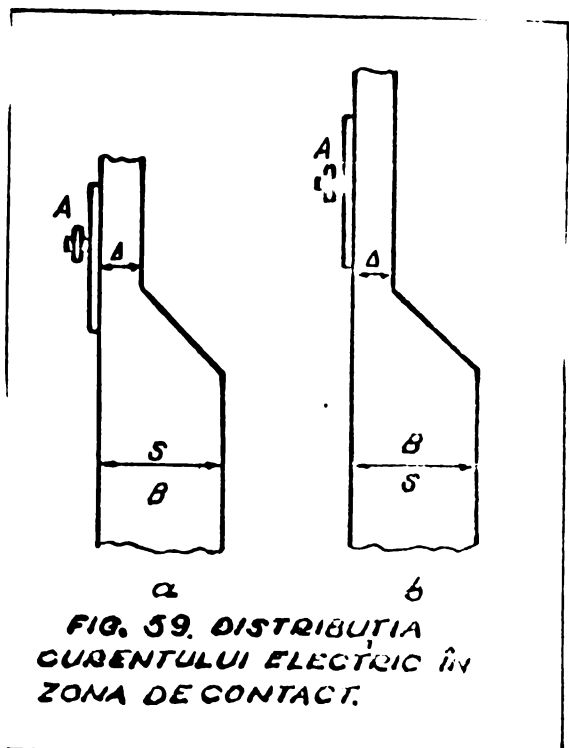
- transmisia căldurii de la electrodul copt
- căldura dezvoltată la contactul dintre bacurile de cupru și electrod

↓ căldura dezvoltată prin efectul Joule, în masa de electrozi în coacere și în structura metalică a acesteia.

Studiile efectuate pe un electrod cu mantaua constituită din tabla de oțel cu grosimea de 2 mm, cu 8 aripioare radiale de 220 x 2 mm echipat cu 8 bacuri de contact de 350 x 1000 mm cu o lungime sub bacuri de 1500 mm și o încărcare electrică de 50.000 A, au condus la concluzia că ponderea căldurii necesare procesului de formare a electrodului se asigură prin transmisia căldurii de la electrodul copt.

La contactul dintre bacurile de cupru prin care se alimentează energia necesară procesului și electrod, căderea de tensiune este de 1,5 V, ceea ce corespunde la o putere absorbită egală cu cca 75 kW, respectiv cu cca 65.000 kcal/oră, luîndu-se în considerare însă suprafața de contact între bac și electrod, coeficientul ridicat de transmisie al căldurii pe care-l prezintă cuprul și temperatura apei de răcire, se ajunge la concluzia că bacurile de contact nu pot constitui o sursă de căldură pentru coacerea electrozilor.

Distribuția curentului electric în zona de contact dintre bac și electrod, se prezintă conform fig.nr.59.



Contactul dintre conductorul A (bacul de cupru) și conductorul B (electrod) asigură distribuția curentului electric în electrodul crud pe o secțiune "s" și în electrodul copt pe o secțiune "s". Raportul dintre aceste secțiuni, respectiv raportul dintre conducția zonei crude și a zonei coapte este de cca 1:35. În condiții normale în zona de coacere structura metalică, nu se încălzește și nu preia decât o parte neînsemnată din sarcina electrică a electrodului. Când zona de coacere

se găsește sub limita admisă, structura metalică de la zona în care electrodul este crud este forțată să fie conducătoare de curent, electrodul nu poate suporta sarcina normală de curent și structura metalică se topește sub acțiunea efectului Joule (fig.59b)

Rolul structurii metalice a electrodului se concretizează deci prin ;

- asigurarea rezistenței mecanice a coloanei de electrod, iar aripișoarele au rolul de a fixa masa de electrod, de învelișul exterior și de a împiedica detașarea masei coapte de coloana de electrod sub influența propriei sale greutate și a presiunii hidrostatice a pastei topite.

- asigurarea unei suprafețe de contact cât mai perfecte între bacul de cupru și electrod. Se urmărește o cădere de tensiune pe suprafața de contact cât mai scăzută.

- structura metalică nu prezintă nici o importanță din punct de vedere a coacerii electrodului prin efectul Joule al curentului electric.

În scopul diminuării consumului de metal și asigurării unei formări mai bune a electrozilor, care să conducă la creșterea gradului de siguranță a cuptoarelor pentru fabricarea carburilor, s-au studiat și experimentat la cuptoarele de 40 MVA diferite tipuri de construcții metalice a buranelor electrozilor și bacurilor de contact.

./.

Electrozii Söderberg de la cuptoarele de 12,5 MVA, pentru fabricarea carburidului, din practica industrială s-au dovedit cu cel mai ridicat grad de siguranță în funcționare. Acești electrozi se caracterizează prin ; diametrul \varnothing 1000 mm, lungimea sub bacurile de contact în medie 1000 mm, coloana de pastă topită peste nivelul superior al bacurilor de contact de cca 2600 mm. Variația temperaturii pe înălțimea coloanei de pastă a fost prezentat în figura 57.

Electrodul este echipat cu bacuri de contact din țevă de cupru (fig.60) cu \varnothing interior 60 mm lungimea desfășurată a țevii de cupru $l = 5200$ mm/bac.

Prin măsurători s-a determinat suprafața de contact în secțiunea între țeava de cupru și electrod de 3 mm.

Densitatea electrică de contact rezultă din :

$$= \frac{45000 \text{ A}}{520.0,3.8} = 36,05 \text{ A/cm}^2$$

Construcția metalică a acestui electrod este compusă dintr-un burlan din tablă de 1,5 mm cu 8 buc. aripioare radiale, sudate de burlane. Greutatea unui tronson lung de 1 m este de 80 kg.

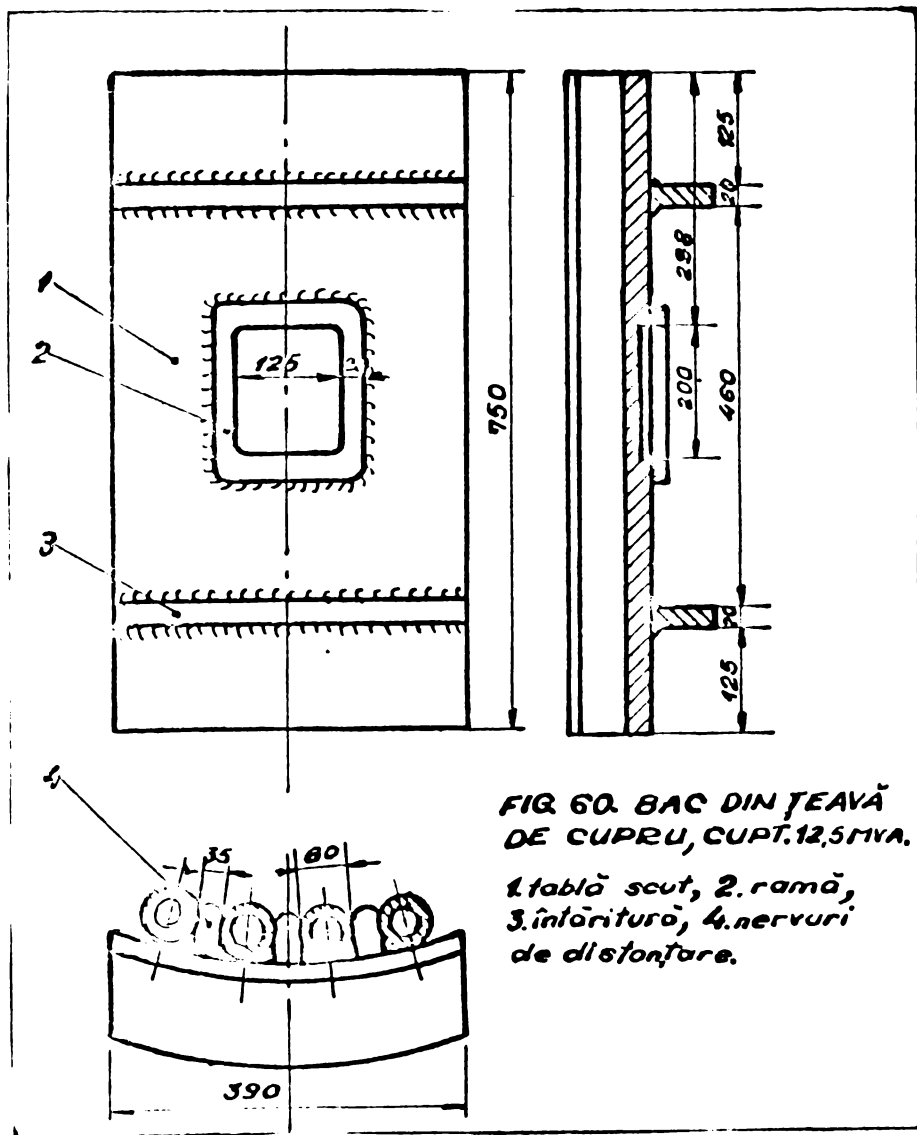


FIG. 60. BAC DIN ȚEAVĂ DE CUPRU, CUPT. 12,5 MVA.

1. tablă scut, 2. ramă, 3. întăritură, 4. nervuri de distanțare.

La electrozii de \varnothing 1000 mm greutatea electrodului format pentru o lungime de 1000 mm este de :

$$G = \frac{\pi \cdot d \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \gamma + G, \text{ t/m} \quad \text{în care :}$$

D - Ø electrod în m.

h - lungimii unui burlan în m.

γ - greutate specifică pasta de electrozi în t/m³

G - greutate construcție metalică pentru 1000 mm electrod

$$G = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 1 \times 1,5 + 0,080 = 1,250 \text{ tone}$$

Cantitatea de metal regăsit în electrod rezultă deci de 68 kg/1000 kg. electrod.

Cuptoarele electrice de 40 MVA, de tip semideschis și de tip acoperit, au electrozi de formă dreptunghiulară cu capetele rotunjite. Dimensiunea electrozilor sînt 2800 x 650 mm și au o suprafață în secțiune de 17.475 cmp.

Electrozii sînt echipați cu 8 buc. bacuri de contact din cupru de formă paralelipipedică de 1950x420x110 mm. Coloana de electrod are o lungime de cca 5950 mm din care 1200 mm sub bacuri și 2800 mm peste partea superioară a bacurilor.

Densitatea de curent a electrodului (S_e) este de :

$$S_e = \frac{100.000 \text{ A}}{17475 \text{ cmp}} = 5,72 \text{ A/cmp}$$

iar densitatea de contact (S_c) este de :

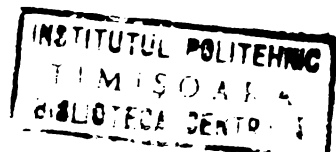
$$S_c = \frac{100.000 \text{ A}}{195 \text{ cm} \times 42 \text{ cm} \times 8 \text{ bacuri}} = 1,526 \text{ A/cmp}$$

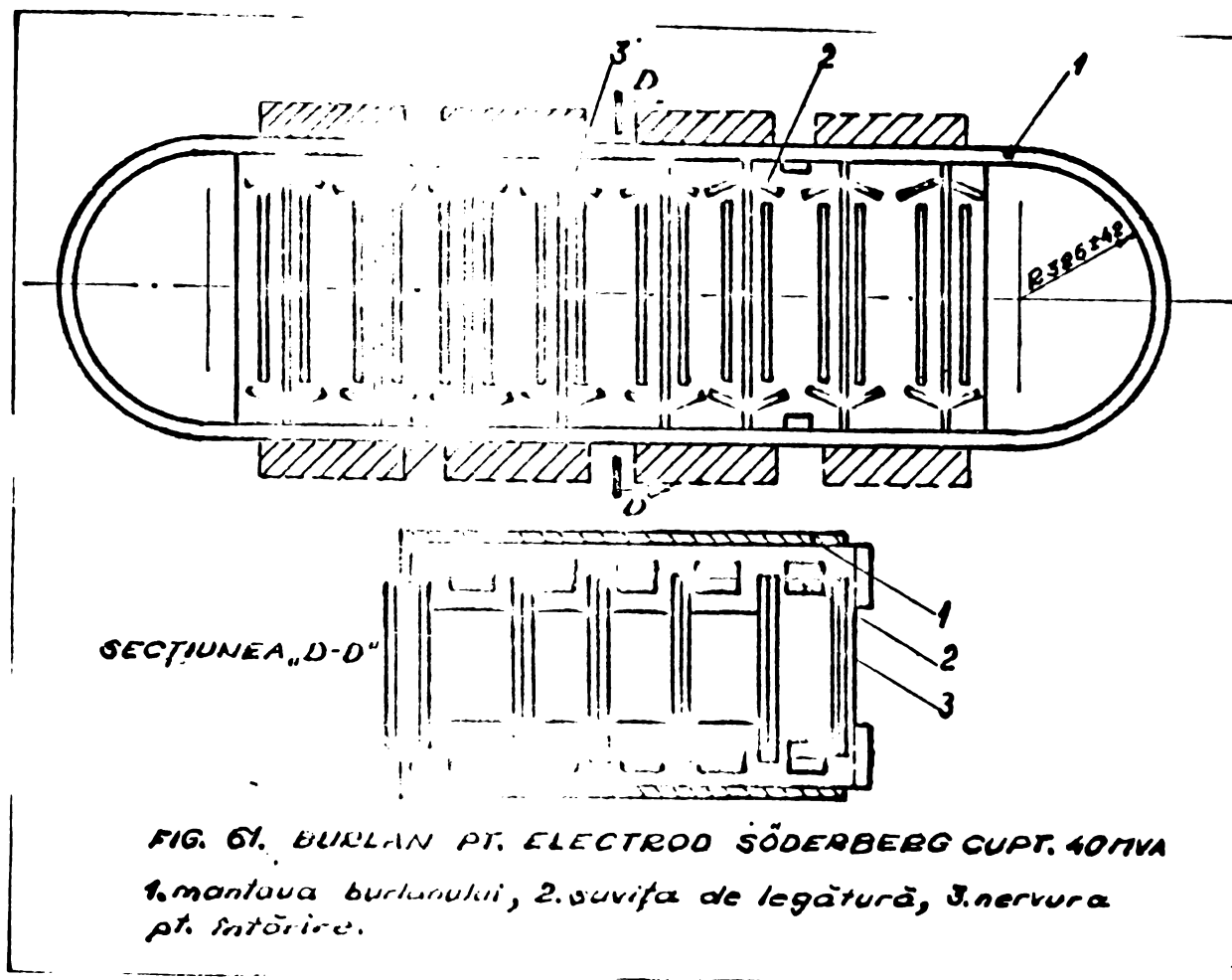
Burlanul electrozilor la cuptorul de 40 MVA prezentat în figura 61 este confecționat din tablă de 3 mm și are 8 buc. șuvițe de legătură. Greutatea unui astfel de burlan este de 280 kg/1 m lungime, ceea ce reprezintă la greutatea unui metru de electrod 280 kg/2620 kg electrod sau 106 kg/1000 kg electrod.

Studiind funcționalitatea electrodului cuptoarelor de 12,5 MVA comparativ cu a electrodului cuptorului de 40 MVA în scopul îmbunătățirii calității lor s-a urmărit :

- diminuarea cantității de metal utilizat pentru confecționarea burlanelor electrozilor cuptoarelor de 40 MVA.

./.





- creșterea densității de contact dintre bacuri și electrod. Conceperea deci a unui nou tip constructiv de bac.

Pentru diminuarea cantității de metal a electrodului s-a efectuat o verificare a conductibilității electrice a mantalei și a verificării rezistenței la rupere a burlanului electrodului sub greutatea proprie a electrodului.

Verificarea mantalei electrodului la conductibilitate electrică.

Așa cum rezultă din analiza diagramei temperaturii în electrod în zona inelului de strângere, temperatura masei carbonice este cuprinsă între 400 - 600 °C.

La această temperatură, rezistivitatea electrică a masei carbonice este ridicată (1000 - 14.000 ohm.mmp/m. (tabelul 6) și să considerăm ipotetic că în această zonă întregul proces de conducere a sarcinii electrice a electrodului se realizează prin mantaua metalică. Odată cu creșterea temperaturii începe cocsificarea masei carbonice și scădere rezistivității, sarcina electrică este preluată treptat de coloana masei de electrod.

./.

Densitatea maximă pentru mantaua metalică a electrodului cuptoarelor de 12 MVA poate fi :

- burlanul electrodului este format dintr-o manta rotundă cu \varnothing 1000 mm are 8 șuvițe pe verticală cu lățimea de 250 mm grosimea tablei utilizată fiind de 1,5 mm.

- suprafața secțiunii (S_b) a electrodului este deci :

$$S_b = \pi D \cdot g + 8 \cdot l \cdot g$$

D - diametrul burlanului
 l - lățimea șuviței
 g - grosimea tablei

$$S_b = \pi 1000 \cdot 1,5 + 8 \times 250 \cdot 1,5 = 7712 \text{ mmp.}$$

Densitatea maximă (d_{\max}) de curent :

$$d_{\max} = \frac{I_{\max}}{S_b} ; \quad d = \frac{45.000}{7.712} = 5,82 \text{ A/mmp}$$

I_{\max} = încărcarea maximă a electrodului în amperi

Densitatea maximă de curent pentru mantaua metalică a electrodului de la cuptorul 40 MVA poate fi ;

Suprafața în secțiune a burlanului cu grosimea de 3 mm (fig.45 și fig.61) este ;

$$S_b = L \cdot g + n \cdot l \cdot g$$

L - lungimea desfășurată a mantalei
 l - lățimea șuvițelor 160 mm
 g - grosimea tablei 3 mm
 n - numărul șuvițelor burlanului 16 buc

$$S_b = 6341 \times 3 + 16 \cdot 160 \cdot 3 = 26.703 \text{ mmp}$$

$$d_{\max} = \frac{I_{\max}}{S_b} ; \quad d = \frac{100.000}{26.703} = 3,75 \text{ A/mmp.}$$

Comparînd densitatea de curent la cele două tipuri de electrozi se constată o densitate de 2,09 A/mmp mai mare la cuptorul de 12 MVA decît la cupt.de 40 MVA deci, rezultă posibilitatea diminuării secțiunii burlanului din punct de vedere a preluării sarcinii electrice cu cca ;

$$\frac{5,83 - 3,74}{3,74} \cdot 100 = 55 \%$$

./.

Intrucît densitățile rezultate prin calculul de mai sus, depășesc valorile indicate în literatură chiar pentru metale cu conductibilitate electrică ridicată, se confirmă că trecerea curentului electric se realizează prin metal și o zonă învecinată lui care are un grad mai avansat de calcinare și respectiv grafitare, ca urmare a încălzirii prin efectul Joule, de trecere a curentului electric prin mantaua metalică. Grosimea tablei burlanului și forma lui nu este condiționată de încărcarea electrică a electrodului.

Verificarea la rezistență la rupere a burlanului electrodului cuptorului de 40 MVA.

Burlanole din figura 61 se assemblează pentru coloana de electrod, prin sudarea numai a mantalei electrodului. Deci șuvițele interioare nu au decât rolul de consolidare și legătură a mantalei cu masa de electrod.

Greutatea coloanei de electrod inclusiv a burlanului este :

$$G = L \cdot S_b \cdot \gamma \cdot n \cdot g \quad \text{în care :}$$

l - lungimea coloanei de electrod în m.

S_b - suprafața în secțiune transversală a electrodului în mp.

γ - greutatea specifică a electrodului fără mantaua metalică în kg/mc.

n - numărul de burlane a electrodului, în buc.

h - greutatea unui burlan (mantaua metalică) în kg.

$G = 6,6 \times 1,745 \times 1500 \times 14 \times 280 = 21.200 \text{ kg.}$

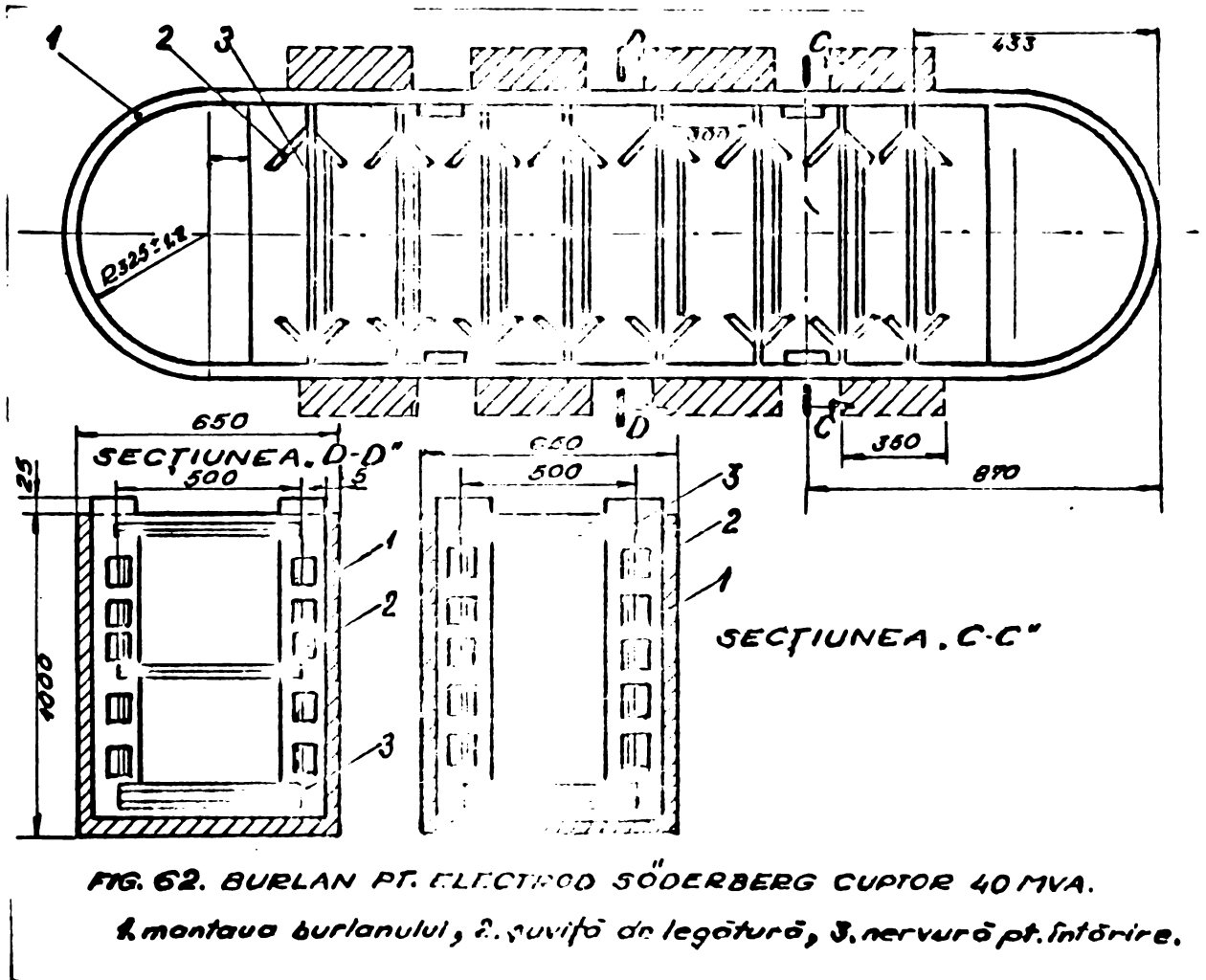
La secțiunea burlanului de 19.023 mmp rezultă o sarcină pentru sudura primului burlan de $\frac{21.200}{19.023} = 1,11$ kg/mmp față de o rezistență la tracțiune $T_a = 40 \text{ kgf/mmp}$ indicat în literatură pentru coordonatele de sudură de acest fel. Deci rezultă din punct de vedere a rezistenței mecanice posibilitatea reducerii grosimii tablei burlanului.

În baza calculelor și analizelor de mai sus se consideră oportună ;

a) modificarea burlanului din figura 61 în sensul diminuării șuvițelor de legătură de la dublu la simplu.

./.

Aceste șuvițe nu au rol de rezistență mecanică a burlanului și nici de conductibilitate electrică. Burlanul modificat conform figurii 62 are greutatea de 223 kg ceea ce corespunde la 85 kg metal/1000 kg electrod. Acest burlan s-a experimentat la un cuptor de 40 MVA de tip acoperit cu bune rezultate.



b) Modificarea în continuare a burlanului prin diminuarea numărului de șuvițe de la 8 bucați la 6 bucați poziționate conform figurii 63 și diminuarea grosimii tablei din zona rotundă de la 2,5 mm. Greutatea burlanului va fi diminuată de la 223 kg la 205 kg respectiv la 78 kg/1000 kg. electrod. Greutatea unei șuvițe este de 4 kg iar a unei distanțiere de 0,5 kg.

Acest burlan a fost experimentat la fel cu bune rezultate la un cuptor de 40 MVA de tip semideschis.

./.

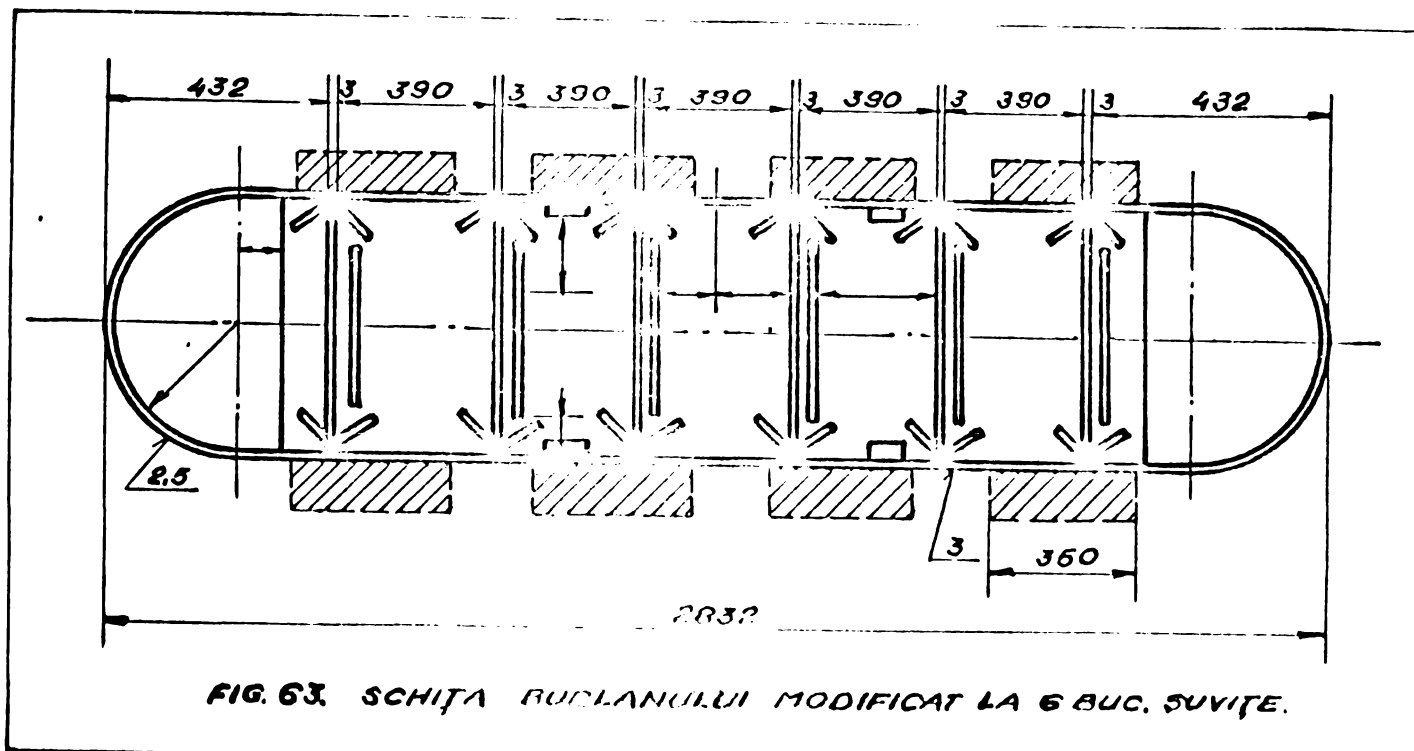


FIG. 63. SCHIȚA BUCLANULUI MODIFICAT LA 6 BUC. SURIȚE.

Modificări constructive asupra bacurilor de contact la cuptoarele de 40 MVA.

Cuptorul de 40 MVA luat în studiu a fost echipat cu bacuri din cupru (figura 64) de formă paralelipipedică, de 1950 x 420 x 110 mm.

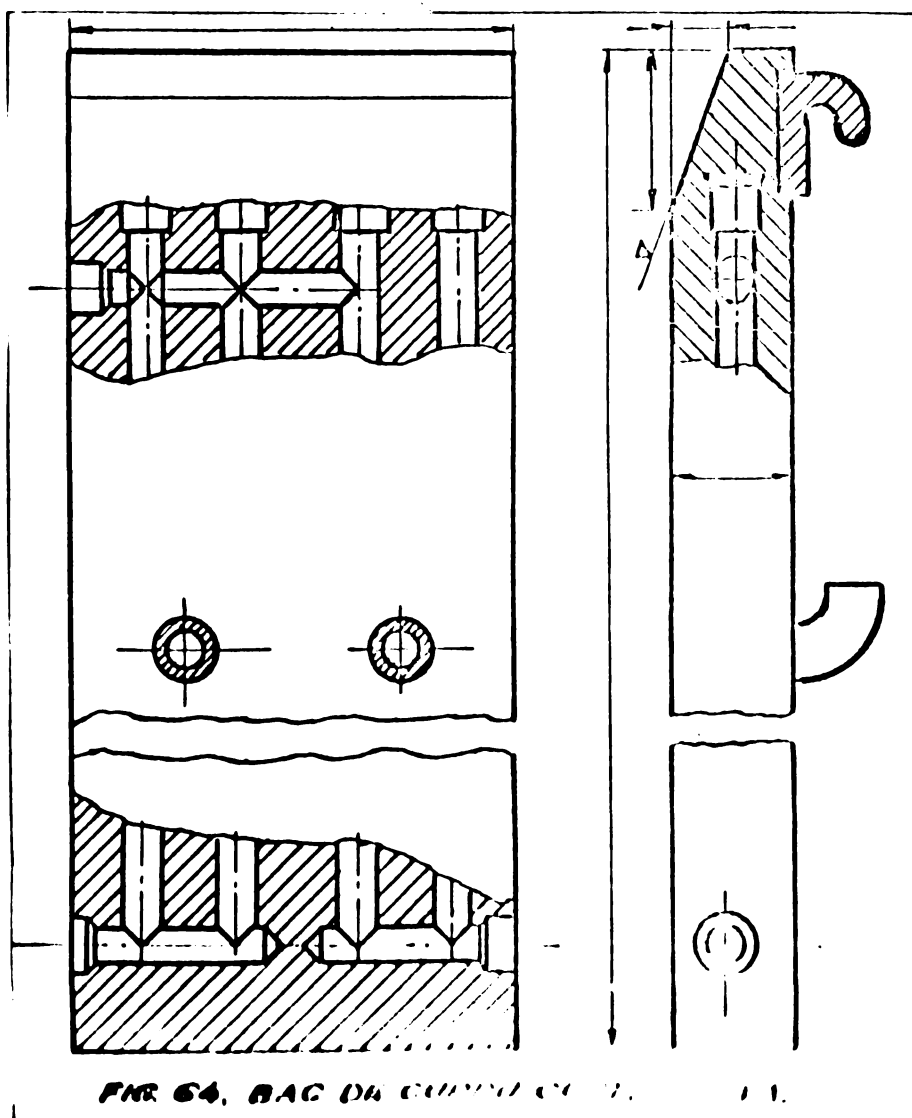


FIG. 64. BAC DE CUPRU CU ...

Densitatea de context de 1,526 A/cmp stabilită în capitolul precedent comparativ cu densitatea realizată la bacurile confecționate din țeava de cupru, permite diminuarea dimensiunilor geometrice a bacului de formă paralelipipedică.

Analizând nivelele de coacere în urma ridicării diagramei de temperatură a electrozilor echipați cu bacuri de 1950 x 420 mm se constată că ele se găsesc la nivelul minimo sau chiar critico datorită atât

răcirii pronunțate a electrodului de către bac cât și zonelor de electrod diminuate care rămân neacoperite de bac și încălzite direct de gazele ce ard la suprafața șarjei.

Bacul paralelipipedic prezentat în figura 64 este prevăzut cu patru circuite de răcire de \varnothing 40 mm înseriate cu o lungime totală de $4 \times (1950 - 2 \times 115) + 4 \times 100 = 6280$ mm.

Alimentarea cu energie electrică se realizează prin două conducte de cupru cu \varnothing 60 mm și pereții de 10 mm amplasate prin sudură la o înălțime de 1065 mm de la partea inferioară a bacului.

Răcirea se realizează cu apă care circulă prin conductele de curent. Prin una din conducte intră apa rece iar prin a doua se elimină apa caldă. Modul de realizare a circuitului de răcire conduce la posibilitatea repartiției preferțiale a apei în circuitele bacului. Circuitele 1 și 2 fiind legate în paralel iar ramura de sus a circuitului 4 este fără circulație de fluid. Răcirea insuficientă a bacului conduce la supraîncălziri locale cu consecințe asupra procesului de coacere a electrodului și durabilitatea în timp a bacului.

Susținerea bacului se realizează printr-un sistem de cleme și tiranți, fixați pe suportul metalic atașat prin șuruburi la partea superioară a bacului.

În scopul asigurării unei modelări a electrodului după forma bacului partea superioară a zonei de contact este prelucrată înclinat. Masa carbonică în această zonă este fluidă.

Contactul bacului cu montarea metalică a electrodului, se realizează prin aplicarea pe placa de presiune a unei forțe mecanice de cca 35 tf. Presiunea de contact pe întreaga suprafață a bacului rezultând deci :

$$p = \frac{35}{(195-23) \times 4 \times 2} \approx 4,85 \div 5 \text{ kgf/cm}^2.$$

Placa de presiune este amplasată pe bac izolată din punct de vedere electric.

./.

Gradientul mediu de temperatură realizat pentru fluidul de răcire (apa) determinat din mai multe măsurători rezultă de cca 38 °C (temperatura apei la intrare în bac 22 °C și la ieșire 60 °C) Debitul apei realizat la o viteză a apei în condiții de 1,5 m/s, va fi :

$$Q = 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,0402^2 \times 3600}{4} = 9 \text{ mc/oră}$$

Cantitatea de căldură eliminată prin bac va fi:

$$Q = 9000 \times 38 \times 1,0 = 342.000 \text{ Kcal/oră/bac.}$$

În scopul îmbunătățirii condițiilor de formare a electrozilor, reducerea consumului de cupru și diminuării pierderilor de căldură prin apa de răcire s-au conceput mai multe tipuri de bacuri care s-au experimentat la cuptoarele de 40 MVA semideschise și acoperite.

Bac de contact de formă paralelipipedică cu alimentare prin extremitatea superioară (1500 x 350 x 110 mm)

Bacul prezentat în figura 65 este prevăzut numai cu două circuite de răcire cu Ø 40 mm. Lungimea totală a

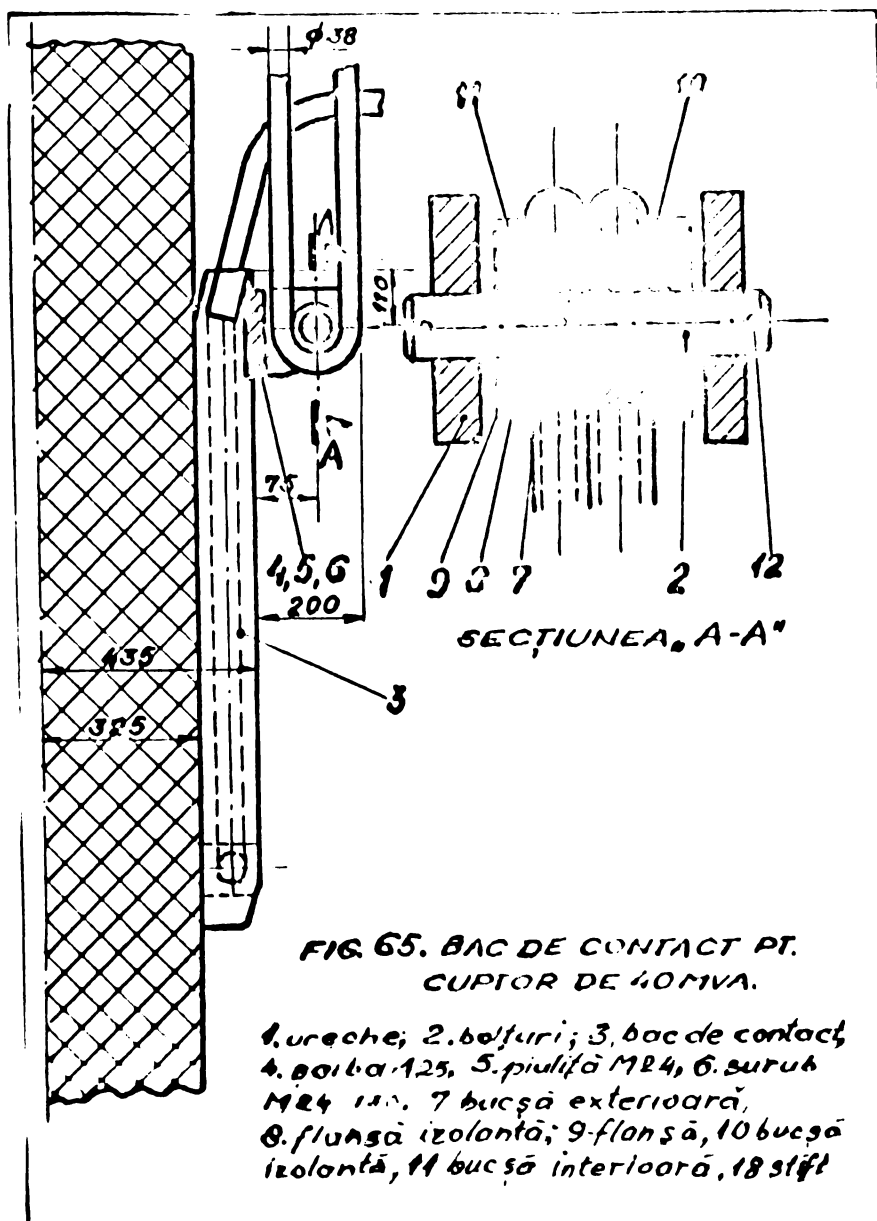


FIG. 65. BAC DE CONTACT PT. CUPTOR DE 40 MVA.

1. ureche; 2. bolțuri; 3. bac de contact; 4. șurub M24; 5. piuliță M24; 6. șurub M24; 7. bucsă exterioară; 8. flanșă izolantă; 9. flanșă; 10. bucsă izolantă; 11. bucsă interioară; 12. știft

circuitului de răcire este de 2 x (1500-150) + 150 = 2850 mm. Alimentarea cu energie electrică se face prin partea superioară prin conductele prin care se asigură și răcirea cu apă a bacului. Suspendarea bacului se face printr-un suport fixat la partea superioară prevăzut cu un bolț izolat electric.

Presiunea de contact se realizează prin strângere fără a mai fi necesară placa de presiune întrucât tija elementului de strângere este din material izolat.

In figura 66 se prezintă elementul de izolare conceput special pentru acest tip de bac.

- presiunea specifică de contact rezultă din :

$$p = \frac{35}{(150-5) \times 35} \approx 6,89 \div 7 \text{ kgf/cm}^2$$

Densitatea electrică de contact :

$$j = \frac{100.000 \text{ A}}{(150-5) \times 35 \times 8} = 2,46 \text{ A/cm}^2.$$

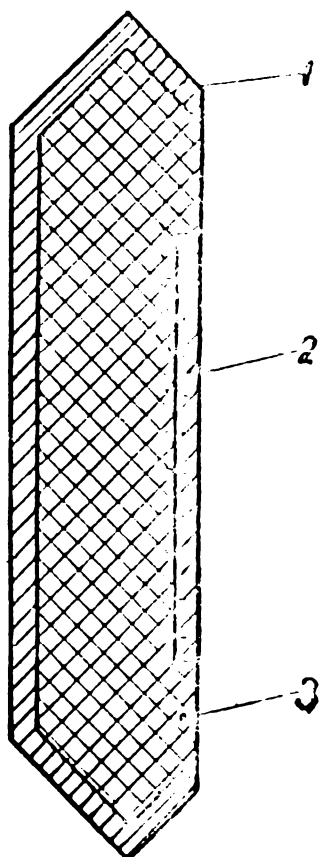


FIG. 66. ELEMENT DE IZOLARE ELECTRICAL
1. carcasă metalică, 2. disc metalic,
3. izolație din beton refractar.

Debitul apei de răcire este același ca la bacul de 1950x420 mm de 4 mc/h.

Gradientul de temperatură realizat, circuitul apei de răcire fiind mai scurt, este de 30 °C (apa la intrare 22 °C iar la ieșire 52 °C)

Cantitatea de căldură eliminată prin bac :
 $Q = 9000 \times 30 \times 1,0 = 270.000$
kW/oră.

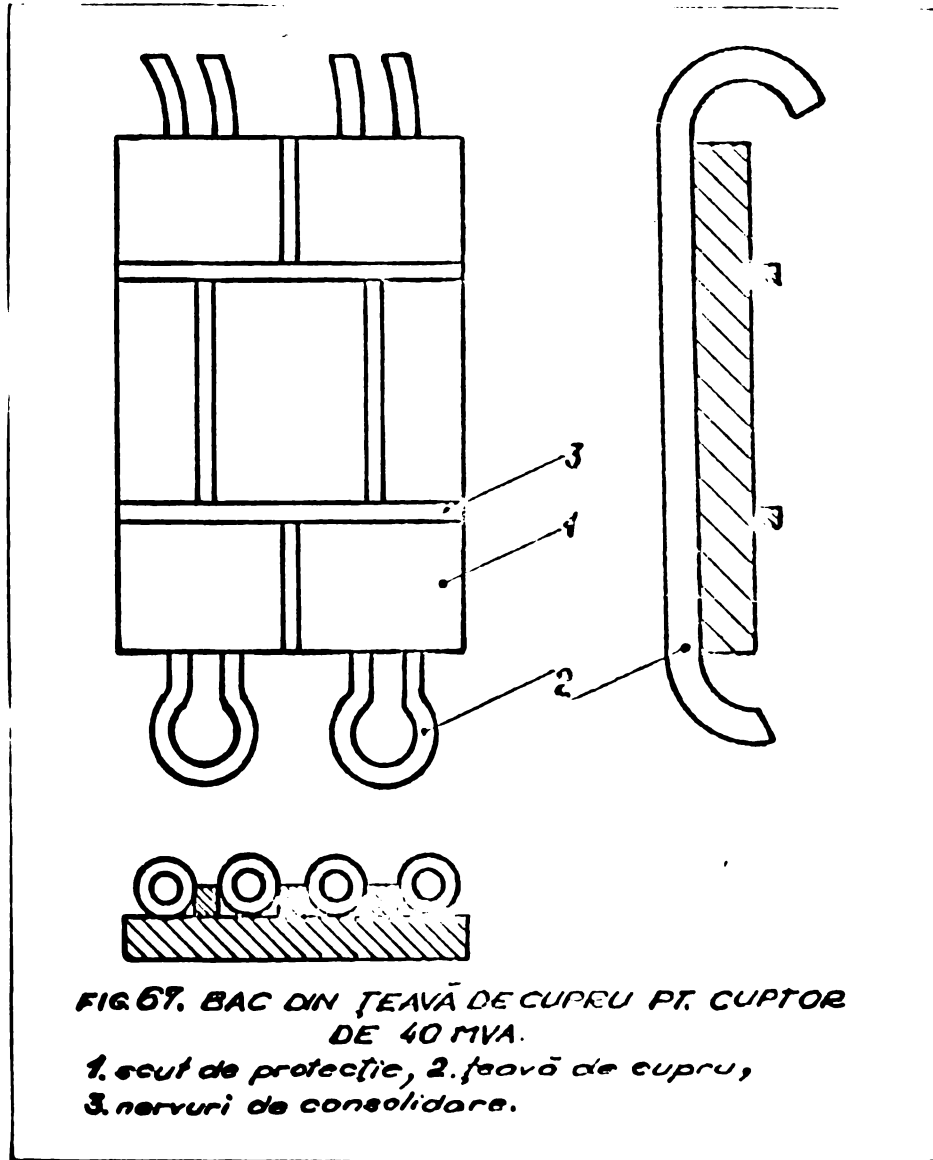
In urma experimentării acestui tip de bac s-a constatat o mai bună stabilitate a parametrilor de coacere a electrozilor cuptorului electric. Intr-o nouă serie de experimentări s-a diminuat lungimea bacului la 1200 mm forma sa fiind identică cu a bacului prezentat în fig. 65.

Presiunea specifică realizată este de :

$$p = \frac{35}{(120-5) \times 35} \approx 8,69 \div 9 \text{ kgf/cm}^2$$

La un gradient de temperatură de cca 28 °C cantitatea de căldură preluată este de $Q = 9000 \times 28 \times 1,0 = 252.000 \text{ Kcal}$.

Bac de contact plat, din țeavă de cupru.



În figura 67 este prezentat modul de concepție a unui bac din țeavă de cupru. Bacul are 4 buc. țevi de $\varnothing \text{ int.} = 60 \text{ mm}$ lungimea de 1500 mm răcite cu apă. Țevile sînt consolidate printr-un schelet metalic rigid.

Fixarea la locul de montaj se realizează printr-un sistem de cleme montate pe scheletul metalic al bacului.

La suprafața de contact în secțiune dintre țeava de cupru și electrod de 30 mm (determinată prin măsurători) densitatea de contact rezultă :

$$q = \frac{100.000}{30 \times 4 \times 150 \times 8} = 6,94 \text{ A/cm}^2$$

Presiunea specifică de contact este de

$$p = \frac{35}{3,0 \times 4 \times 150} \approx 19,4 \div 19 \text{ kgf/cm}^2$$

./.

Debitul apei de răcire la o viteză de 1,5 m/s

$$Q = 1,5 \frac{\sqrt{1 \cdot 0,06^2}}{4} \times 3600 = 15,3 \text{ mc/oră}$$

Pierderile de căldură la un gradient de 20°C
 sînt :

$$Q = 15300 \times 15 = 229.000 \text{ Kcal/oră}$$

Principalele caracteristici constructive și funcționale a tipurilor de bacuri prezentat sînt redade comparativ în tabelul nr.13.

Tabel nr.13

cuprinzînd situația comparativă a caracteristicilor constructive și funcționale a bacurilor de contact, experimentate la un cuptor de 40 MVA.

nr. crt.	Tipul bacului	Dimens. în mm	Greut. în kg. cupru	Densit. de cont. A/cmp.	Pres.spec. kgf/cmp	Cant.de căld. elimin. cu apa de răc. kcal/h	Nivel de coacere a electrod. față de p.super. a inelului de strîng. în mm.
1.	paralelip. de tip lung 1950	1950x420 x110	730	1,52	5	342000	+ 100
2.	paralelip. de tip scund 1500	1500x350 x110	570	2,46	7	270000	+ 250
3.	paralelip. de tip scund 1200	1200x350 x100	400	3,10	9	252600	+ 300
4.	Teava de cupru	1500x350 x100	75	6,94	19	229000	+ 300

Comportarea în exploatare în perioada de experimentare a tipurilor de bacuri prezentate în tabelul nr.13 poz. 2,3 și 4 a fost bună. S-a dovedit a fi mai eficiente din toate punctele de vedere bacurile paralelipipedice de tip scund 1200 mm și tip țeavă de cupru, care pot înlocui cu succes tipul de bacuri clasice (paralelipipedice de tip lung 1950 mm)

./.

Din cele prezentate în acest capitol se poate concluziona :

a) Inlocuirea bacurilor clasice de tip lung 1950 cu bacuri din țeavă de cupru, oferă următoarele avantaje :

- consum de cupru mai redus pentru construcția bacurilor cu 655 kg/bac sau 15720 kg/cuptor sau în procente de 89 %.

- diminuarea pierderilor de căldură prin apa de răcire a bacurilor, cu 44 %.

- creșterea presiunii specifice de contact de cca 3,5 ori ceea ce asigură un contact mai perfect între electrod și bac cu diminuarea căderii de tensiune pe această suprafață și implicit diminuarea pierderilor de energie electrică.

- îmbunătățirea nivelului de coacere a electrozilor care la aceste bacuri este de + 300 mm față de + 100 mm la bacurile de tip lung 1950 mm.

b) Structura metalică a electrodului Söderberg de la cuptoarele electrice de 40 MVA pentru fabricarea carburului poate fi cantitativ diminuată cu cca 30 %.

c) Grosimea tablei burlanului și forma lui nu este condiționată de încărcarea electrică a electrodului ci numai de asigurarea suprafețelor cât mai uniform (plane) care favorizează contacte cât mai perfecte între bare și electrod.

3.2.3. STUDIUL CORELAȚIEI DINTRE LUNGIMEA DE ARC ȘI TENSIUNEA FATA DE VATRA CUVEI, PENTRU ELECTROZII CUPTOARELOR DE 40 MVA UTILIZATI LA FABRICAREA CARBIDULUI [85, 87, 19, 23]

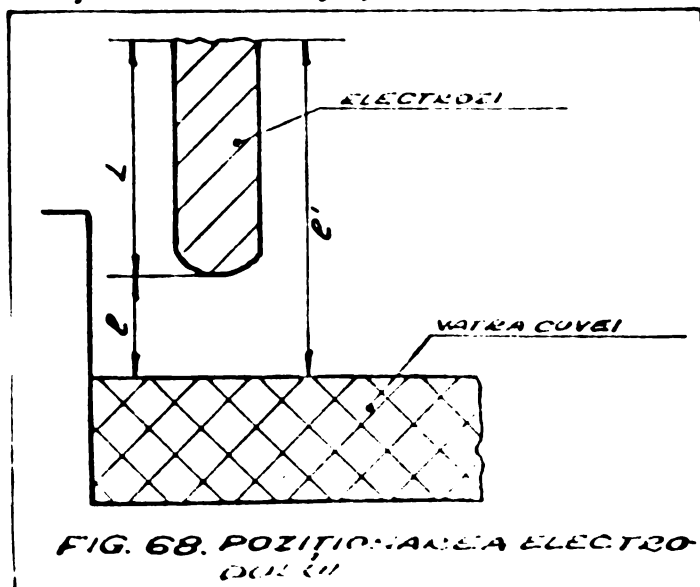
Așa cum s-a arătat în capitolele precedente o importanță deosebită asupra procesului electrotermic care se desfășoară în zona de arc, o are modul de asigurare a parametrilor arcului propriu-zis, respectiv tensiunea din arc, curentul arcului și lungimea de arc.

Pentru lungimea de arc definită, ca distanță pe verticala dintre vârful electrodului și vatra cuvei în condițiile de funcționare a cuptoarelor electrice, conform literaturii de specialitate, pînă în prezent, nu s-au găsit metode de măsurare cînd electrodul se găsește sub sarcina electrică.

Lungimea de arc este influentă în principal de următorii factori :

- conductibilitatea electrică a componentilor șarjei
- granulația componentilor șarjei
- gradul de amestec al componentilor șarjei
- nivelul de topitură acumulat pe vatra cuvei
- parametrii electrici ai arcului (tensiune, intensitate)
- lungimea electrozilor sub bacurile de contact
- incandescența (temperatura) zonei arcului,
- geometria cuvei cuptorului, etc.

În condițiile în care factorii de mai sus se mențin constanți, lungimea de arc "l" (figura 68) se menține



constantă și în baza legilor de bază a electrotehnicii, va putea fi determinată prin relația:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}; \quad I = \frac{U}{R};$$

$$R = \frac{U}{I}; \quad l = \frac{RS}{\rho} = \frac{US}{I \cdot \rho}$$

$$l = \frac{U}{I} \cdot \frac{S}{\rho} \quad \text{în care :}$$

U - tensiunea din arc

S - secțiunea zonei de închidere a arcului

I - curentul din arc

ρ - rezistivitatea electrică a mediului din zona de arc

Prin determinarea lungimii (L) a electrodului sub bacurile de contact și cunoașterea lungimii totale (l') (figura 68) rezultă prin diferență, lungimea de arc (l)

În prezentul studiu, pentru determinarea lungimii electrozilor sub bacurile de contact, s-a plecat de la ipoteza că între lungimea electrodului, respectiv lungimea de arc și tensiunea curentului normal constant și tensiunea din arc, denumită tehnic tensiune față de vatra cuptorului este o dependență directă, ceilalți factori influențează numai de moment lungimea de arc.

Variația lungimii de arc, plus sau minus, condiționată de acești factori (exclusiv tensiunea din arc) pentru intervale scurte de timp se compensează.

În exploatarea cuptoarelor electrice, lungimea electrozilor se măsoară numai în anumite momente (de regulă la oprirea cuptorului) dar tensiunea față de vatră se măsoară continuu.

Având în vedere, legătura dintre tensiunea curentului electric față de vatră și lungimea electrozilor, s-au studiat condițiile și relațiile prin care să rezulte lungimea electrodului sub sarcina electrică, pe baza valorilor tensiunii din arc. S-a plecat de la ipoteza că aceasta este posibil, dacă între tensiune și lungime există o legătură funcțională, după o funcție ireversibilă. Dacă această legătură de determinare, poate fi exprimată de o funcție matematică, atunci pe baza unei funcții inverse, se poate afla ceea ce se dorește și anume, factorul care în mod normal este factor efect (tensiunea), să fie luată ca factor cauză, astfel încât această funcție inversă să indice valorile factorului lungime. În acest mod lungimea electrodului poate fi reglată pe baza valorilor tensiunii de arc.

Una din metodele statistice-matematice, cel mai des folosite, pentru rezolvarea unor probleme de acest gen este după cum se știe metoda celor mai mici pătrate. În chimie

./.

este larg folosită această metodă și se cunoaște, un exemplu clasic al lui Mendeleev, care a studiat solubilitatea azotatului de sodiu (NaNO_3) în 100 gr apă ca funcție de temperatură (grade Celsius) stabilind o legătură liniară între solubilitatea în procente și factorul temperatură.

Printre cazurile des întâlnite în chimie este și acela, în care avem de-a face cu două caracteristici X și Y care sînt legate între ele printr-o relație funcțională de tipul :

$$Y = f(X_1 ; \mathcal{L}_1 \cdot \cdot \cdot \mathcal{L}_m)$$

unde ; $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2 \cdot \cdot \cdot \mathcal{L}_m$, sînt parametrii necunoscuți ce trebuie estimați din datele obținute experimental.

După cum este cunoscut, relația de mai sus poartă numele de "curba de regresie a lui X asupra lui Y" și această terminologie a fost introdusă în secolul trecut de către matematicianul englez Galton (1886) în studiul legăturii, între înălțimea unui grup de indivizi și cea a descendenților lor.

Problemele care necesită a fi rezolvate atunci cînd se dorește stabilirea unei legături între două caracteristici sînt ;

- a) stabilirea formei funcției de regresie
- b) estimarea parametrilor în cauză

În prezentul studiu s-a operat cu serii de valori (observate și centralizate) ale lungimii electrozilor notate cu (Y) și tensiunii față de vatră notate cu (X), la cuptoarele electrice de 40 MVA, de tip semideschis și de tip acoperit, pentru fabricarea carbidului.

Seria valorilor lui (X), s-a determinat prin măsurarea lungimii electrozilor la oprirea cuptorului prin golirea parțială a cuvei. Valorile tensiunilor (X) corespunzătoare lungimilor (Y) au fost cele indicate de aparatele de măsură înainte de oprirea cuptorului, în condiții de funcționare cu parametrii optimi.

./.

In tabelul nr. 14 este prezentată gruparea perechilor de date (lungime - tensiune) pentru electrodul fază marginală (fază moartă) la un cuptor de tip acoperit.

Tabelul nr.14

Tens.fază de vatra în volți (Xi)	Lungimea electrozilor sub bacuri în dm (Yi)							N _x	Y _x	Y _{x1}
	9,4	9,5- 10,4	10,5- 11,4	11,5- 12,4	12,5- 13,4	13,5- 14,4	14,5- 15,4			
120	-	-	1	1	2	2	1	7	13,1	12,9
125	-	-	-	5	4	1	-	10	12,6	12,7
130	1	1	-	6	5	3	1	17	12,5	12,6
135	-	1	1	4	-	2	1	9	12,4	12,4
140	-	1	4	1	6	2	-	14	12,3	12,3
150	-	-	2	-	1	1	-	4	12,2	12,0
	1	3	8	17	18	11	3	61	90,3	%

Tipul funcției matematice după reprezentarea grafică fig.69, care se presupune că ar conduce la o legătură (corelație) corespunzătoare s-a ales de forma :

$$Y = a_1 X + a_0 \quad (I)$$

Determinarea coeficienților a_0 și a_1 se face prin metoda celor mai mici pătrate. Se calculează abaterile mediei patratice cu formula :

$$S = \sum_1^n (Y_1 - Y_x)^2 ; \quad (II)$$

sau

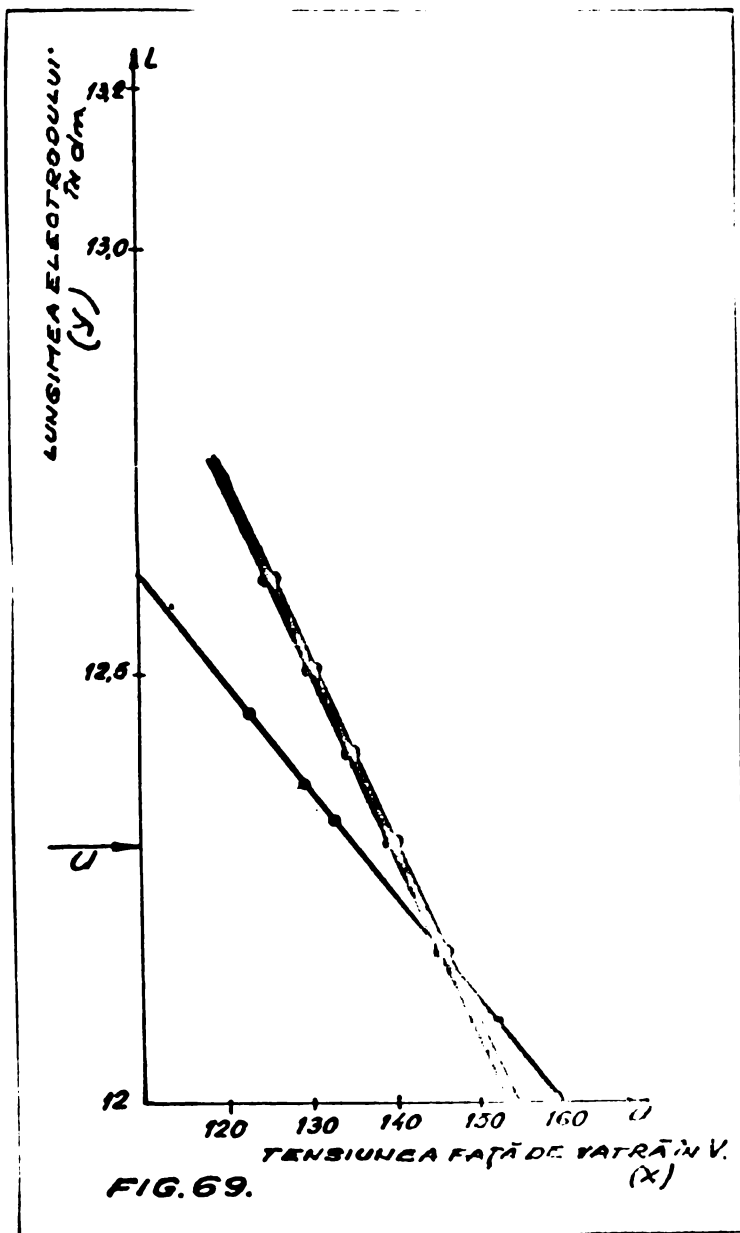
$$S = \sum_1^n (Y_i - a_1 X - a_0)^2 \quad (III)$$

în care ;

Y_1 - valoarea lungimii electrodului corespunzător unei tensiuni X_i

Y_x - valoarea lungimii care rezultă prin înlocuirea valorilor Y_i în ecuația $Y = a_1 X + a_0$

./.



Pentru ca abaterea medie pătratică, să fie minimă trebuie ca derivația funcției (III) să fie nulă. Condiția ca o funcție să fie minimă sau maximă, într-un punct este ca derivata funcției să se anuleze în acel punct și reciproc.

Considerând drept necunoscute coeficienții a_0 și a_1 se fac derivatele parțiale ale funcției (III) în raport cu a_0 și respectiv cu a_1 .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d s}{d a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a_1 X_i - a_0) = 0 \\ \frac{d s}{d a_1} = -2 \sum X_i (Y_i - a_1 X_i - a_0) = 0 \end{array} \right. \quad (IV)$$

Se obține un sistem de două ecuații cu două necunoscute. Pentru simplificarea calculelor, se împarte fiecare ecuație cu (-2) rezultând :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n (Y_i - a_1 X_i - a_0) = 0 \\ \sum_{i=1}^n X_i (Y_i - a_1 X_i - a_0) = 0 \end{array} \right. \quad (V)$$

./.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Y_i - a_1 \sum_{i=1}^n X_i - n a_0 = 0 \\ \sum_{i=1}^n X_i Y_i - a_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 - a_0 \sum_{i=1}^n X_i = 0 \end{array} \right. \quad (VI)$$

unde ;

$\sum Y_i$ - suma tuturor lungimilor electrozilor (măsurători extrase din rapoartele de fabricație)

$\sum X_i$ - suma tuturor tensiunilor corespunzătoare celor "n" cazuri de lungimi ale electrozilor.

$\sum X_i Y_i$ - suma produsului dintre lungime și tensiune (corespunzător tuturor cazurilor)

$\sum X_i^2$ - suma patratelor celor "n" tensiuni

Sistemul după ordonarea termenilor devine :

$$n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n X_i + a_1 \sum_{i=1}^n (X_i)^2 = \sum_{i=1}^n X_i Y_i$$

de unde ;

$$a_0 = \frac{\sum Y_i \sum X_i^2 - \sum X_i \sum X_i Y_i}{m \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a_1 = \frac{m \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{m \sum (X_i)^2 - (\sum X_i)^2}$$

Y_i luați în calcul provin din mediile Y_x din tabel multiplicării de atâtea ori, de câte ori arată N_x notat în relațiile de mai sus cu "m" de pe aceeași linie cu el în tabel) corespunzător tensiunii X_i .

./.

Pentru calculul coeficientului de corelație sau intensitatea legăturii se folosește formula :

$$I = \sqrt{1 - \frac{\sum (\bar{Y}_0 - Y_{xi})^2}{\sum (\bar{Y}_0 - Y_i)^2}}$$

unde ;

Y_{xi} - valoarea lungimii calculată prin înlocuirea tensiunilor în ecuația $y = a_1x + a_0$

\bar{Y}_0 - valoarea medie a lungimilor tabelate

Y_i - lungimea tabelată (extrasă din rapoartele de fabricație)

Intensitatea legăturii fenomenului este dată de valoarea coeficientului "I", care variază de la 0 - 1 , sau procentual de la 0 - 100 %. Când nu există legătura între parametrii studiați, valoarea lui $I = 0$, iar la o valoare a lui $I = 1$ (100 %) se vorbește despre cea mai puternică legătură posibilă.

Se observă că toate sumele pot fi calculate pe baza datelor experimentale, necesită însă a fi calculați coeficienții a_1 și a_0 luați drept necunoscute.

În scopul determinării acestor coeficienți s-a realizat un program rulat pe un calculator tip CELLATROM.

Pentru datele prezentate în tabelul nr.15 faza marginală (moartă) la un cuptor de tip acoperit rezultă ecuația :

$$Y_{x_1} = 16,210 - 0,028 X \text{ unde}$$

X - tensiunea în volți față de vatra cuvei

Y_{x_1} - lungimea electrodului sub bacuri în dm.

Intensitatea de corelație (R) la aceste valori rezultă 90 %. Procedînd la culegerea datelor statistice lungimii de electrozi și tensiunii ale curentului față de vatra cuvei, pentru un interval de timp consecutiv, de 180 zile, prin mecanismele prezentate mai sus s-au obținut următoarele rezultate ;

./.

- cuptor semideschis de 40 MVA

a) faza II (faza medie)

Distribuția valorilor lungimilor electrozilor în funcție de tensiunea față de vatră, se prezintă în tabelul nr.15.

Tabelul nr.15

Tens.fază de vatră în volți (Xi)	Lungimea electrozilor sub bacuri în dm (Yi)						N _x	Y _x	Y _{x1}
	10,4	10,5-11,4	11,5-12,4	12,5-13,4					
115	-	-	1	1	2	12,5	12,5		
120	-	4	7	13	24	12,37	12,3		
125	1	2	2	5	10	12,1	12,0		
130	2	7	2	6	17	11,7	11,75		
135	1	1	1	2	5	11,8	11,5		
	4	14	13	27	58	90 %			

$$Y_{x_1} = 18,39 - 0,051 X ; \quad R = 90 \%$$

b) faza marginală - violentă

Distribuția valorilor lungimilor electrozilor în funcție de tensiunea față de vatră, se prezintă în tabelul nr.16.

Tabelul nr.16

Tens.fază de vatră în volți (Xi)	Lungimea electrozilor sub bacuri în dm (Yi)						N _x	Y _x	Y _{x1}
	10,4	10,5-11,4	11,5-12,4	12,5-13,4	13,5-14,4	14,5			
100	-	-	-	-	2	-	2	14,0	14,34
110	-	-	4	4	1	1	10	12,9	13,3
115	-	2	-	3	3	-	8	12,8	12,8
120	7	7	6	1	6	1	28	11,8	12,2
125	1	1	3	1	1	-	7	12,0	11,7
130	6	3	3	1	1	1	15	11,4	11,1
135	2	-	1	-	-	-	3	10,0	10,5
140	1	-	-	-	-	-	1	10,0	-
N _y	17	13	17	10	14	3	74	-	91%

$$Y_{x_1} = 25,663 - 0,112 X ; \quad R = 91 \%$$

c - faza marginală - moartă

Distribuția valorilor lungimilor electrozilor în funcție de tensiunea față de vatră se prezintă în tabelul nr.17.

Tabelul nr.17

Tens.fază de vatră în volți (Xi)	Lungimea electrozilor sub bacuri în dm (Xi)					N	Y	Y _{x1}
	10,4	10,5-11,4	11,5-12,4	12,5-13,4	13,5			
115	-	-	-	-	4	4	13,8	13,0
120	-	3	3	8	4	18	12,7	12,7
125	-	2	3	3	1	9	12,3	12,5
130	1	4	8	5	2	20	12,1	12,2
135	-	1	2	2	-	5	12,2	11,96
140	-	1	4	1	-	6	12,0	11,7
	1	11	20	20	10	62	-	83 %

$$Y_{x1} = 18,982 - 0,052 X ; \quad R = 83 \%$$

- cuptor acoperit de 40 MVA

a) faza marginală - moartă

Distribuția valorilor lungimilor electrozilor în funcție de tensiunea față de vatră se prezintă în tabelul nr.14.

$$Y_{x1} = 16,210 - 0,028 X ; \quad R = 90,3 \%$$

b) faza II (faza medie)

Distribuția valorilor lungimilor electrozilor în funcție de tensiunea față de vatră se prezintă în tabelul nr.18.

Tabelul nr.18

Tens.fază de vatră în volți (Xi)	Lungimea electrozilor sub bacuri în dm (Yi)							N	Y _x	Y _{x1}
	9,4	9,5-10,4	10,5-11,4	11,5-12,4	12,5-13,4	13,5-14,4	14,5			
120	-	-	2	-	4	2	3	11	13,4	13,0
125	1	-	1	2	5	2	-	10	12,8	12,9
130	1	1	-	6	4	1	3	16	12,6	12,7
135	-	-	2	3	2	1	1	9	12,6	12,5
140	-	-	3	2	7	1	-	13	12,5	12,3
145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ny	1	1	8	13	22	7	7	59	-	83,6

$$Y_{x_1} = 17,906 - 0,040 X ; \quad R = 83,6 \%$$

c) faza marginală - violentă

Distribuția valorilor lungimilor electrozilor în funcție de tensiunea față de vatră se prezintă în tabelul nr.19

Tabelul nr.19

Tens.fază de vatră în volți (Xi)	<u>Lungimea electrozilor sub bacuri în dm (Yi)</u>					N _x	Y _x	Y _{x₁}
	10,4	10,5- 11,4	11,5- 12,4	12,5- 13,4	13,5			
115	-	2	1	2	-	5	12,0	12,2
120	-	4	8	2	2	16	12,12	12,0
125	-	3	1	1	-	5	11,6	11,8
130	4	8	5	7	-	24	11,6	11,6
135	-	-	-	-	-	-	-	-
140	3	3	2	1	-	9	11,1	11,1
	7	20	17	13	2	59		96 %

$$Y_{x_1} = 17,15 - 0,043 X ; \quad R = 96 \%$$

Recapitulând valorile obținute (ecuațiile de legătură funcționale și intensitatea de legătură) rezultă :

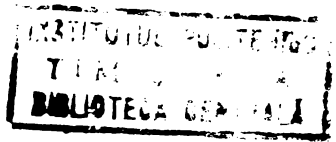
	<u>Ecuația de legătură funcțională</u>	<u>Valoarea intensității de legătură %</u>
<u>-cuptor semideschis</u>		
- fază violentă	Y= 25,663-0,112 X	96
- fază moartă	Y= 18,982-0,052 X	83
- fază medie	Y= 18,39 -0,051 X	91
<u>-cuptor acoperit</u>		
- fază violentă	Y= 17,15 -0,043 X	96
- fază moartă	Y= 16,210-0,028 X	90,3
- fază medie	Y= 17,906-0,040 X	83,6

Inlocuind valorile lui "X" în ecuațiile de mai sus pentru o gamă de tensiuni cuprinse între 100-150 volți, rezultă lungimile de electrozi prezentate în tabela nr.20.

./.

Tabelul nr.20

Lungime electrozi sub bac dm	Tipul cuptor	Electroni	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
			T_e_m_s_i_u_n_e_a_î_n_v_o_l_t_i										
0	Cuptor 40 MVA tip semi- deschis	violentă	14,46	13,90	13,34	12,78	12,22	11,66	11,10	10,54	9,98	9,42	8,86
		medie	13,29	13,03	12,78	12,52	12,27	12,01	11,76	11,50	11,25	10,99	10,74
		moartă	13,78	13,52	13,26	13,00	12,74	12,48	12,22	11,96	11,70	11,44	11,18
	Cuptor 40 MVA de tip accept	violentă	12,85	12,63	12,42	12,20	11,99	11,77	11,56	11,34	11,13	10,91	10,70
		moartă	13,41	13,27	13,13	12,29	12,85	12,71	12,57	12,43	12,29	12,15	12,01
		medie	13,90	13,70	13,50	13,30	13,16	12,90	12,76	12,50	12,30	12,10	11,95



Comparînd valorile prezentate în tabelul nr.20 cu cele găsite real în deservirea cuptoarelor electrice se constată o identitate acceptabilă în următoarele condiții tehnologice a cuptoarelor electrice :

- încărcătură cu amestec reactant normală, respectiv electrodul să fie imersat în material pînă la partea inferioară a bacurilor de contact :

- compoziția amestecului reactant relativ normală, corespunzătoare compoziției topiturii ce se evacuiază din cuptor. Nu pot fi luate în calcul valorile tensiunilor pentru intervalul de timp cît influențează asupra arcului electric efectul corecțiilor (var sau cărbune) făcute șarjei ;

- intensitatea curentului pe electrod, la tensiunea față de vatră luată în calcul, trebuie să fie la valoarea nominală respectiv 90 kA fază moartă și 100 kA fazele medii și violente ;

- tensiunea din secundarul transformatorului respectiv treapta de tensiune aplicată fiecărui electrod, în momentul stabilirii valorii tensiunii față de vatră, trebuie să fie identică la toți electrozii cuptorului ;

3.2.4. STUDII ROENTGENOSTRUCTURALE, ASUPRA GRADULUI DE GRAFITIZARE A ELECTROZILOR DE TIP SÖDERBERG. [57, 76, 18, 89, 90, 101]

Procesul de formare a electrozilor de tip Söderberg, în cuptorul electric așa cum s-a mai arătat și în capitolele precedente, este un proces complex, care se impune a fi condus, încît electrodul format să corespundă exigențelor tehnologiilor de lucru, specifice fiecărui tip de cuptor.

Electrodul format în final trebuie să poată prelua densitatea de curent prescrisă tipului de cuptor, să posede o rezistență mecanică la tracțiune corespunzătoare greutateii coloanei proprii și să posede o reactivitate chimică scăzută față de componenții șarjei de lucru, cît și față de gazele rezultate din proces.

O fază importantă care condiționează realizarea dezideratelor enumerate mai sus este "faza de grafitizare parțială", a coloanei de electrod, imersat în amestecul reactant.

În prezentul studiu, se fac cîteva referiri cu privire la gradul de grafitizare a coloanelor electrozilor Söderberg, de la cuptoarele de 12 MVA și 40 MVA, pentru fabricarea carburului.

Din punct de vedere a gradului de grafitizare cît și a celorlalte condiții de formare, electrozii Söderberg pentru a răspunde exigențelor impuse de tehnologiile cuptoarelor electrice, trebuie să fie comparabili cu electrozii din cărbune amorf-grafitizați.

Gradul de grafitizare s-a stabilit prin analize roentgen structurale care s-au efectuat pe un aparat TUR-M-61, folosindu-se radiația CuK_{α} filtru Ni, 40 KV, 18 mA goniometru HZG-3 cu contor proporțional, domeniu $60 \cdot 10^3$ impulsuri/minut. [80]

Ca etalon al gradului de grafitizare am utilizat o probă de grafit considerat pur (provenit de la Întreprinderea "Carbochim" Cluj) la care am considerat gradul de grafitizare 100 %. În cuptorul de grafitizare această probă a fost menținută 24 ore la temperatura de 3400 °C.

In figura nr.70 se prezintă spectrul de difracție a probei de grafit pur. Calculul gradului de grafitizare pentru toate cazurile studiate s-a făcut pe baza intensității liniei (004).

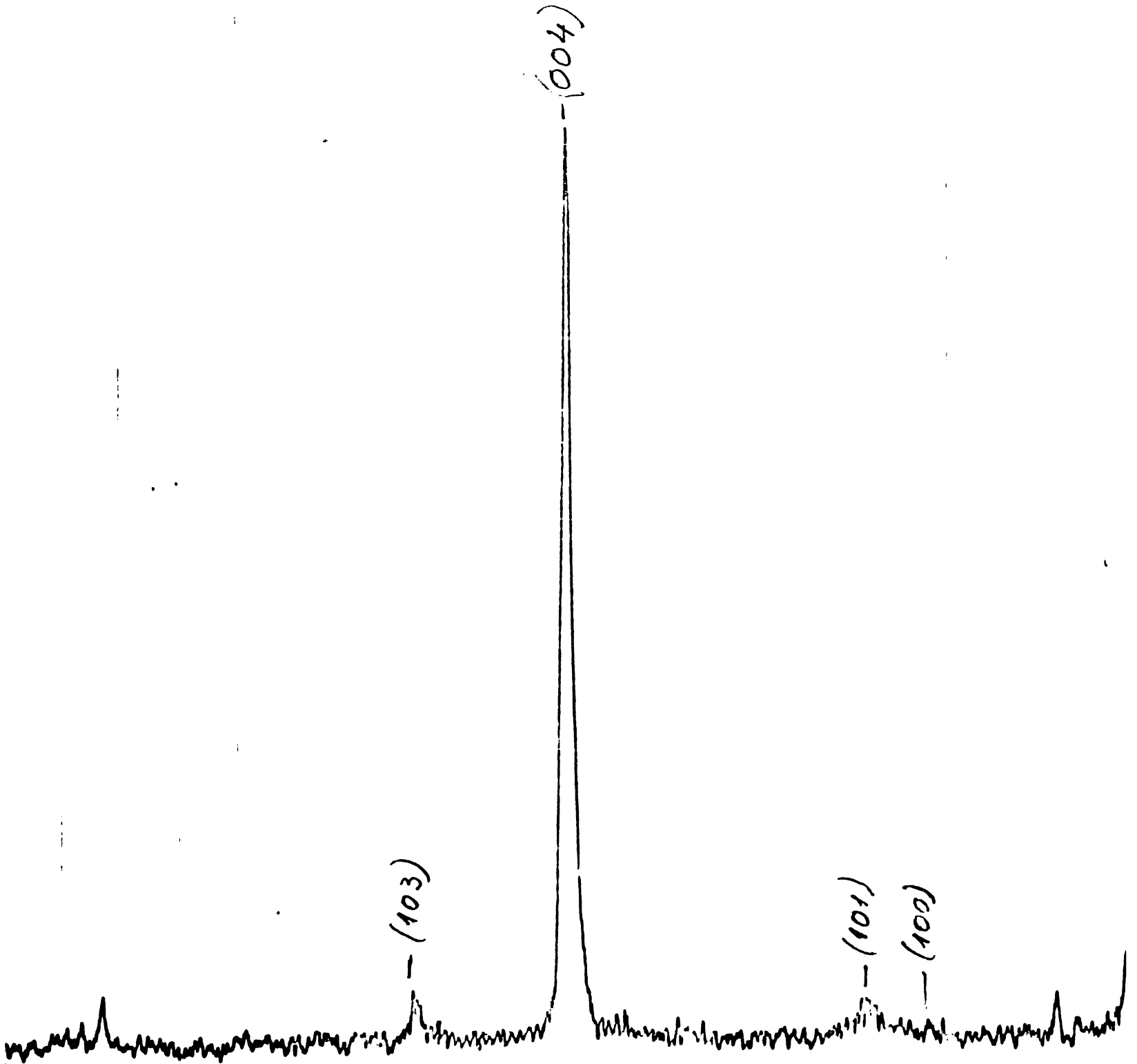


FIG. 70. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL GRAFITULUI PUR.

In figura 71 se prezintă spectrul de difracție a unei probe de "electrod prefabricat parțial grafitat",

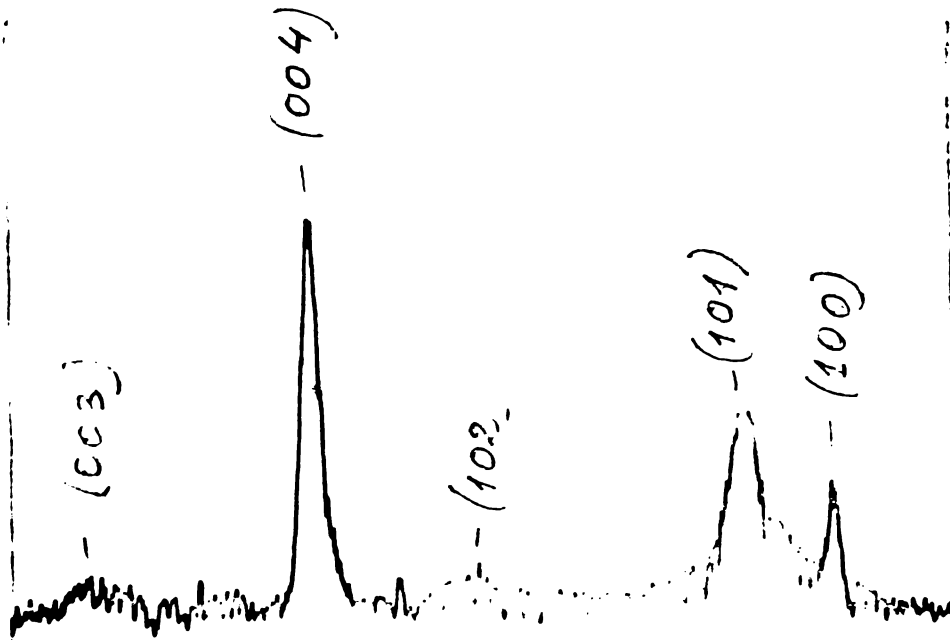


FIG. 71. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD PREFABRICAT, PARȚIAL GRAFITAT. FIRMA: SERS-FRANȚA.

fabricat de firma "SERS" Franța, care se utilizează atât la construcția vetrelor cuptoarelor, cât și ca electrozi de arc la cuptoarele pentru oțel sau feroaliaje. Gradul de grafitizare (calculat pe baza intensității luminii 004 a etalonului) este 30 %.

In continuare sînt prezentate spectrele de difracție a două probe de blocuri carbonice fabricate în țară la Intreprinderea de Produse Cărbunoase Slatina fig.nr.72 electrod calcinat, grad de grafitizare 2 % și figura nr.73 electrod amorf grafitat parțial grad grafitizare 29 %.

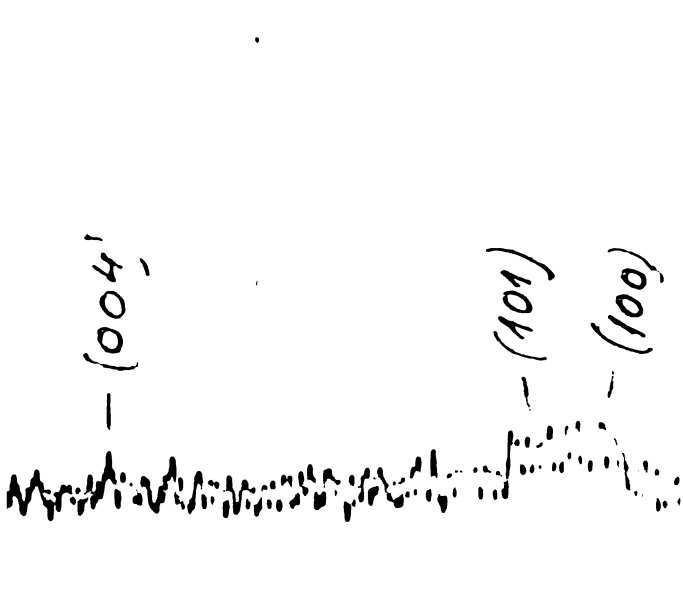


FIG. 72. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD PREFABRICAT CALCINAT (PROV. B.S.R.)

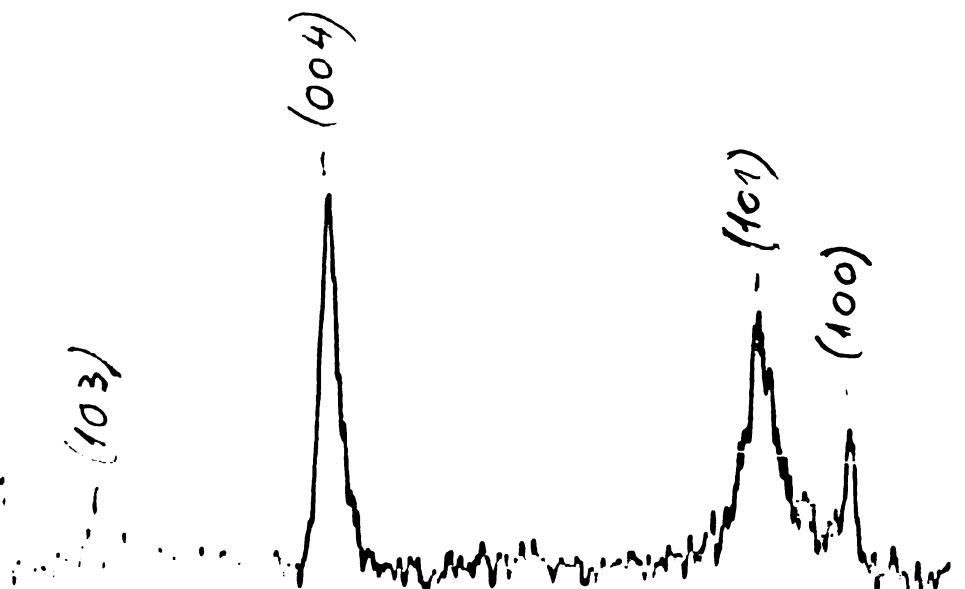


FIG. 73. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD AMORF PARȚIAL GRAFITAT - PREFABRICAT (PROV. SLATINA - R.S.R.)

In figura nr.74 se prezintă spectrul de difracție a unei probe de electrod străpuns înainte de a fi utilizat pentru arderea gurii de scurgere a cuptorului (provenit de la Intreprinderea de produse cărbunoase Slatina) Grad de grafitizare 23 %.

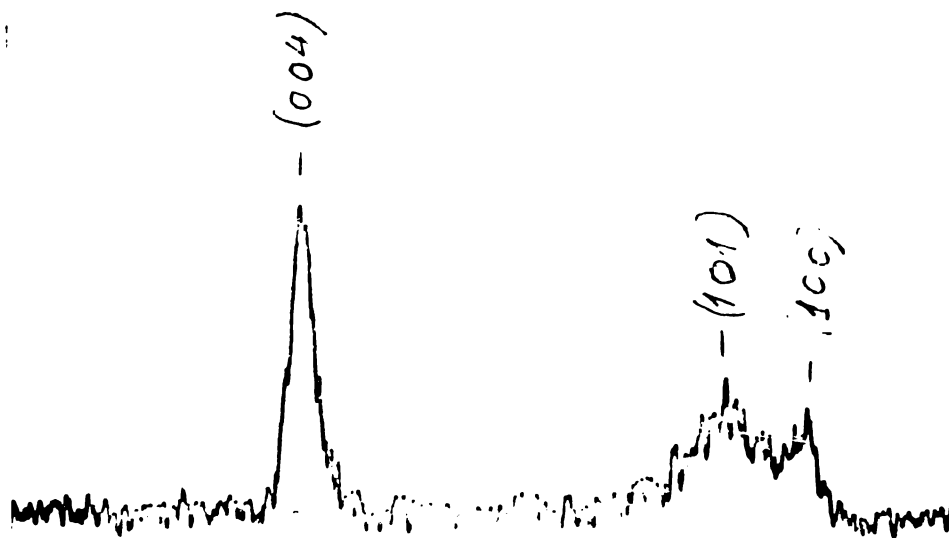


FIG. 74. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD STRĂPUNS FĂRĂ A FI ÎN PREALABIL ÎN ARCUL ELECTRIC.

In figurile nr. 75, 76, 77, 78 sînt prezentate spectrele de difracție a unor probe din acelaș electrod

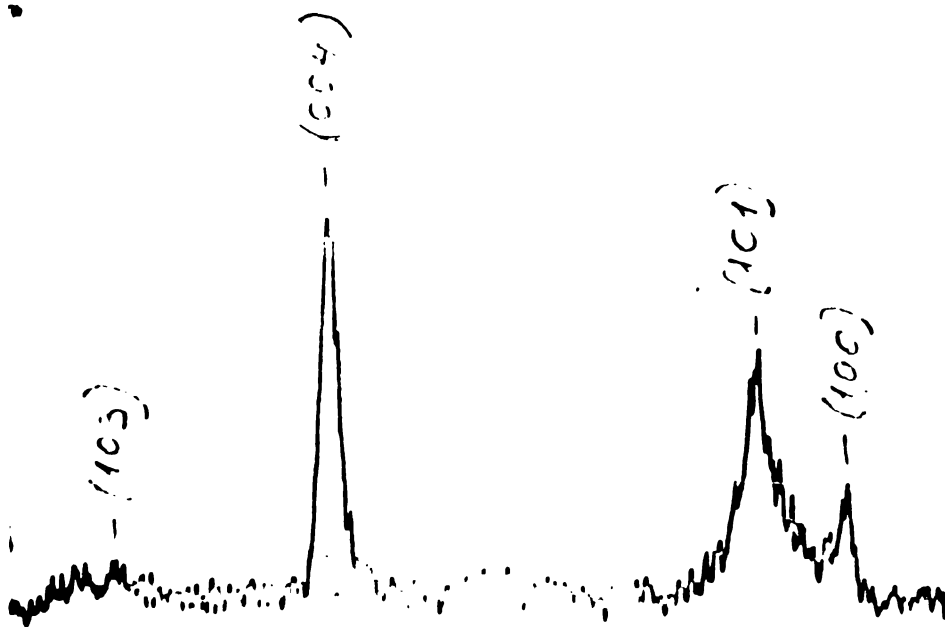


FIG. 75. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD STRĂPUNS CARE A FOST ÎN ARCUL ELECTRIC.

de străpuns (figura 75) care însă a fost utilizat la arcul electric pentru străpuns gura de scurgere a cuptorului. Grad de grafitizare 29 %, 30 %, 27 %, 29 %.

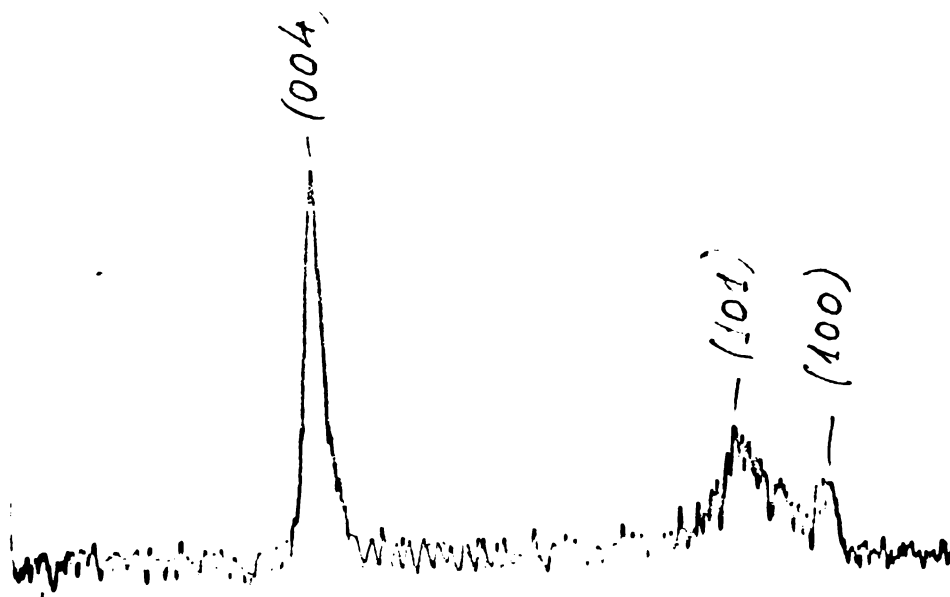


FIG. 76. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD STRĂPUNS CARE A FOST ÎN ARCUL ELECTRIC.

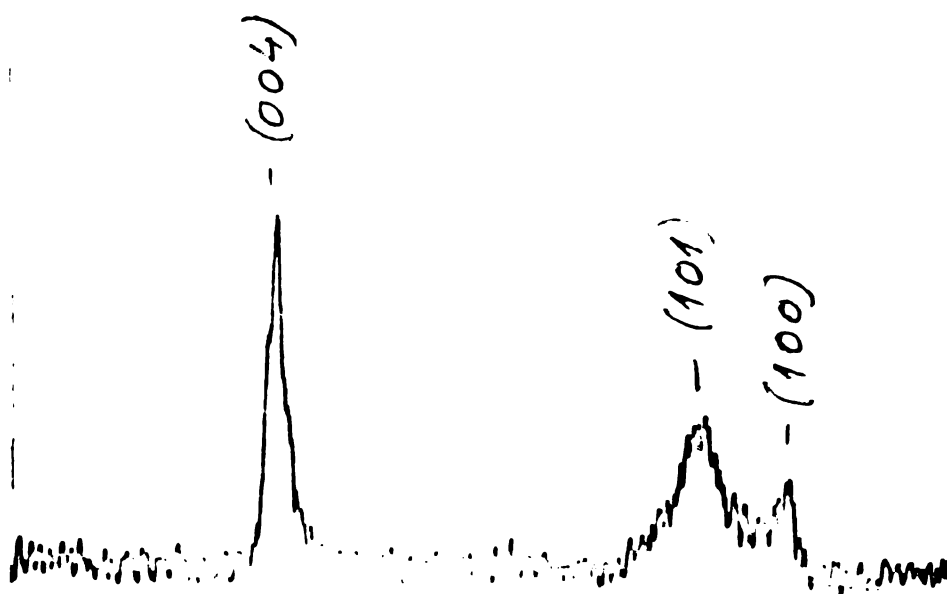


FIG. 77. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD STRĂPUNS CARE A FOST ÎN ARCUL ELECTRIC.

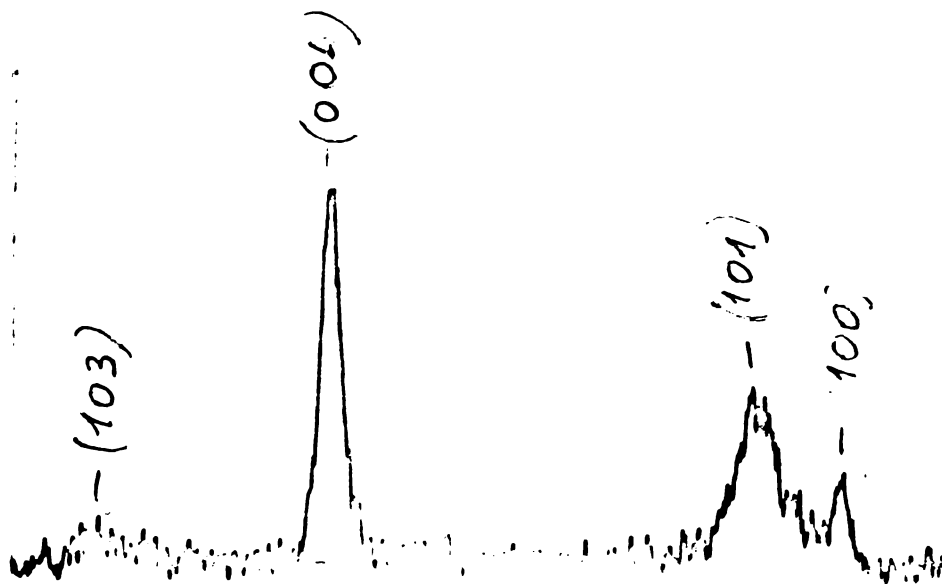


FIG. 78. SPECTRUL DE DIFRACȚIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD STRĂPUNS CARE A FOST ÎN ARCUL ELECTRIC.

O altă gamă de determinări, s-au făcut pe eșantioane de pastă de electrozi calcinată în condițiile de temperatură și presiune, identice cu cele ce se realizează în electrozii Söderberg.

În figurile nr. 79, 80, 81, 82, 83 se prezintă spectrele de difracție ale pastei calcinate la 400, 600, 700, 800 și respectiv 900 °C. Aceste probe, prezintă un grad de grafitizare scăzut 1,6 - 2 %.



FIG. 79. SPECTRUL DE DIFRACȚIE AL UNEI PROBE DE PASTĂ CALCINATĂ LA 400°C.

FIG. 80. SPECTRUL DE DIFRACȚIE AL UNEI PROBE DE PASTĂ CALCINATĂ LA 600°C.

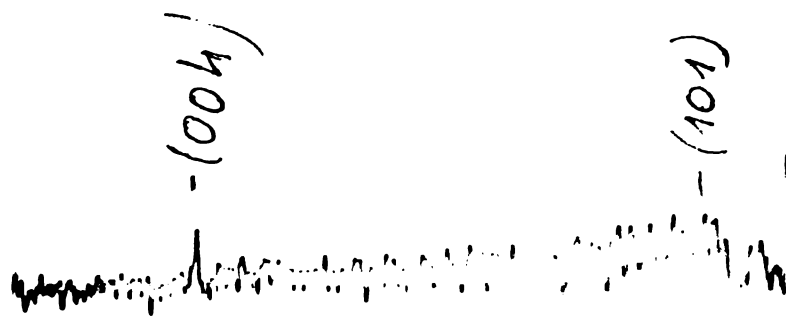


FIG. 81. SPECTRUL DE DIFRACTIE
AL UNEI PROBE DE PASTĂ DE
ELECTROZI CALCINATĂ LA $t^{\circ}=500^{\circ}\text{C}$

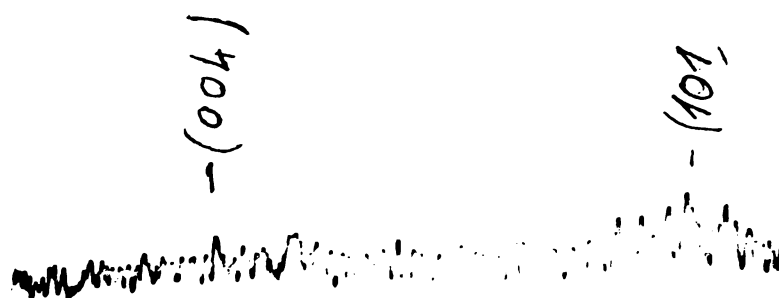


FIG. 82. SPECTRUL DE DIFRACTIE
AL UNEI PROBE DE PASTĂ DE
ELECTROZI CALCINATĂ LA $t^{\circ}=800^{\circ}\text{C}$

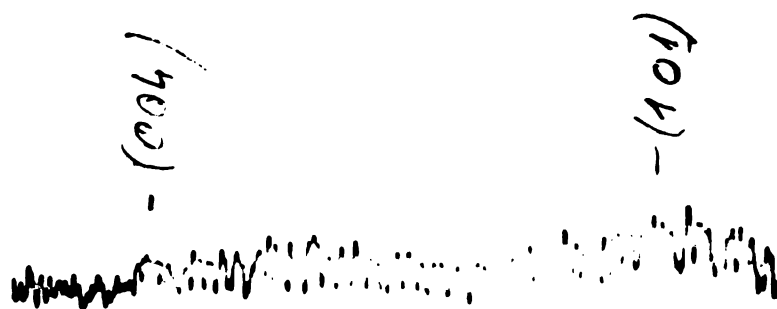
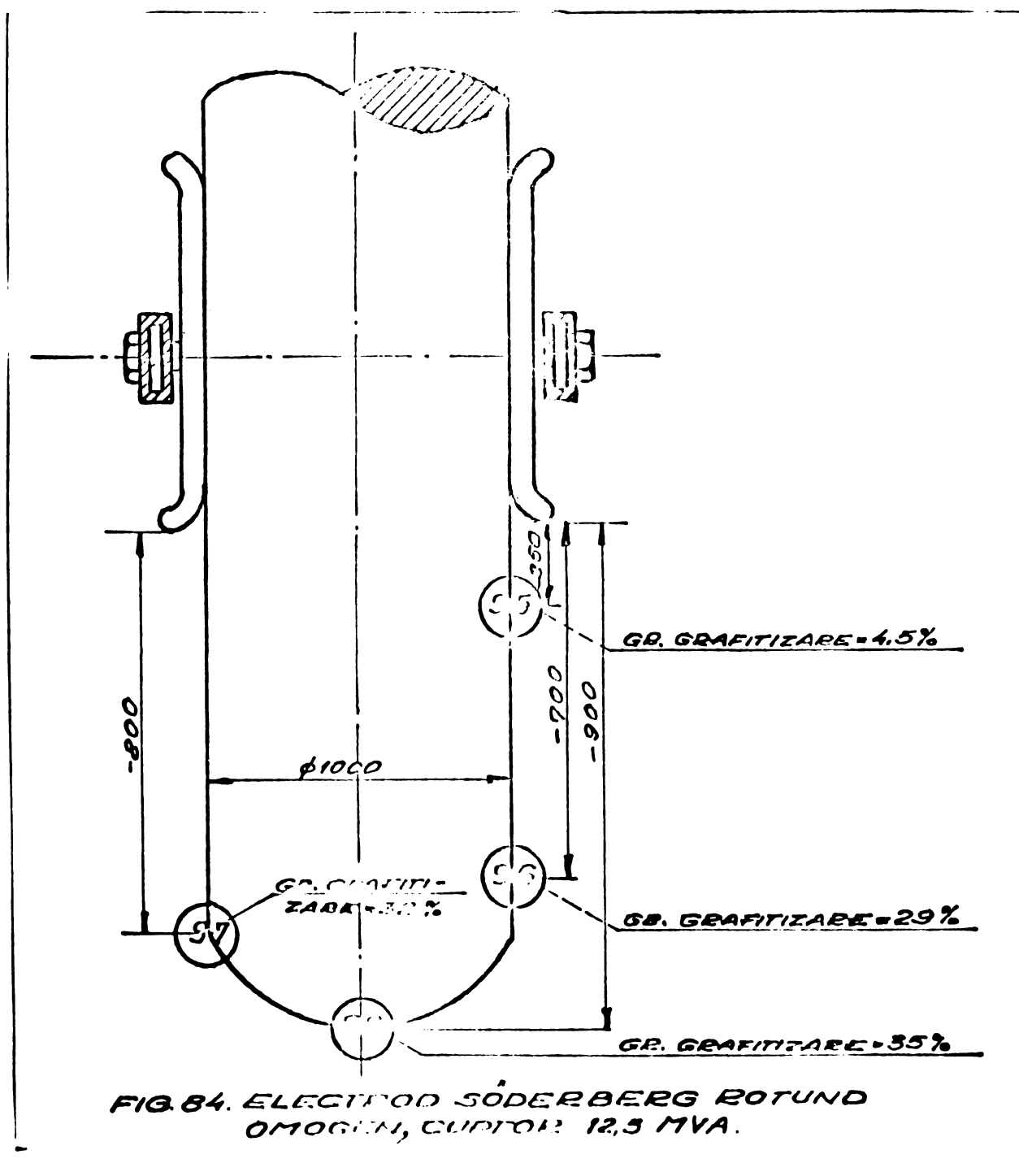


FIG. 83. SPECTRUL DE DIFRACTIE
AL UNEI PROBE DE PASTĂ CALCINA-
TĂ LA $t^{\circ}=300^{\circ}\text{C}$.

In scopul stabilirii zonelor de început a grafitizării mai avansate și a valorii gradului de grafitizare, s-au prelevat și efectuat determinări de la un electrod de formă circulară, a unui cuptor de tip deschis la 12 MVA și a doi electrozi în condiții de formare diferită, de la un cuptor de 40 MVA de tip semideschis.

In figura nr. 84, se prezintă schița electrodului de la cuptorul de 12 MVA cu indicarea locurilor de unde s-au prelevat probele.



In figurile nr. 85, 86, 87, 88 se prezintă spectrele de difracție a probelor indicate în figura nr.84, respectiv în :

- fig.85 poz. 250 mm sub bac contact, grad grafitizare 4,5 %
- fig.86 poz. 700 mm sub bac contact, grad grafitizare 29 %
- fig.87 poz. 800 mm sub bac contact, grad grafitizare 32 %
- fig.88 poz. 900 mm sub bac contact, grad grafitizare 35 %



FIG. 85. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CURTORULUI DE 12MVA DE LA POZ. - 250mm SUB BACUL DE CONTACT.

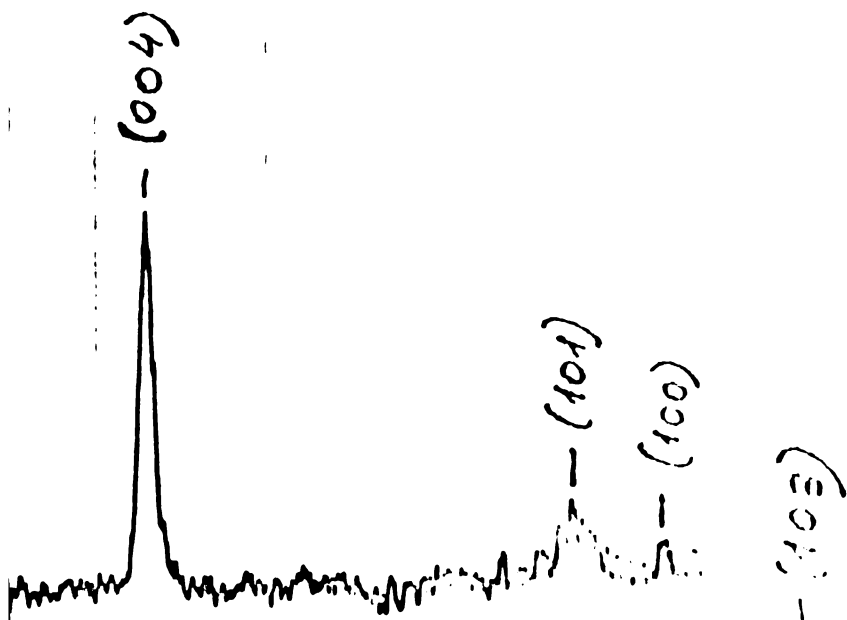


FIG. 86. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CURTORULUI DE 12MVA DE LA POZ. 700mm SUB BACUL DE CONTACT.

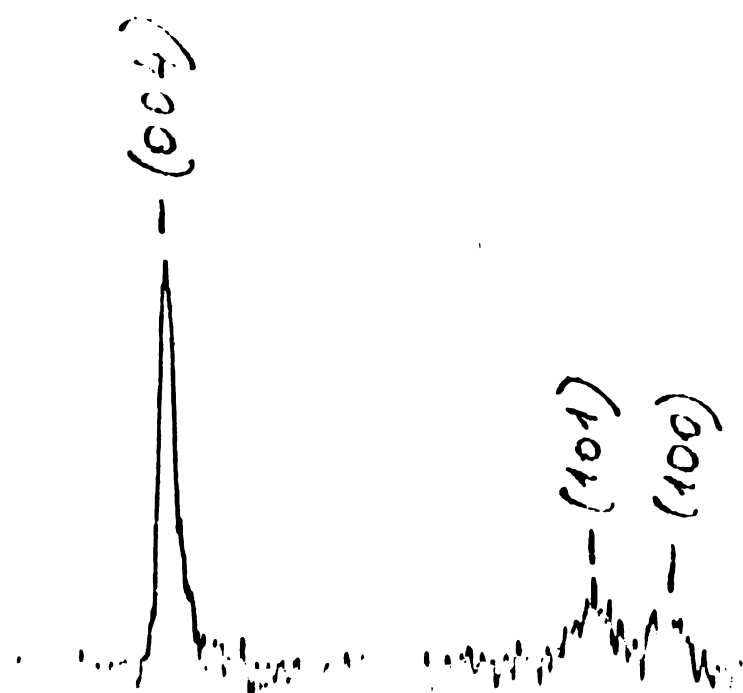


FIG. 87. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CURTORULUI DE 12MVA DE LA POZ. - 800mm, SUB BACUL DE CONTACT.

Proba fig.88 a fost recoltată din axul electrodului, partea inferioară. Electrocul din care s-au prelevat probele a fost de bună calitate, cu aspect omogen și a corespuns din toate punctele de vedere (viteză de coacere, viteză de consum, nivel de coacere, etc) procesului de obținere a carburidului,

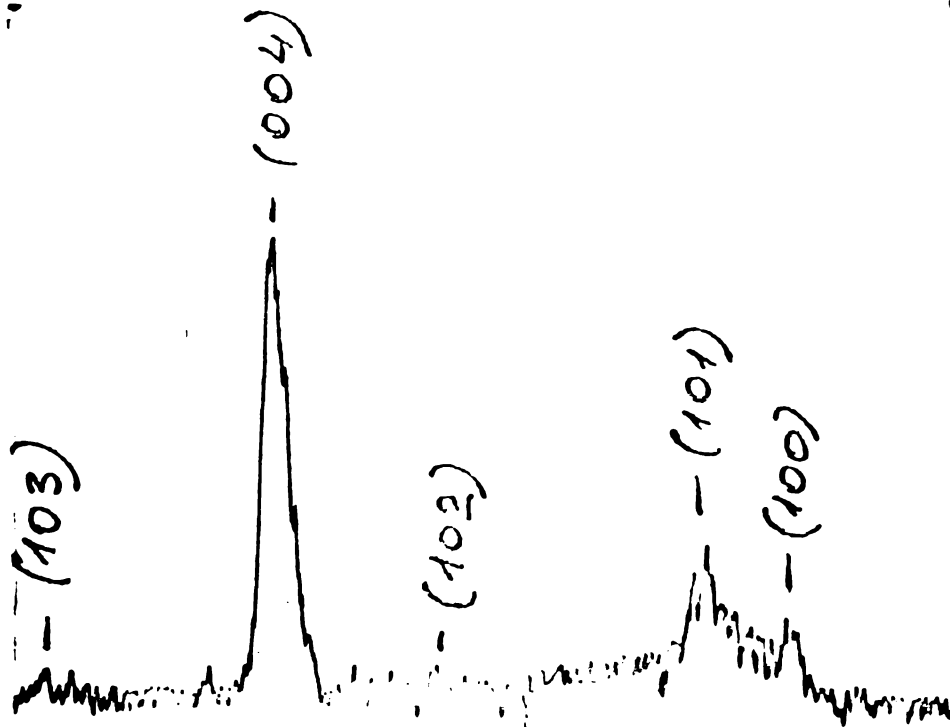
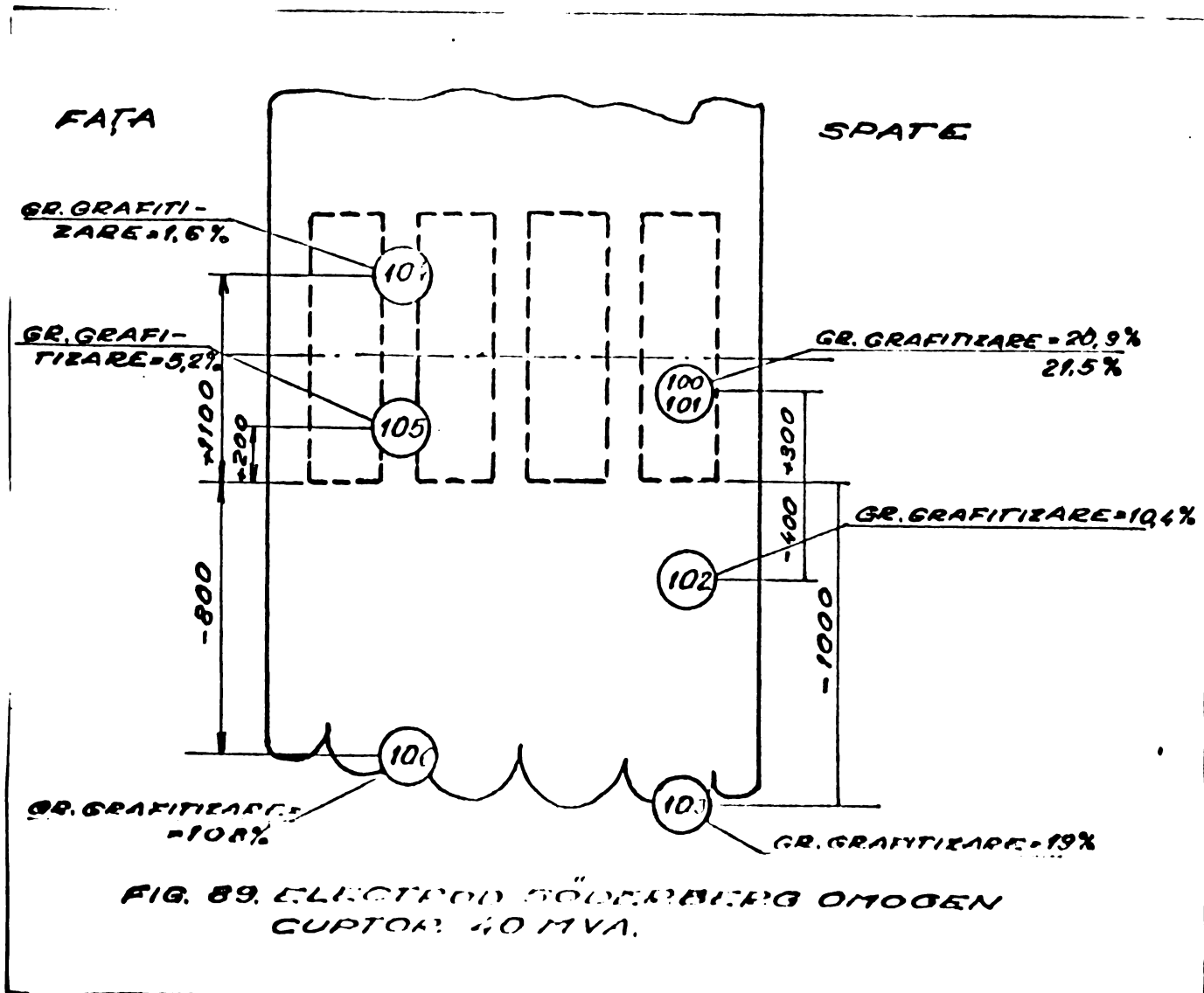


FIG. 88. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTR. CUPTORULUI DE 12 MVA DE LA POZ. - 900mm. (AXUL ELECTRODULUI IN PARTEA INFERIOARA.)

Din datele prezentate în figurile 84 - 88, rezultă un grad avansat de grafitizare, numai spre capătul inferior al electrodului de arc.

În figura nr.89 se prezintă schița unui electrod (faza marginală violentă), de la un cuptor de tip semideschis, cu indicarea locurilor de unde s-au prelevat probele.



Probele s-au prelevat pe două verticale a suprafeței laterale a electrodului spate (90-93) și față (94-96) spre peretele lateral al cuvei. Cota de referință este + - față de partea inferioară a bacurilor de contact.

În figurile 90 - 96 se prezintă spectrele de difracție a probelor indicate în figura 89.

./.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

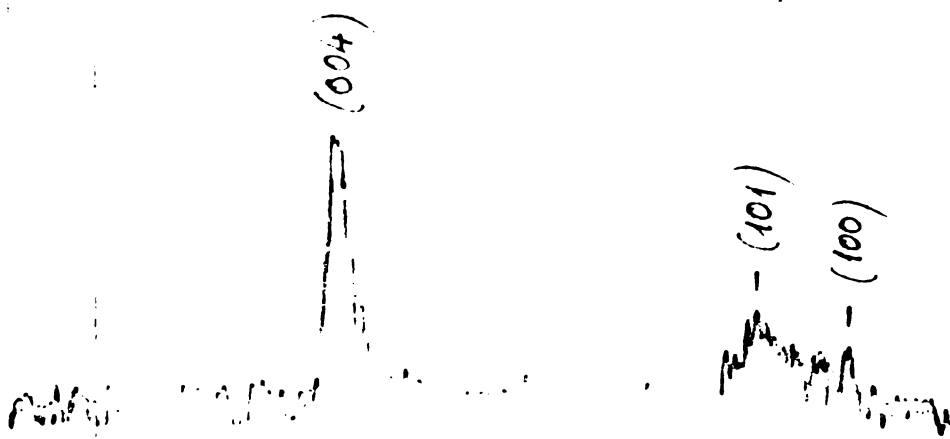


FIG. 90. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CUPR. DE 40MVA DE LA POZITIA +300mm SPATE.

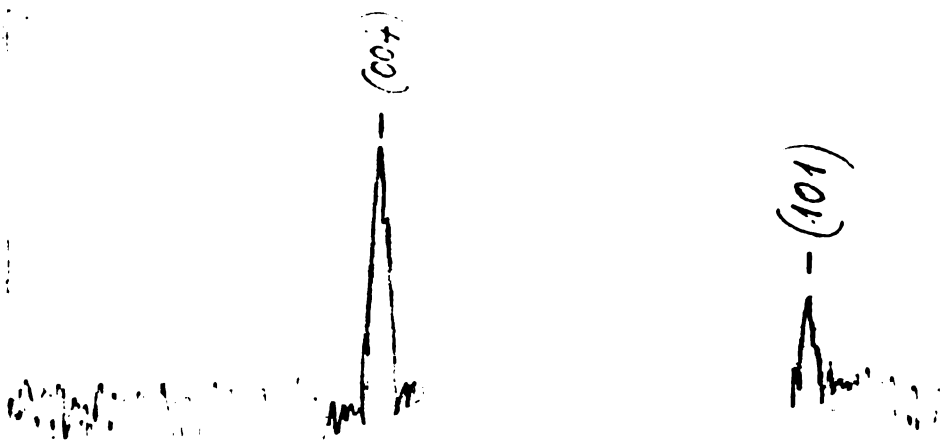


FIG. 91. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CUPRULUI DE 40MVA POZ: +300mm. (OPUSA FATA DE FIG. 89)



FIG. 92. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CUPR. DE 40MVA. POZITIA: -400mm SPATE.

- fig.90 spate poz. + 300 mm grad de grafitizare 20,9 %
- fig.91 spate poz. + 300 mm (fața opusă a electrodului) grad de grafitizare 21,5 %
- fig.92 spate poz. - 400 mm grad de grafitizare 10,4 %
- fig.93 spate poz. -1000 mm grad de grafitizare 19 %
- fig.94 față poz. +1100 mm grad de grafitizare 1,6 %
- fig.95 față poz. + 200 mm grad de grafitizare 5,2 %
- fig.96 față poz. - 800 mm grad de grafitizare 108,0 %

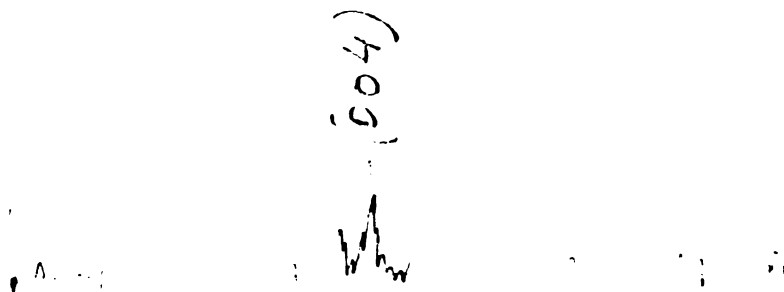


FIG. 93. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CUPTORULUI DE 40 MVA, POZ. - 1000 mm SPATE.



FIG. 94. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CUPT. DE 40 MVA POZ. + 1100 mm FAȚA.

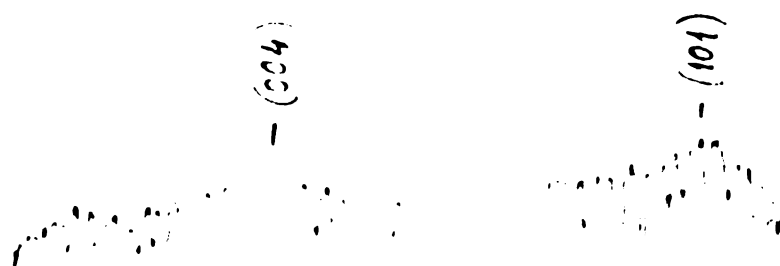


FIG. 95. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CUPT. DE 40 MVA POZ. + 200 mm FAȚA.

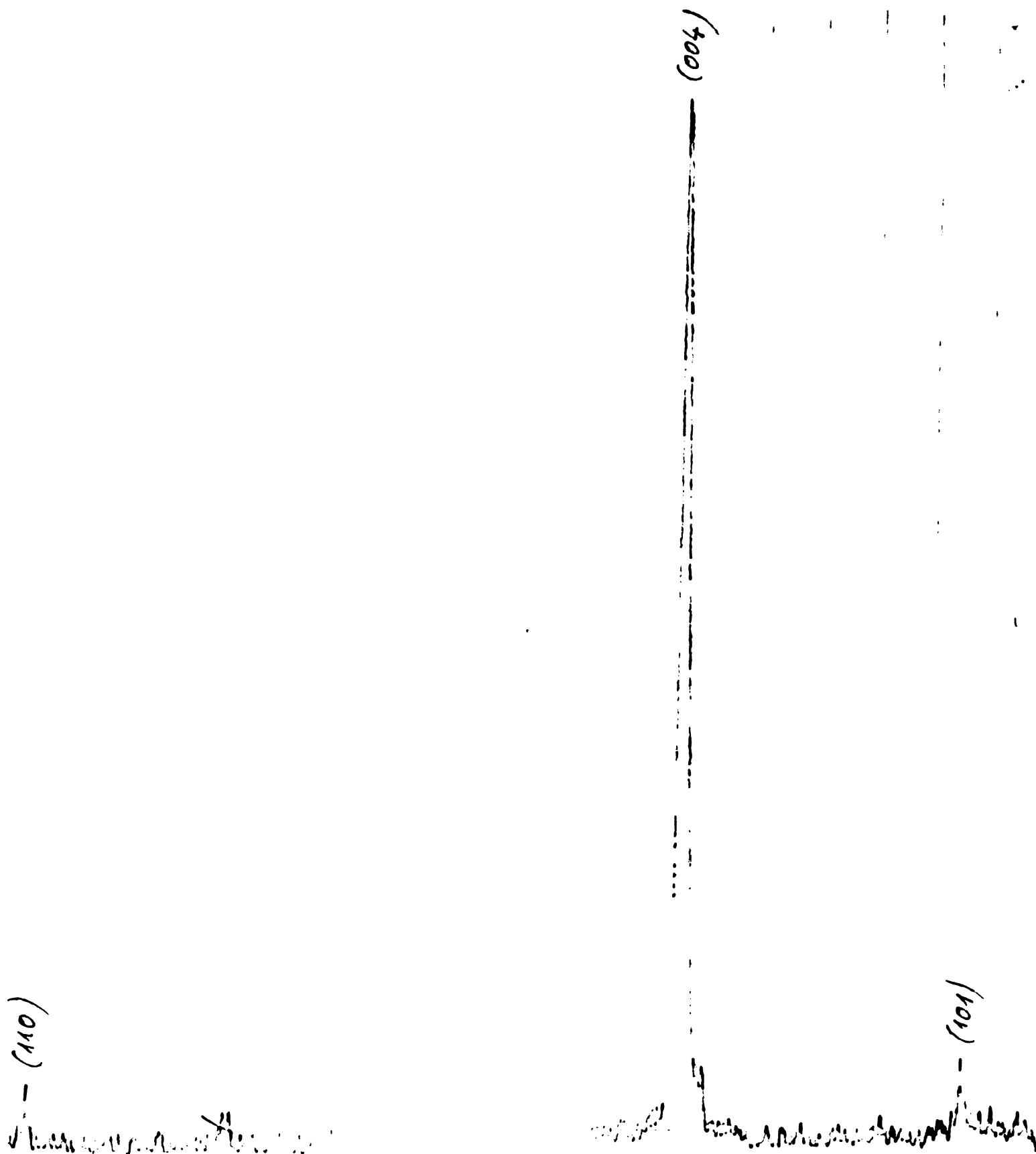
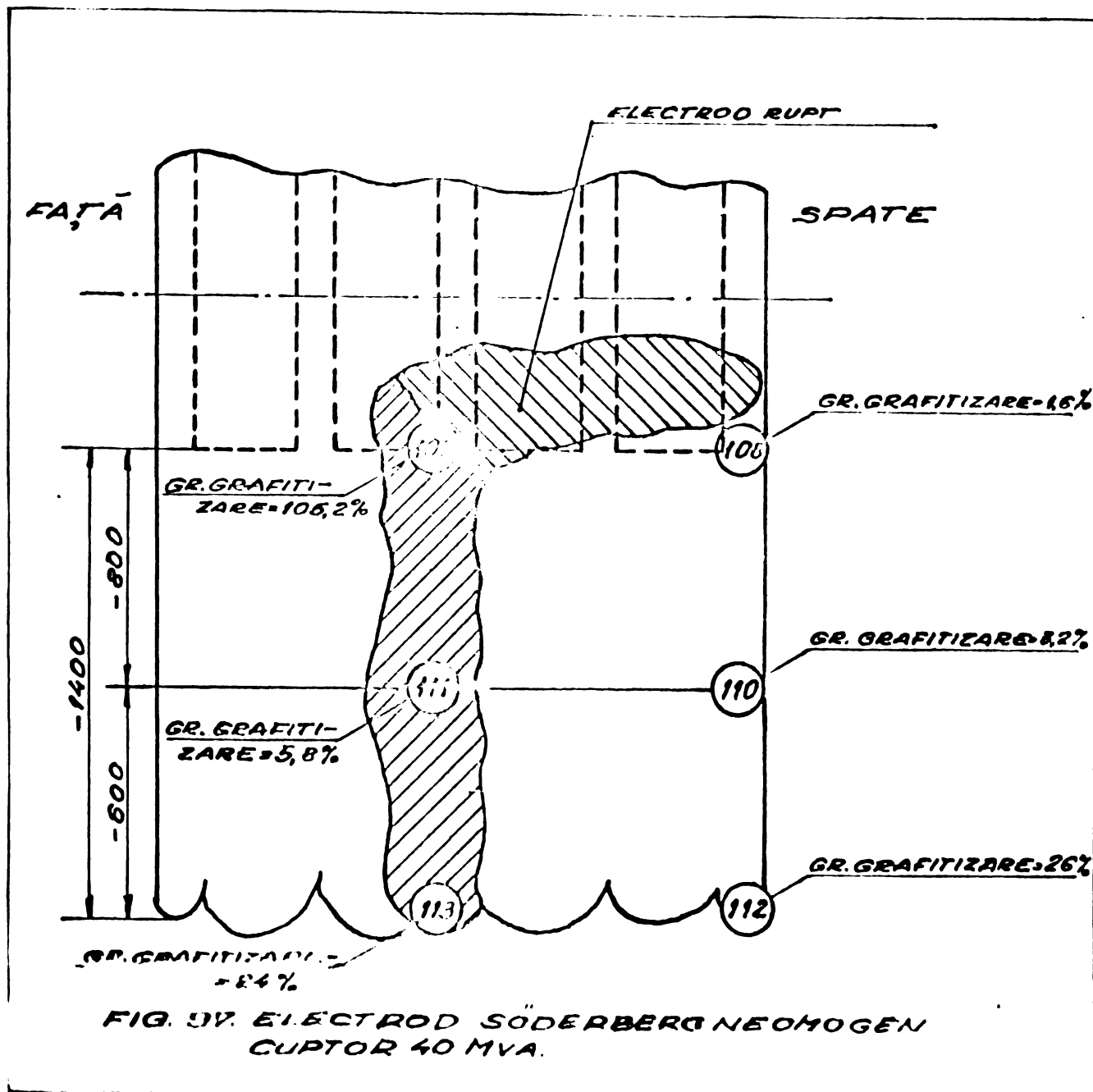


FIG. 96. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DIN ELECTRODUL CUPTORULUI DE 40 MVA POS.-800 mm FAȚĂ.

Din datele prezentate în fig.89-96 rezultă un electrod cu zone foarte diferite de grafitizare. Electrocul în exploatare s-a comportat necorespunzător. Consum ridicat în partea din față (constatat prin lungimea mai redusă 800 mm față de 1000 mm în spate) deteriorarea prematură a suprafeței de contact în zona bacurilor din spate (baza bacurilor nr.5 și 6) aspect neomogen a suprafețelor laterale, etc.

În figura nr. 97 se prezintă un caz limită a unui electrod fază de mijloc, tot de la un cuptor de 40 MVA semideschis, unde din cauza apariției unei zone de grafitizare foarte avansată în zona bacurilor de contact, rezistența mecanică la tracțiune, s-a diminuat în timpul funcționării cuptorului, încât electrodul s-a fisurat cu detașarea unei părți din el.



În figurile 98 - 103, se prezintă spectrele de difracție a probelor indicate în figura 97.

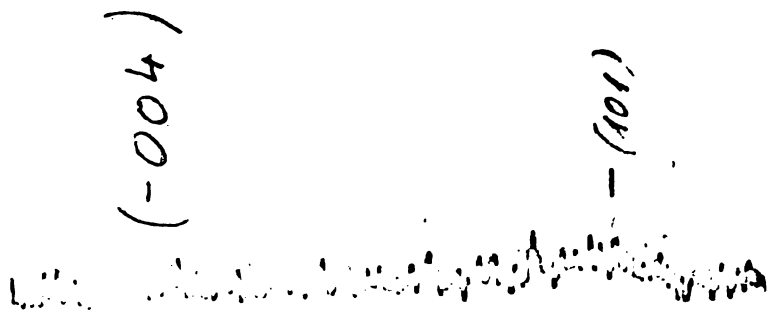


FIG. 98. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE RECOLTATE DINTR-UN ELECTROD NEOMOGEN. (POZ. INDICATĂ ÎN FIG. 97)

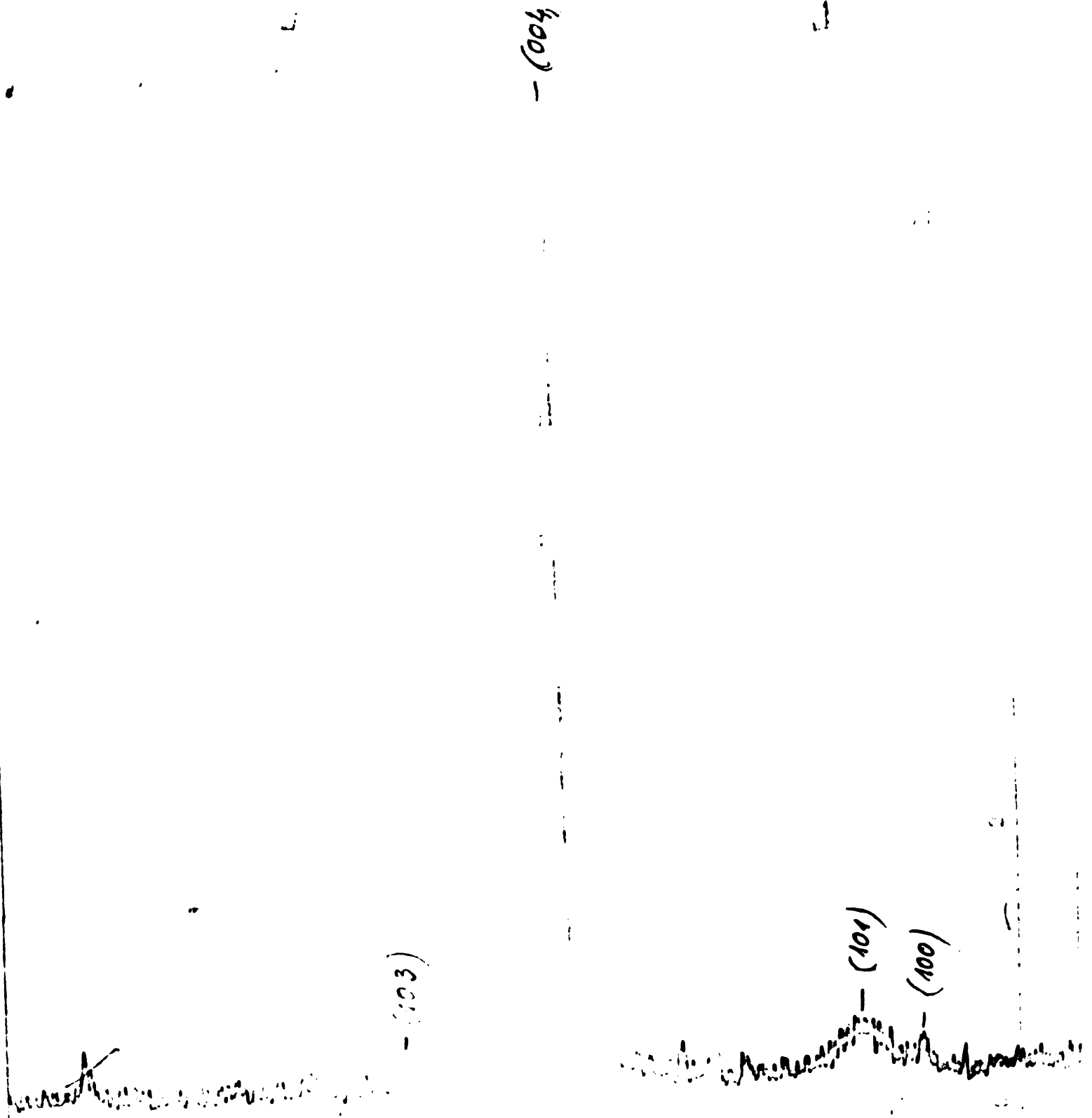


FIG. 99. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DINTR-UN ELECTROD NEOMOGEN (POZ. INDICATĂ ÎN FIGURA 97)

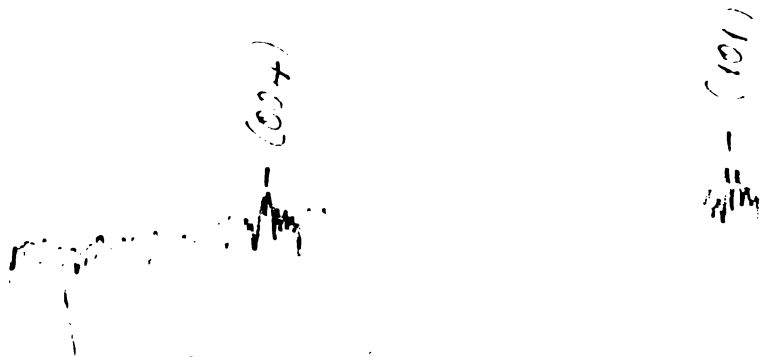


FIG. 100. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DINTR-UN ELECTROD NEOMOGEN (POZ. INDICATA IN FIG. 97)



FIG. 101. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DINTR-UN ELECTROD NEOMOGEN (POZ. INDICATA IN FIG. 97)

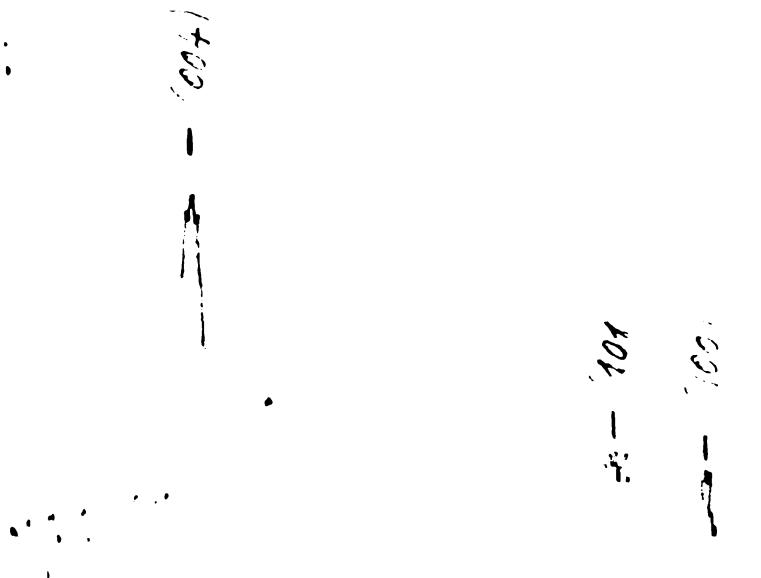


FIG. 102. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DINTR-UN ELECTROD NEOMOGEN (POZ. INDICATA IN FIG. 97)



FIG. 103. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DE ELECTROD NEOMOBEN. (POZ. INDICATA IN FIG. 97)

Se constată la proba fig.99 un grad de grafitizare deosebit de avansat 105,2 %, iar pe aceeași verticală spre vârful electrodului la poz. + 800 mm, de la partea inferioară a bacurilor de contact un grad de grafitizare mai mic 5,8 % (normal)

In figura 104 se prezintă schița unui electrod de la un cuptor de 40 MVA de tip semideschis cu locurile

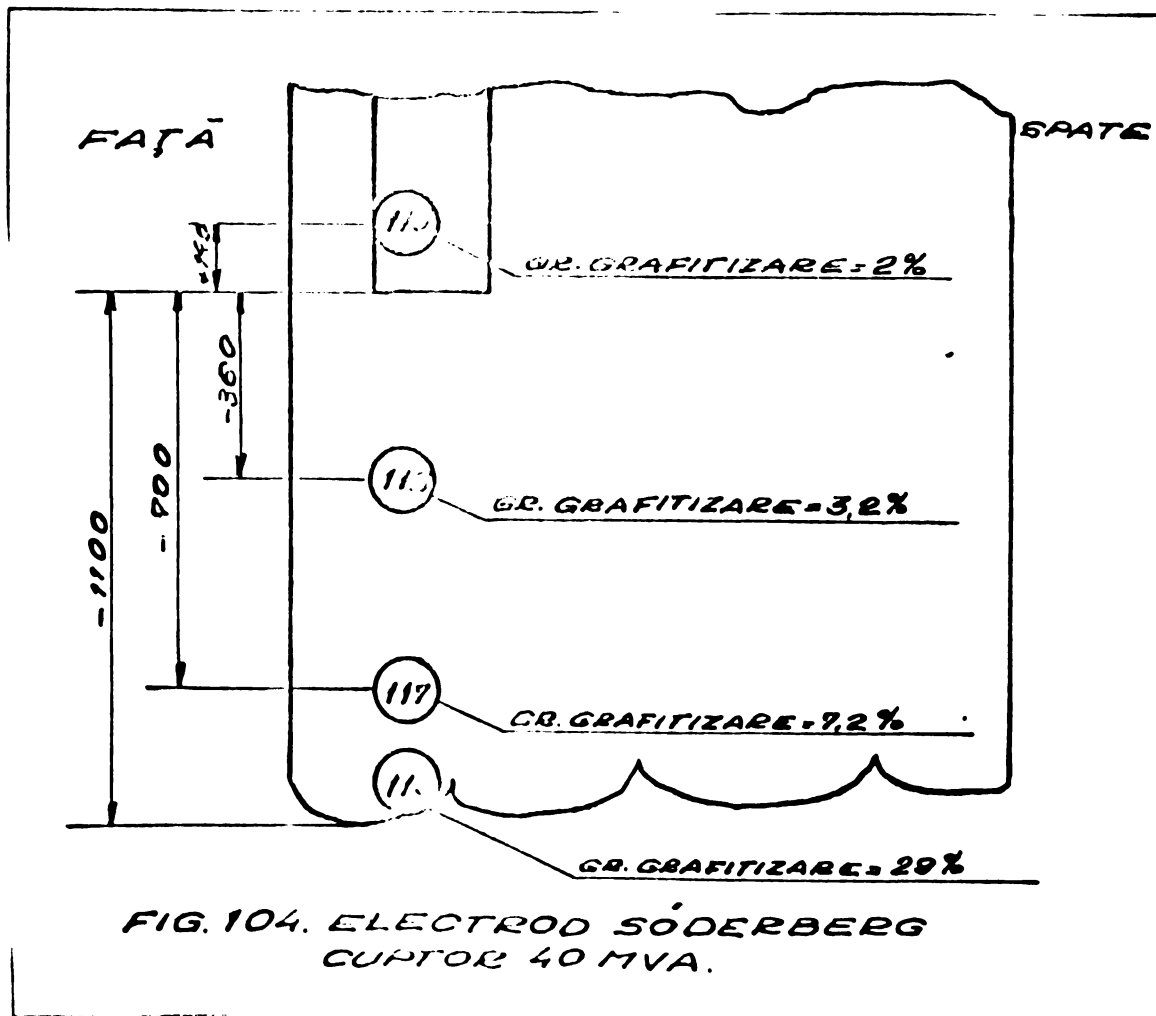


FIG. 104. ELECTROD SÖDERBERG CUPTOR 40 MVA.

de prelevare a 4 probe. Probele au fost prelevate pe verticala axului primului bec, spre partea laterală (faza 1)

In figurile 105 - 106 - 107 - 108 se prezintă spectrele de difracție a probelor indicate în figura 104.

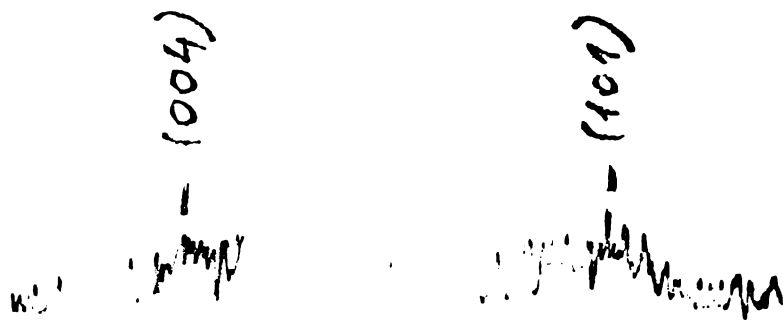


FIG. 105. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DIN ELECTRODUL CUPATORULUI DE 40 MVA, POZ. +140 mm.



FIG. 106. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DIN ELECTRODUL CUPATORULUI DE 40 MVA POZ. -360 mm



FIG. 107. SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DIN ELECTRODUL CUPATORULUI DE 40 MVA, POZITIA -700 mm.

INSTITUTUL DE RECHERȚE ȘI
TEHNOLOGIE
BIBLIOTECA GENERALĂ

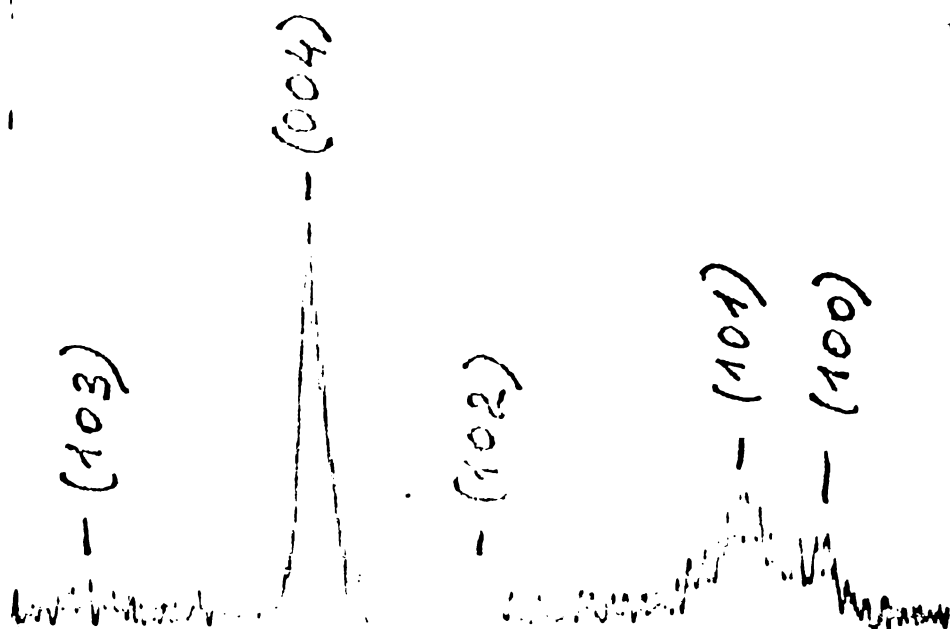


FIG. 108 SPECTRUL DE DIFRACTIE AL UNEI PROBE DIN ELECTRODUL CUPTORULUI DE 40 MVA POZ. + 1100 mm (VÎRFUL ELECTRODULUI)

- fig. 105 poz. + 140 mm de la partea inferioară a bacului de contact, grad de grafitizare 2,0 %
- fig. 106 poz. + 360 mm de la partea inferioară a bacului de contact, grad de grafitizare 3,2 %
- fig. 107 poz. - 700 mm de la partea inferioară a bacului de contact, grad de grafitizare 7,2 %
- fig. 108 poz. -1100 mm de la partea inferioară a bacului de contact, grad de grafitizare 29 % (vîrful electrodului)

Din datele prezentate mai sus rezultă o creștere a gradului de grafitizare al electrodului spre capătul de arc al acestuia. Electrocul a fost de bună calitate, omogen și s-a comportat bine în procesul tehnologic.

În urma studiului efectuat asupra gradului de grafitizare a electrozilor Söderberg de diferite calități, de la două tipuri de cupatoare electrice (12 MVA și 40 MVA) rezultă următoarele concluzii :

- electrocul Söderberg care se comportă bine în procesul tehnologic pentru obținerea carbidului, are gradul de grafitizare în zona de arc (zona spațiului gazos) identic cu al electrozilor prefabricați și anume 29 - 35 %.

./.

- pentru a corespunde condițiilor de conductibilitate electrică, rezistența mecanică și consum, grafitizarea electrodului Söderberg peste 10 %, este indicat a se realiza numai la un nivel maxim de cca. 300 - 400 mm de vârful electrodului.

Avansarea gradului de grafitizare spre zona bacurilor de contact, conduce întotdeauna la întreruperi ale procesului de fabricație, ca urmare a fisurilor sau ruperilor de electrod.

- grafitizarea electrozilor pentru străpuns orificiul de scurgere al cuptorului, continuă în timpul introducerii acestora în arcul electric.

- cu toate că materiile prime din care se obține electrodul Söderberg conțin grafit, electrodul cocsificat are grad de grafitizare redus. Se presupune că procesul de măcinare a componentelor șarjei pentru masa carbonică, modifică structura de cristalizare a acestora.

Pentru obținerea unor electrozi Söderberg cu grad de grafitizare corespunzător, cuprins între 29 - 35 %, în zona de arc și fără extinderea acesteia înspre bacurile de contact, este necesară conducerea procesului tehnologic din baia de topitură la un regim termic cât mai constant, fără ridicarea peste limita admisă a băii și evitarea unei incandescențe ridicate a gazelor rezultate din reacția de formare a carbidului. Este necesar la fel să se mențină un echilibru perfect între viteza de cocsificare a electrodului și viteza de consum.

Procesul tehnologic insuficient controlat și stăpînit, poate conduce la supraîncălziri locale ale electrozilor sau băii propriu-zise, care conduc la o grafitizare foarte avansată (vezi figura 97 proba nr.99 și figura 89 proba nr.96) cînd incidentul de fabricație nu mai poate fi evitat.

3.3. STUDII PRIVIND ENERGETICA CUPTOARELOR ELECTRICE CU ARC PENTRU OBTINEREA CARBIDULUI [15, 29, 30, 37, 79]

Arcul electric este unul din tipurile de descărcare a curentului electric în gaz. Mediul gazos singur nu este bun conducător de electricitate, totuși în unele condiții el poate deveni bun conducător. Factorii care creează aceste condiții sînt de exemplu ; razele ultraviolete, Röntgen sau cosmice, care provoacă ionizarea mediului gazos, prin apariția în gaz a electronilor liberi și a ionilor încărcăți electric. Sub acțiunea unei tensiuni aplicate se realizează astfel trecerea curentului electric prin gaz. La o creștere corespunzătoare a tensiunii, apar în gaz descărcări luminoase, ce constituie de fapt arcul electric. Prin creșterea tensiunii, se mărește viteza de mișcare a particulelor către electrozi ce asigură curentul procesului de arc, cea mai mare parte din ei ajungînd pe electrozi și în acest fel, se mărește curentul care se scurge prin gaz.

Arcul se formează într-un spațiu îngust dintre suprafața frontală a electrodului și topitură și reprezintă un conductor gazos, a cărui temperatură atinge cîteva mii de grade. Studiul descărcării în arc la cuptoare este complex datorită acțiunii magnetice pe care o exercită asupra conductorului gazos, curenții ce străbat electrozii, curenții ce străbat topitura, precum și prezența echipamentului metalic, care este așezat asimetric față de electrod. [10]

Arcul electric la curentul continuu se compune dintr-o zonă centrală de culoare violetă și o regiune înconjurată de culoarea galben - verde. Catodul de obicei ia forma unui con, iar anodul formează un crater convex din care erup particulele de suprafață încărcate pozitiv. Pe suprafața catodului apare o pată mai deschisă care formează baza coloanei arcului.

Temperatura electrozilor (anod - catod) și a petei catodice depinde de materialul electrodului, de conductibilitatea lui termică, de gradul de evacuare a căldurii și de temperatura lui de evaporare.

In tabelul nr.21 sînt specificate temperaturile zonelor anodice și catodice pentru electrozii din anumite materiale.

Tabelul nr.21

Temperaturile zonelor anodice și catodice pentru diferiți electrozi

Materialul electrodului	Cu	Fe	Ni	W	Al	Mg	Zn	C
- temperatura de fierbere	2300	2450	2400	5100	1800	1100	900	4200
- temperatura petei anodice	2430-2450	2535-2565	2430-2450	4150-4250	3400	3000	2300	4200-4300
- temperatura petei catodice	-	2430	2365	3000	3450	2350	3000	-

La curentul continuu dependența tensiunii din arc de curentul lui, la o schimbare lentă a acestuia, poartă denumirea de caracteristică statică și corespunde următoarei expresii dată de Airton [70.]

$$U = \alpha + \beta l + \frac{\gamma + \delta l}{I}$$

în care ;

U - tensiune din arc în volți

I - intensitate în amperi

l - lungimea arcului în mm

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ - constante care depind de materialul electrozilor și de mediul din arc.

Valoarea după Airton a acestor constante pentru electrozi de cărbune și de fier este următoarea :

Electrozii C₊ - C₋

$$\alpha = 38 ; \quad \beta = 1,8 ; \quad \gamma = 1,9 ; \quad \delta = 12,6$$

Electrozii Fe₊ - C₋

$$\alpha = 12,8 ; \quad \beta = 2,0 ; \quad \gamma = 24,3 ; \quad \delta = 1,0$$

Caracteristica dinamică a arcului electric este explicată prin variația curentului din arc cauzată de starea diferită de temperatură a spațiului arcului.

La curentul alternativ caracteristicile arcului variază esențial față de curentul continuu și în special nu poate exista o caracteristică statică a arcului, deoarece curentul și deci și starea termică a spațiului gazos variază continuu, există deci numai caracteristica dinamică care are forma din figura 109. [70]

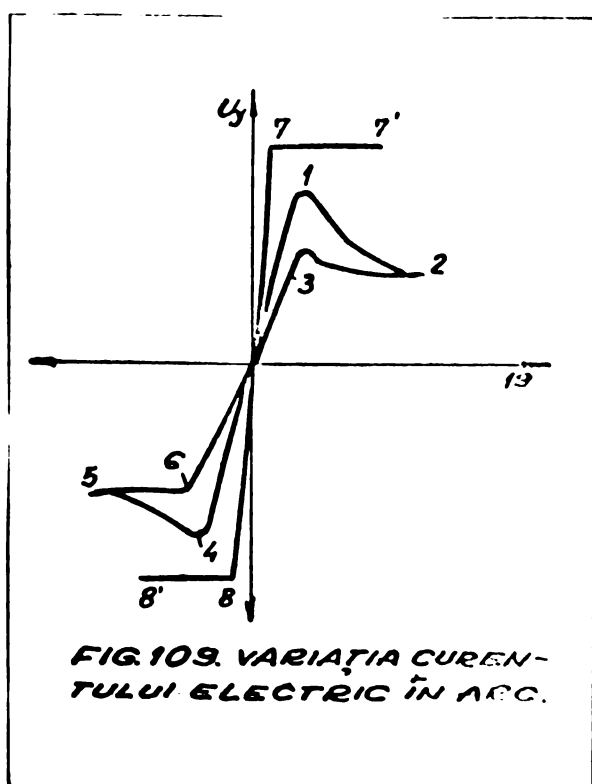


FIG. 109. VARIATIJA CURENTULUI ELECTRIC ÎN ARC.

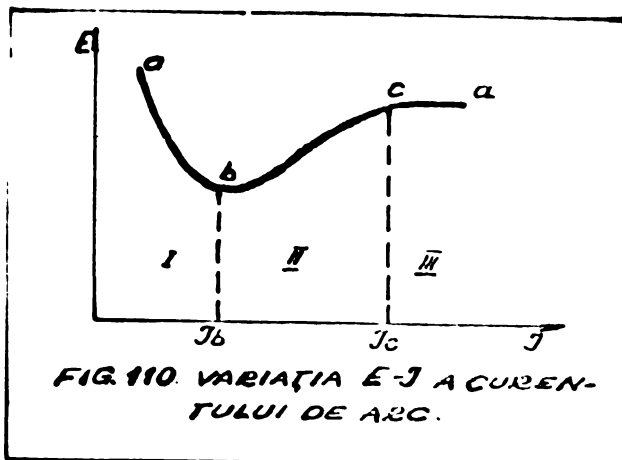
Intrucât la sfârșitul fiecărei semiperioade, după întreruperea curentului, ionizarea spațiului gazos este mai mare decât la începutul ei, tensiunea de stingere a arcului U_2 este mai mică decât tensiunea ei de aprindere U_1 , din care cauză caracteristica voltampermetrică a arcului de curent alternativ, capătă forma unei bucle 1-2-3 sau 4-5-6.

La curenții mari, tensiunile U_1 și U_2 se echilibrează și caracteristica dinamică, capătă aspectul a două drepte 7 - 7' și 8 - 8'.

Curba curentului cât și curba tensiunii din arc se deosebesc de o sinusoidă.

Pentru arcuri electrice de mică putere și de o lungime constantă, este caracteristică scăderea tensiunii arcului odată cu creșterea intensității curentului. Odată cu creșterea puterii arcului, crește și tensiunea corespunzătoare creșterii curentului, iar la arcuri de puteri mari și foarte mari (densitatea de curent de mii de amperi pe cmp) la arcuri cu lungimi constante, tensiunea nu variază funcție de intensitatea curentului.

./.



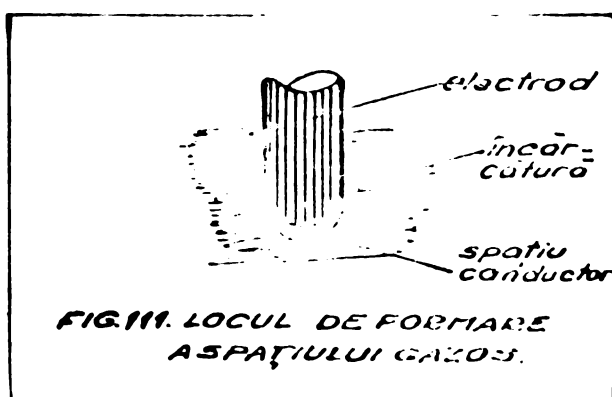
In figura nr.110 se prezintă variația curent - tensiune, la diferite puteri ale arcului.

Din punct de vedere energetic, arderea stabilă a unui arc, are loc atunci când energia furnizată arcului din rețea este egală cu energia pierdută prin radiația, convecția și conductibilitatea termică a mediului de reacție și a electrozilor.

Intrucât conductorul gazos din arcul electric, constituie o zonă din circuit, prin care trece un curent destul de puternic, fluxul magnetic format de curent, exercită o acțiune comprimantă, vizibilă asupra conductorului gazos din arc.

La cuptoarele industriale, comportarea și caracteristicile arcului, cât și tehnologia propriu-zisă, sînt influențate de numeroși factori, care la rîndul lor determină forma și tipul cuptorului.

Formarea arcului la cuptoarele electrice pentru reducerea minerourilor este variată și dependentă de produsul obținut. In unele cazuri (de exemplu la topirea FeW)este un arc voltaic bine determinat, asemănător cu arcul voltaic din cuptoarele de topit oțel. In alte cazuri când electrodul este cufundat în încărcătură, are loc un proces mixt. In aceste cazuri la vîrfurile electrodului, apare un spațiu gazos, bun conducător termic și electric, care preia o mare parte din căderea totală de tensiune. In figura 111, se prezintă, locul de formare a spațiului gazos.



Prezența spațiului gazos, în procesele de elaborare a carburii de calciu, ferrosiliciului, fosforului, electrocorindonului și concentratelor metalice, a fost confirmată prin creșterea instantanee a curentului, la coborîrea bruscă a electrodului, spre vatră, când s-a distrus spațiul gazos.

După academicianul rus V.F.Mitchevici [70] valoarea presiunii spațiului gazos se determină cu relația :

$$f = N \cdot m \cdot v.$$

în care :

- f - presiunea mecanică a curențului de electroni
- N - numărul de electroni/secundă, care străbat spațiul gazos
- m - masa electronului
- v - viteza electronului în coloana gazoasă

Rezultă deci că stabilitatea conducătorului gazos va crește cu tensiunea curențului utilizat.

După studiile aceluiași academician, absorbția energiei în procesul de arc se face de către :

- electrozii de arc
- în contactul dintre vârful electrodului și topitură
- topitura sau zgura din jurul electrodului
- topitura de pe vatra cuptorului

Pierderile de energie din electrozii de arc și din topitura de pe vatră, sînt constante și neglijabile, putîndu-se deci stabili că parametrii care caracterizează procesul sînt ;

- a) partea de energie absorbită în contactul dintre electrozi și încărcătură, în arc sau în spațiul gazos ;
- b) partea de energie absorbită de topitura din jurul electrozilor.

Notînd primul parametru cu "p" și al doilea cu "q" procesele care se desfășoară în cuptoarele electrice se pot grupa în :

1. Procesele la care $p > q$
2. Procesele la care $p < q$

- în procesul de formare a carburii de calciu arcul se formează între vârful electrodului și încărcătură.

Principala energie se degajă în arc în procesul $p < q$, care are loc conform schemei din figura 112 a.

./.

- procesele de formare a ferocromului, ferossiliciului, ferovolfraamului sînt asemănătoare cu cel al C_2Ca cu deosebirea că spațiul de topire este mai bine definit p q.

- în procesele de topire a electrocorindonului, mulitei și magnezitei $q \approx 0,25$ p. Procesele au loc conform schemei din figura 112 b.

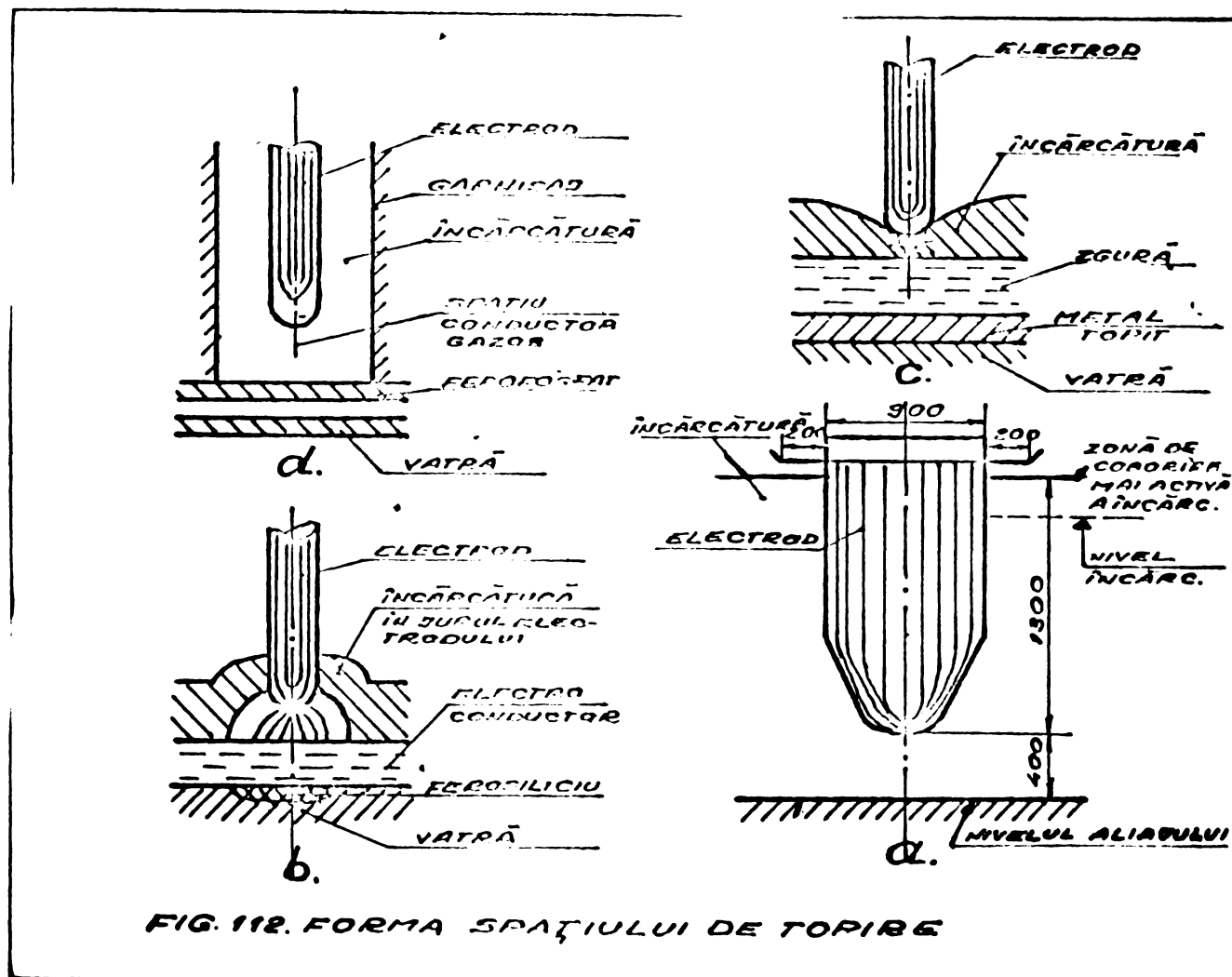


FIG. 112. FORMA SPAȚIULUI DE TOPIRE

- în procesele de topire a concentrațiilor unde rezultă o mare cantitate de zgură.

$q = 0,33$ p. Procesele au loc după schema fig. 112 c.

- în procesul de sublimare a fosforului $q > p$. Procesul are loc conform schemei fig. 112 d.

Energia utilizată în procesul de arc este proporțională cu parametrul "q" și se poate exprima :

$$I^2 r = q w, \text{ în care :}$$

r - rezistența electrică a topiturii

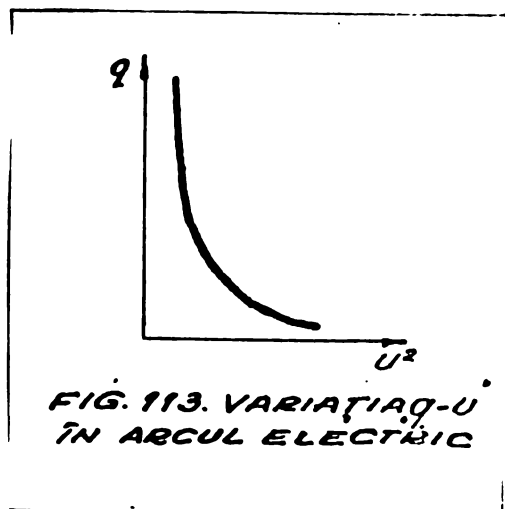
q - coeficientul care determină procentul de energie absorbită de topitură și care este în medie 0,2 - 0,25.

w - energia totală ($w = U \cdot I \cdot \cos \varphi$)

Din relația de mai sus valoarea intensității curentului va fi :

$$I = \sqrt{\frac{q W}{r}} \quad \text{sau} \quad U^2 q = \frac{r W}{\cos}$$

Reprezentând grafic valorile lui r , w , $\cos \varphi$, se obține o hiperbolă cu coordonatele q și U^2 (figura 113)-



Rozultă deci că la putere și $\cos \varphi$ constant, creșterea tensiunii conduce la reducerea parametrului "a" adică la creșterea energiei care se consumă în arc. Raportul dintre parametrii "a" și "b" nu rămâne constant ci se schimbă în funcție de alegerea tensiunii. [35]

Creșterea tensiunii este foarte utilă din punct de vedere al reducerii pierderilor electrice în echipamentul cuptorului, dar ea are o limită optimă întrucât prin creșterea tensiunii crește volumul conductorului gazos, se mărește temperatura în zona de reacție și cresc pierderile de topitură ca urmare a evaporării ei. Vaporii substanței active condensează pe încărcătura rece, sau se distrug prin ardere la suprafața încărcăturii, în ambele situații consumul energetic crește.

Puterea cuptoarelor electrice se mărește atât prin creșterea intensității cât și prin creșterea tensiunii, care se poate face numai prin schimbarea condițiilor fizico-chimice din zona de reacție.

Din punct de vedere electric, cuptoarele cu arc pot fi considerate circuite compuse dintr-o rezistență ohmică (rețea de alimentare cu energie, electrod, topitură, masa de reacții, etc) în serie cu o sulfinducție.

Reactanța (impedanța) cuptorului este în general o mărime fixă, constructivă a cuptorului și este hotărâtoare asupra funcționării cuptorului electric și a rezultatelor lui.

Rezistența cuptorului variază cu poziția electrodului, iar sulfinducția depinde de construcția cuptorului, amplasarea și geometria conductorilor. In mod practic se

poate admite constant coeficientul de sulfinducție (L) negli-
jînd variația lungimii electrozilor, forma zonei arcului elec-
tric și deci variația intensității curentului. In această ipo-
teză la fel ca în orice circuit electric, avînd un coeficient
de sulfinducție (L) și o rezistență (R) diferită de potențial
(E) dă naștere unui curent (I) și o formă electromotrică
 $L \frac{dI}{dt}$, legate prin relația :

$$E = R \cdot I + L \frac{dI}{dt} \times = R \cdot I + L \omega I.$$

Din triunghiul ABC (figura 114) rezultă :

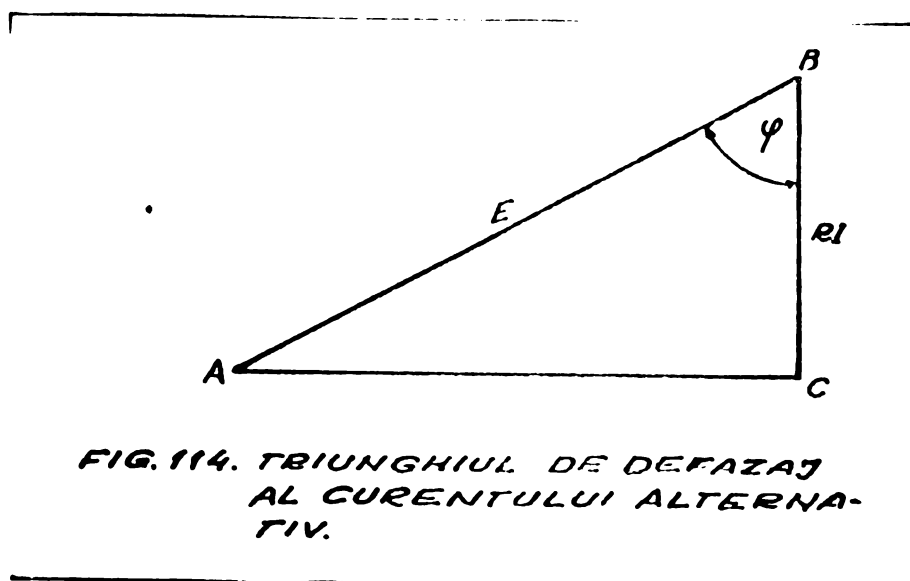


FIG. 114. TRIUNGHIUL DE DEFAZAJ
AL CURENTULUI ALTERNA-
TIV.

$$\sin \varphi = \frac{I \omega L}{E}$$

$$I = \frac{E \sin \varphi}{\omega L}$$

$$E = \frac{\omega L I}{\sin \varphi}$$

$$L = \frac{E \sin \varphi}{I}$$

Puterea captorului
va fi :

$$P = E \cdot I \cos \varphi \quad \text{sau}$$

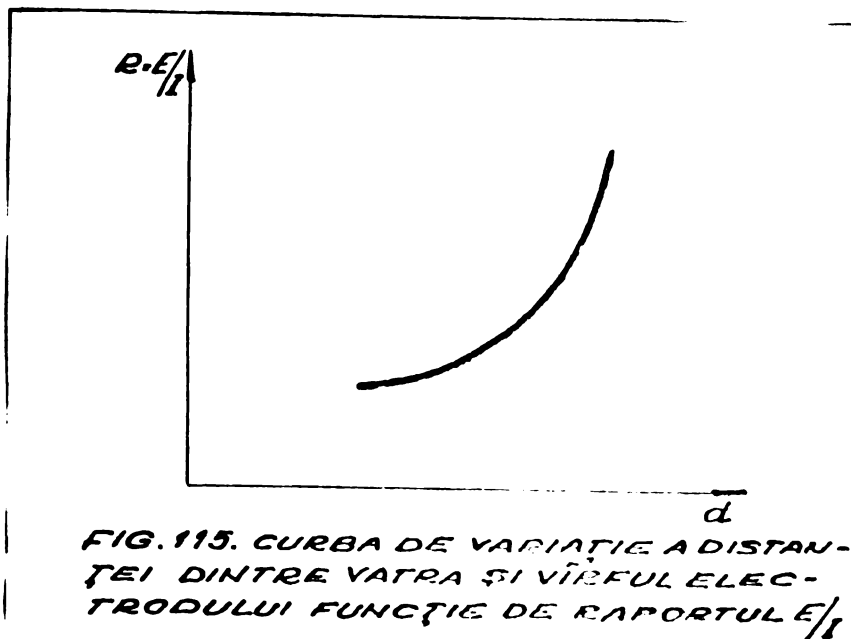
$$P = \frac{E^2 \sin \varphi \cos \varphi}{\omega L} = \frac{E^2}{2 \omega L} \sin 2 \varphi$$

Puterea poate atinge valori maxime cînd
 $\varphi = 45^\circ$, adică $R = \omega L$

Rezistența ohmică este variabilă și este o
funcție a poziției electrodului și a calității materiilor prime.

Din diagrama figurii 115 rezultă că prin
mărirea raportului $\frac{E}{I}$ se mărește (crește) și înălțimea (d) din-
tre vatră și vârful electrodului și viceversa. Dacă se dorește
să se mențină electrodul la anumită înălțime, trebuie să se
păstreze raportul E/I și deci să se mărească E și I în același
grad. Cu alte cuvinte poziția electrodului depinde numai de

./.



raportul E/I . În general raportul E/I nu poate varia decât în limite strânse și aceasta funcție de calitatea produsului, a materiilor prime (în special a cărbunelui utilizat) și cu dimensiunea (secțiunea) electrodului. Ca urmare a celor arătate se poate considera că zona tempe-

raturilor maxime este partea cuprinsă între vârful electrodului și vatra cuptorului. Această zonă va fi parcursă de o cantitate de energie electrică constantă atât timp cât volumul zonei rămâne constant (nu se variază înălțimea "d" dintre vârful electrozilor și vatra (figura 116)).

Din figura 116 reiese:

- $l = H - d$ în care :
- H - adâncimea cuvei cuptorului ;
- d - distanța dintre vatra și vârful electrodului
- l - înălțimea electrodului imersat în material

Relația :

$$E = R \cdot I \text{ va deveni :}$$

$$E = \rho \cdot d \Delta \text{ deoarece}$$

$$R = \frac{\rho \cdot d}{S} \text{ și } I = S \Delta \text{ unde}$$

s - suprafața în secțiune a electrodului

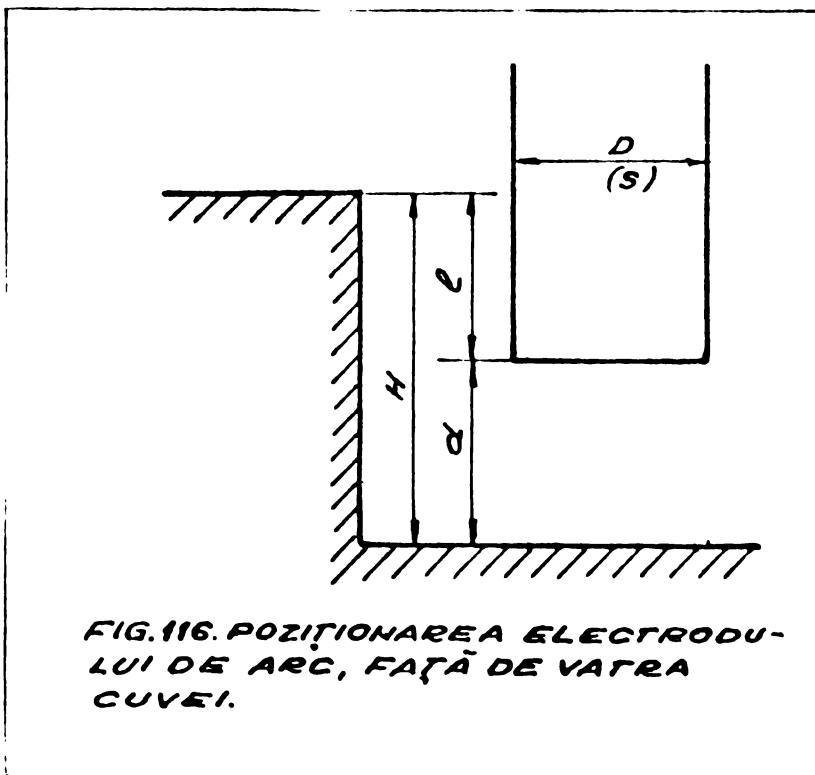
Δ - densitatea specifică în amperi/cm²

ρ - rezistivitatea amestecului

În aceste condiții puterea este dată de rela-

ția :

$$P = \rho \cdot d \cdot s \cdot \Delta^2 \cdot \cos \varphi$$



INSTITUTUL POLITEHNIC
I MIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

De unde rezultă că puterea utilă a unui cuptor este direct proporțională cu patratul densității de curent și cu lungimea arcului format (distanța dintre vârful electrodului și vatra cuvei).

În studiul problemelor energetice, pentru oricare tip de cuptoare electrice, trebuie avut în vedere complexitatea operațiilor și proceselor la care se folosește energia electrică. Transportul energiei la cuptor, condițiile de realizare a arcului propriu-zis, valorificarea energiilor reziduale, acționările electrice, comenzile și automatizările, sînt elementele determinante ale randamentelor energetice a acestui gen de proces.

În cele ce urmează vom prezenta problema energetică (evoluția randamentelor energetice) a diferitelor tipuri de cuptoare electrice pentru fabricarea carburului.

Randamentul energetic al procesului de fabricare al carburului este condiționat de mai mulți factori, principali dintre ei fiind :

- tipul de cuptor utilizat
- condițiile de calitate a materiilor prime (compoziția chimică, caracteristici electrice, granulometriei)
- condițiile de realizare a transformării energiei electrice în căldură
- stabilitatea procesului (modul de realizare a constantei parametrilor)
- valorificarea energiilor reziduale, etc.

Din analiza bilanțurilor energetice ce s-au întocmit pentru diferite tipuri de cuptoare va rezulta implicit gama măsurilor care se pot întreprinde pentru creșterea randamentelor acestor utilaje .

./.

BILANTUL ENERGETIC AL UNUI CUPTOR DE 40 MVA DE TIP
SEMIDISCHIS (Nr.4)

Bilanțul energetic s-a întocmit pe baza datelor colectate pentru o perioadă de 30 zile, în condiții de funcționare normală.

Caracteristicile utilajelor și instalațiilor aferente pentru care s-a întocmit bilanțul.

Cuptorul este alimentat cu energie electrică necesară procesului termic, dintr-o stație electrică, de distribuție, la o tensiune de 110 kV, printr-o linie LEA cu conductori din OL-Al cu secțiunea de 185 mm² și lungimea de cca 800 m. Energia pentru serviciile interne (acționări) se furnizează printr-o buclă la o tensiune de 5,5 kV.

Transformatorul utilizat pentru curentul electric de arc este de tip "Trifazic" furnizat de firma TRAFU+UNION-R.F.G.

Principalele caracteristici ale acestui tip de transformator sînt :

- putere nominală : 40.000 kVA
- grupa de conexiuni : 115/20,785 kV, 115/0,27 kV
- tensiunea în primar : 115.000 V
- intensitatea în primar : 200 A max
- tensiunea la bornele secundare : 130-270 V cu 39 trepte de tensiune variabile sub sarcină
- intensitate maximă la bornele secundare : 100.000 A
- curent maxim de scurtcircuit : 2,51 kA
- durata maximă a scurtcircuitului : 1,3 secunde

Răcirea se realizează cu ulei care la rîndul lui se răcește cu apă. Cuptorul electric propriu-zis are cuva paralelipipedică cu un volum util de 180,14 mc. Dimensiunile interne ale cuvei înzidite sînt ; lungimea = 8,85 m, lățimea = 6,81 m, adîncimea = 2,99 m.

Cuva se compune dintr-o manta metalică de grosime 15 mm, căptușită cu plăci din azbest, cărămidă refractară și praf de șamotă. Vatra cuvei este construită din blocuri de electrozi amorfii. În zona de reacție peretele frontal este format din blocuri fasonate de electrocorindon.

./.

Electrozii de arc de tip Söderberg sînt așezați în linie, avînd dimensiunea 2800 x 650 mm. Fiecare electrod are 8 buc. bacuri de contact, din cupru și un inel din oțel care asigură presiunea de contact la trecerea curentului electric.

O parte din gazele de reacție sînt captate imediat deasupra topiturii prin pîlniile de captare, iar altă parte ard la suprafața încărcăturii și se elimină prin hota cuptorului. Intreg echipamentul mecanic din cuptor este răcit cu apă.

Amestecul reactant se alimentează în cuva cuptorului prin jghiaburi metalice oscilante, la fel răcite cu apă. Topitura de carbid se elimină din cuptor printr-un orificiu amplasat în peretele frontal, în dreptul electrodului de mijloc. Perforarea orificiului de scurgere se realizează cu ajutorul dispozitivului de străpuns, care este alimentat cu energie electrică de la bornele secundare ale transformatorului de 40 MVA, închiderea arcului făcîndu-se prin electrodul de străpuns montat în acest dispozitiv. Topitura se scurge în cuve din fontă, așezate pe un tren de vagoneti. Carbidul din cuvă după răcire se concasează, se sortează pe tipuri granulometrice și se ambalează în butoaie metalice închise etanș.

Elemente ale bilanțurilor de materiale și energetic.

Bilanțul s-a întocmit pentru un timp de funcționare de 625,7 ore în care timp s-a obținut o cantitate de producție de 6.335 tone la o concentrație de 73,57 % CaC₂ (280,75 l/kg degajare acetilenă).

Bilanțul de materiale (sintetic) pentru această perioadă este prezentat în tabelul 2.2.

Tabel 2.2.

Nr. crt.	Denumirea materialului	Materiale intrate	
		kg.	Cantitatea în % față de tot
1.	Var industrial	5.707.619	58,10
2.	Cocs metalurgic	3.301.298	33,40
3.	Antracit	604.423	6,14
4.	Pastă electrozi	152.500	1,50
5.	Electrozi stripuns	537	0,50
		9.766.377	100,00

Nr. crt.	Denumirea materialului	Materiale ieșite kg.	% față de tot.
1.	Carbid (100% C ₂ Ca)	4.657.000	47,68
2.	Var nereact.	1.024.119	10,48
3.	Carbon nereact.	126.312	1,29
4.	Carbon oxidat la Co sau CO ₂	755.698	7,78
5.	Apă	58.067	0,59
6.	Praf de gaze	925.00	0,94
7.	Impurități în carbid	573.681	5,87
8.	CO din reacție	2.040.000	20,88
9.	CO ₂ din var	439.000	4,49
T O T A L ;		9.766.377	100 %

Cantitatea de apă conținută în materialul cărbunos, a fost de 58.067 kg. iar cantitățile de material cărbunos uscat rezultat ; cocs 3.250.000 kg și antracit 597.654 kg.

Materialele intrate funcție de compoziție cantitativ și procentual se prezintă ;

- oxid de calciu (CaO)	4.541.619 kg	46,50 %
- carbonat de calciu (CO ₃ Ca)	996.500 kg	10,20 %
- carbon	3.485.294 kg	35,70 %
- cenușe	596.089 kg	6,10 %
- apă	58.067 kg	0,60 %
- materii volatile	88.800 kg	0,90 %
TOTAL ;	9.766.377 kg	100,00 %

Din determinări și măsurători practice, a rezultat cantitatea de gaze eliminate de la cuptor și anume ;

a) Gaze eliminate la hota cuptorului prin cele 6 buc. ventilatoare.

- ventilatorul nr.1	56.500 Nmc/h
- " 2	64.000 "
- " 3	35.700 "
- " 4	47.000 "
- " 5	80.000 "
- " 6	85.000 "
TOTAL ;	368.200 Nmc/h

b) Gaze eliminate la pîlniile de captare prin instalația de absorpție a oxidului de carbon 1150 Nmc/h.

Debitul de gaze pentru intregul interval

rezultă :

$$368.200 \text{ Nmc/h} \times 625,7 \text{ ore} = 230.382.740 \text{ Nmc}$$

$$1.150 \text{ Nmc} \quad 625,7 \text{ ore} = \underline{719.555 \text{ "}}$$

$$\text{TOTAL;} \quad 231.102.295 \text{ Nmc}$$

Gazele absorbite la hotă au avut următoarea compoziție :

	Vent.1	Vent.2	Vent.3	Vent.4	Vent.5	Vent.6	Media
CO ₂ %	1,49	1,55	1,50	1,54	1,53	1,51	1,520
O ₂ %	18,20	18,60	17,20	17,70	17,70	17,50	18,000
CO %	0,13	0,11	0,14	0,14	0,12	0,11	0,125
H ₂ %	0,55	1,10	0,40	0,27	0,28	0,40	0,500
N ₂ %	79,63	78,64	79,46	80,53	80,37	80,48	77,855
Greut. specific kg/mc	1,2927	1,2960	1,2956	1,2953	1,2937	1,2889	1,2935

Gazele absorbite la pîlniile de captare au avut următoarea compoziție :

CO ₂ %	O ₂ %	CO %	H ₂ %	N ₂ %
4,26	0,77	65,7	11,9	18,37

Greutatea specifică medie a acestor gaze este :

$$\gamma = 0,0426 \frac{44}{22,4} + 0,0077 \frac{32}{22,4} + 0,657 \frac{28}{22,4} + 0,119 \frac{2}{22,4} + 0,1837 \frac{20}{22,4} = 1,2495 \text{ kg/mc}$$

Debitul gravimetric al gazelor va fi ;

$$\text{- hotă } 230382740 \cdot 1,2935 = 297.881.150 \text{ kg.}$$

$$\text{- pîlnii } 719555 \cdot 1,2495 = \underline{899.077 \text{ kg.}}$$

$$\text{TOTAL} \quad 298.780.227 \text{ kg.}$$

./.

Cantitatea de CO absorbită la ;

- pîlnii 899077 . 0,657 = 591.500 kg.
- hotă 297881150. 0,00125 = 371.000 kg.
- TOTAL; 962.500 kg.

Bilanțul energetic întocmit a avut la bază următorii parametri ;

- temperatura de evacuare a topiturii 1750 °C
- " gazelor la hotă 173 °C pt.vent.2, 3 și 4
- 20 °C pt.vent.1
- 60 °C pt.vent.6
- temperatura gazelor la pîlnii 119 °C temp.medie
- 363 °C
- debitul apei de răcire 644 mc/h
- temperatura apei la intrare 23 °C
- temperatura apei la ieșire 31,5 °C
- temp.perete exterior al cuvei 145 °C
- temp.topiturii la limita peretelui intern al cuvei 2100 °C
- tensiunea medie în secund.trafo (pe faze) 124 V
- curentul nominal al trafo 201 A
- curentul mediu de funcționare în primarul transformatorului 176 A
- tensiunea mașinii de străpuns 104 h
- curentul mediu al mașinii de străpuns 9,6 kA
- timpul de funcționare al cuptorului 625,7 ha
- temp.material intrat în cuptor 15 °C

Calculul termenilor componenți ai bilanțului termic

1. Căldura intrată (Q_T)

1.1. Căldura rezultată în urma transformării energiei electrice în energie termică (Q_W). Energia electrică consumată în proces a fost de :

$$L = 19.350.035 \text{ kg. (1 kWh} \approx 860 \text{ kcal)}$$

$$Q = 860 \times L = 860 \times 19330035 = 16.623.830.100 \text{ Kcal}$$

$$Q_W = \frac{Q}{P_p} = \frac{16.623.830.100}{4057} = 3.531.543 \text{ kcal/t}$$

$$Q_W = 3.531.543 \text{ Kcal/t}$$

./.

1.2. Căldura sensibilă a încărcăturii introduse în cuptor (Q_{sm})

$$Q_{sm} = \frac{1}{P_p} \sum_{l=1}^{i=h} G_l \cdot i_l$$

$$Q_{sm} = \frac{1}{4657} (G_{var} i_{var} + G_{cocs} i_{cocs} + G_{antr} i_{antr} + G_{els} i_{els} + G_{el} \cdot i_{el} + G_{apă} i_{apă})$$

Înlocuind în relație valorile calculate ale entalpiilor și cantitățile de materiale măsurate, căldura sensibilă a încărcăturii rezultă :

$$Q_{sm} = \frac{1}{4657} (5707619 \cdot 2,84 + 3250000 \cdot 3 + 597654 + 3,3 + 152500 \cdot 5,9 + 53,7 \cdot 6,1 + 58067 \cdot 14,95 + \frac{10^3}{4657} (16200 + 9740 + 1972 + 715 + 3,21 + 867) = \frac{29497}{4657} \cdot 10^3 = 6330 \text{ kcal/t}$$

1.3. Căldura rezultată în urma combustiei materialelor volatile din materiale intrate (Q_v)

$$Q_v = \frac{88808 \text{ kg} \cdot 0,8 \text{ Nmc/kg} \cdot 3020 \text{ kcal/Nmc}}{4657 \text{ t}} = 46400 \text{ kcal/t}$$

1.4. Căldura rezultată în urma oxidării oxidului de carbon și a carbonului (Q_c)

Din cantitatea totală de $m = 2.040.000 \text{ kg}$. oxid de carbon rezultat din reacție cca 48 % arde în hotă, iar restul se elimină la pîlniile de captare.

$$Q_c = \frac{2040000 \text{ kg CO} \cdot 0,48 \cdot 3020 \text{ kcal/mc}}{1,25 \text{ kg/mc} \cdot 4657 \text{ kg C}_2\text{Ca}} + \frac{755698 \text{ kg C} \cdot 8135 \text{ kcal/kg}}{4657 \text{ kg C}_2\text{Ca}} = 1.879.500 \text{ kcal/t.}$$

Căldura intrată va fi deci ;

$$Q_T = Q_W + Q_{sm} + Q_v + Q_c = 3.531.543 + 6330 + 46400 + 1879500 = 5463773 \text{ kcal/t}$$

./.

2. Căldura utilă (Q_u)

2.1. Căldura sensibilă a produsului principal, ce părăsește cuptorul (Q_{pp})

$$Q_{pp} = \frac{4657000 \text{ kg } C_2Ca \cdot 0,28 \text{ kcal/kg} \cdot 1750 \text{ }^\circ C}{4657 \text{ t } C_2Ca} = 490.000 \text{ kcal/t}$$

$$Q_{pp} = 490.000 \text{ kcal/t}$$

2.2. Căldura sensibilă a varului nereacționat ce părăsește cuptorul (Q_{var})

$$Q_{var} = \frac{1024119 \text{ kg } CaO \cdot 0,189 \text{ kcal/kg}^\circ C \cdot 1750 \text{ }^\circ C}{4657 \text{ t } C_2Ca} = 72600 \text{ kcal/t}$$

$$Q_{var} = 72.600 \text{ kcal/t}$$

2.3. Căldura sensibilă a carbonului nereacționat (Q_{cr})

$$Q_{cr} = \frac{126312 \text{ kg carbon} \cdot 0,406 \text{ kcal/kg}^\circ C \cdot 1750}{4657 \text{ t } C_2Ca} = 19250 \text{ kcal/t}$$

$$Q_{cr} = 19257 \text{ kcal/tonă}$$

2.4. Căldura consumată pentru evaporarea umidității din încărcătură și supraîncălzirea vaporilor rezultați ($Q_{apă}$)

$$Q_{apă} = \frac{597 \text{ kcal/kg} \cdot 0,46 \text{ kcal/kg}^\circ C \cdot 173^\circ C \cdot 58067 \text{ kg}}{4657 \text{ t } C_2Ca} = 8400 \text{ kcal/t}$$

- $173^\circ C$ temperatura vaporilor supraîncălziți

$$Q_{apă} = 8400 \text{ kcal/t}$$

2.5. Căldura preluată de șarjă în urma reacțiilor endoterme (Q_{end})

2.5.1. Căldura de formare a CaC_2

$$Q_{end} = \frac{4657000 \text{ kg } C_2Ca \cdot 108000 \text{ kcal/kg}}{64 \text{ kg} \cdot 4657 \text{ t}} = 1690000 \text{ kcal/t}$$

./.

2.5.2. Căldura de topire a CaC_2

$$Q_{\text{tCaC}_2} = \frac{4657000 \text{ kg } \text{C}_2\text{Ca} \cdot 120 \text{ kcal/kg}}{4657 \text{ t}} = 120.000 \text{ kcal/t}$$

2.5.3. Căldura de topire a CaO nereacționat.

$$Q_{\text{tCaO}} = \frac{1024119 \text{ kg } \text{CaO} \cdot 180 \text{ kcal/kg}}{4657 \text{ tone}} = 39.500 \text{ kcal/t}$$

2.6. Total căldură utilă

$$Q_u + Q_{\text{pp}} + Q_{\text{var}} + Q_c + Q_{\text{apa}} + Q_{\text{end}} + Q_{\text{tCaC}_2} + Q_{\text{tCaO}} =$$
$$490000 + 72600 + 19250 + 8400 + 1690000 + 120000 + 39500 =$$
$$Q_u = 2.439.750 \text{ kcal/t}$$

3. Căldura pierdută (Q_p)

3.1. Căldură necesară reducerii oxizilor (Q_{ro})

$$Q_{\text{ro}} = \frac{m \cdot c \cdot e}{P_p} \quad \text{unde}$$

m - cantitatea de oxizi în kg = 573.681 kg.

c - consumul de energie electrică pentru reducerea unui kg de oxizi care este egal cu 1,9 kWh/kg.

e - echivalentul caloric al energiei electrice 860 kcal/kWh

P_p - producția obținută în tone

$$Q_{\text{ro}} = \frac{573681 \cdot 1,9 \cdot 860}{4657} = 201.000 \text{ kcal/t}$$

3.2. Căldura de fuziune a oxizilor (Q_{fuz})

$$Q_{\text{fuz}} = \frac{573681 \text{ kg} \cdot 180 \text{ kcal/kg}}{4657 \text{ t}} = 22.100 \text{ kcal/t}$$

3.3. Căldura necesară descompunerii CO_2

$$Q_{\text{dCO}_2} = \frac{996500 \text{ kg} \cdot 425 \text{ kcal/kg}}{4657 \text{ t}} = 91.000 \text{ kcal/t}$$

3.4. Pierderile de căldură prin apa de răcire

($Q_{\text{pH}_2\text{O}}$)

$$Q_{\text{pH}_2\text{O}} = \frac{644 \text{ mc/h} \cdot 1000 \cdot 625,7 \text{ ore} \cdot 1(31,5^\circ - 23^\circ)}{4657} = 750000 \text{ kcal/t}$$

3.5. Pierderile de căldură prin cuvă (Q_p cuvă)

$$Q_p \text{ cuvă} = \frac{K \cdot S \cdot \Delta t}{P_p} \cdot T \text{ (Kcal/t) în care ;}$$

$$\Delta t = 2100^\circ\text{C} - 145^\circ\text{C} = 1955^\circ\text{C}$$

$$T = 625,7 \text{ ore}$$

$$P_p = 4657 \text{ tone}$$

$$K = 0,63 \text{ kcal/mp}\cdot\text{oră}^\circ\text{C}$$

$$S = 8,85 \text{ m} \cdot 6,81 \text{ m} + 28,85 \cdot 6,81 + 26,81 \cdot 2,299 = 154 \text{ mp suprafața de transfer căldură}$$

$$Q_p \text{ cuvă} = \frac{0,63 \cdot 154 \cdot 1955 \cdot 625}{4657} = 25.400 \text{ kcal/t}$$

3.6. Căldura sensibilă a gazelor de hotă la temperatura medie de 119°C (Q_{sg})

$$Q_{sg} = \frac{D_g \cdot C_{pg} \cdot t_g}{P_p} = \frac{230382740 \cdot 0,27 \cdot 119}{4657} = 1596060 \text{ kcal/t}$$

$$Q_{sg} = 1.596.060 \text{ kcal/tonă}$$

3.7. Căldura sensibilă a gazelor la pîlnii (Q_{sp})

$$Q_{sp} = \frac{719555 \text{ mc} \cdot 0,32 \text{ kcal/mc}^\circ\text{C} \cdot 363^\circ\text{C}}{4657 \text{ t.}} = 17.900 \text{ kcal/t}$$

3.8. Căldura sensibilă a prafului antrenat cu gazele (Q_{praf})

Cu gazele de hotă și pîlnii din cuptor se antrenează o cantitate de 92.500 kg praf cu o temperatură apreciată la 173°C .

Căldura specifică determinată a prafului care este un amestec de oxizi (64,2 % CaO , 5,55 % SiO_2 , 1,35 % Fe_2O_3 , 0,76 % Al_2O_3 , 28,25 % C) este de $0,243 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$.

$$Q_{praf} = \frac{92.500 \cdot 0,243 \cdot 173}{4657} = 835 \text{ kcal/t}$$

Diferența și pierderi neidentificate ;
319.728 kcal/t

./.

9.10. Total căldură pierdută (Q_p)

$$Q_p = Q_{ro} + Q_{fuz} + Q_d + Q_{pH_2O} + Q_c + Q_{sg} + Q_{sp} + Q_{praf} + Q_{pierderi\ neidentificate}$$
$$201000 + 22100 + 91000 + 750000 + 25400 + 1596060 + 17900 + 835$$
$$+ 319728 = 3024023$$
$$Q_p = 3024023 \text{ kcal/t}$$

4. Pierderi electrice în transformator și rețeaua de alimentare cu energie electrică a cuptorului.

4.1. Pierderile de energie electrică activă, în transformator la parametrii de lucru conform cărții tehnice a acestui utilaj au fost de 304,9 kWh. Pentru întreaga perioadă au fost :

$$W_{pt\ trafo} = 304,9 \cdot 625,7 = 19,05 \cdot 10^4 \text{ kWh respectiv } 41,0 \text{ kWh/t}$$

s-au transformat în căldură raportat la tona de produs ;

$$Q_{p.\ trafo} = \frac{19,05 \cdot 10^4 \cdot 860}{4657} = 35200 \text{ kcal/t}$$

4.2. Pierderi de energie în dispozitivul pentru străpuns orificiul de scurgere. Acest dispozitiv funcționează cu următorii parametrii ; intensitate 9,6 kA, tensiune 131,8 V timp de 10 minute din fiecare oră.

Energia pierdută va fi :

$$W_{p.\ dis} = U \cdot I \cdot t = 131,8 \cdot \frac{9600}{1000} \cdot \frac{625,7 \cdot 10}{60} = 13,1 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

sau 28,1 kWh/t

$$\text{Căldura pierdută va fi ; } \frac{13,1 \cdot 10^4 \cdot 860}{4657} = 24.200 \text{ kcal/t}$$

$$Q_{p.\ ds} = 24.200 \text{ kcal/t}$$

4.3. Pierderile de energie, în linia de alimentare electrică aeriană pentru lungimea liniei de 800 mm din calcul au rezultat ;

$$W_{p.\ l} = 44,3 \text{ kWh/t sau}$$

$$Q_{p.\ l} = 38100 \text{ kcal/t}$$

./.

4.4. Pierderile de energie din rețeaua scurtă
(legătura dintre transformator și cuptor. Legătura de la trafo
40 MVA la fiecare electrod al cuptorului este executată din
24 buc. țevi din cupru, cu \varnothing 50/30 mm.

Lungimile medii sînt armătorele :

- faza I 12,5 m
- faza II 10,0 m
- faza III 7,5 m

Rezistența rețelei scurte va fi ;

$$r = \frac{1}{s} \text{ rezistența unei țevi, unde ;}$$

$$s = 126 \text{ mmp.}$$

Rezistențele sînt :

$$\text{- faza I } r_1 = \frac{1}{57} \cdot \frac{12,5}{126} = 1,74 \cdot 10^3$$

$$R_1 = \frac{r_1}{24} = \frac{1,74 \cdot 10^3}{24} = 7,25 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{- faza II } r_2 = \frac{1}{57} \cdot \frac{10}{126} = 1,39 \cdot 10^{-5}$$

$$R_2 = \frac{r_2}{24} = \frac{1,39 \cdot 10^{-3}}{24} = 5,79 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{- faza III } r_3 = \frac{1}{57} \cdot \frac{7,5}{126} = 1,04 \cdot 10^{-5}$$

$$R_3 = \frac{r_3}{24} = \frac{1,04 \cdot 10^{-3}}{24} = 4,22 \cdot 10^{-5}$$

Curentul mediu este ;

Faza I ; 90770 A, faza II 99000 A, faza III 88370 A.

Pierderile electrice vor fi ;

$$W_{\text{prs}} = 0,24 \cdot RI^2 t \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$$

$$\text{faza I } W_1 = 0,24 \cdot 625,7 \cdot 10^{-3} \cdot RI^2 = 0,15 \cdot RI^2 = 0,15 \cdot 7,25 \cdot 10^{-5} \cdot$$

$$\cdot 9,08^2 \cdot 10^8 = 89000 \text{ kWh}$$

$$W = \frac{89000}{4657} = 19,1 \text{ kWh/t}$$

Transformate în căldură, pierderile sînt ;

$$Q_1 = 19,1 \cdot 860 = 16450 \text{ kcal/t}$$

$$\text{faza II } W_{II} = 10,9 \cdot 10^2 \cdot 9,9^2 = 106500 \text{ kWh}$$

$$Q_{II} = \frac{106500}{4657} = 22,9 \text{ kWh/t}$$

Transformate în căldură, pierderile sînt ;

$$Q_{II} = 22,9 \cdot 860 = 19650 \text{ kcal/t}$$

$$\text{faza III } W_{III} = 10,9 \cdot 10^2 \cdot 8,8^2 = 843300 \text{ kWh}$$

$$W_{III} = \frac{843300}{4657} = 18,2 \text{ kWh/t}$$

Transformate în căldură, pierderile sînt ;

$$Q_{III} = 18,2 \cdot 860 = 15650 \text{ kcal/t}$$

Total pierderi în rețeaua scurtă.

$$W_{\text{prs}} = W_I + W_{II} + W_{III} = 19,1 + 22,9 + 18,2 = 60,2 \text{ kWh/t}$$

$$Q_{\text{prs}} = 60,2 \cdot 860 = 51.700 \text{ kcal/t}$$

Suma pierderilor electrice va fi ;

$$W = W_{\text{p.trafo}} + W_{\text{pds}} + W_{\text{pl}} + W_{\text{prs}}$$

$$W = 41 + 28,1 + 44,3 + 60,2 = 169,6 \text{ kWh/t}$$

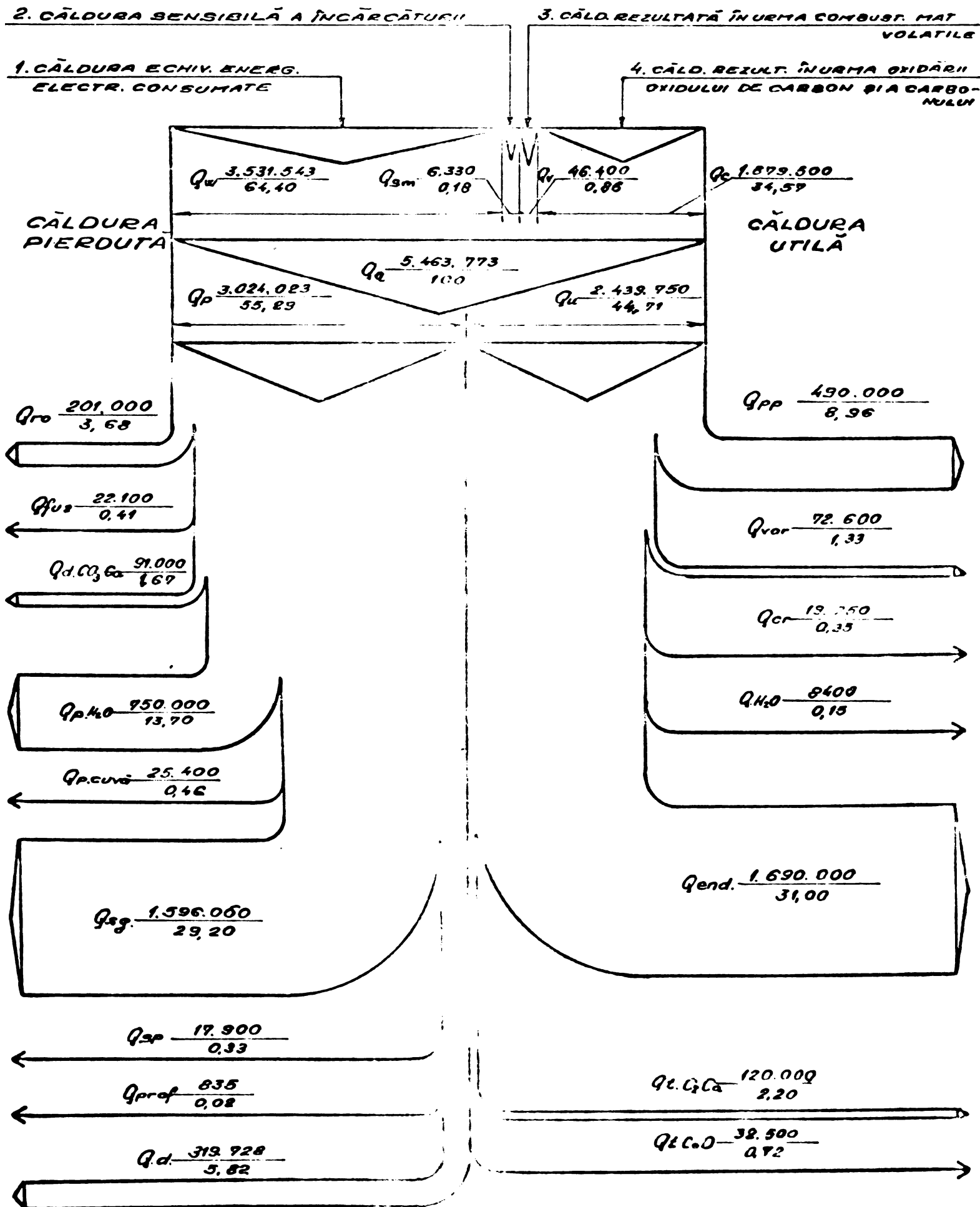
Canitate totală de energie electrică consumată pentru întregul interval de timp a fost de 19.330.035 kWh ceea ce corespunde la un consum specific de 19.330.035 kWh 4657 = 4150 kWh/t echivalentul în căldură va fi ;
 $Q_w = 4150 \cdot 860 = 3531543 \text{ kcal/t}$ - Energia electrică efectiv transformată în căldură prin arcul electric este ; $W = 4150 - 169,6 = 3980,4 \text{ kWh/t}$ C_2 la 100 % ; Căldura echivalentă va fi ; $Q = 3980,4 \cdot 860 = 3423000 \text{ kcal/t}$.

In tabelul nr.23 și fig.117 se prezintă recapitulativ bilanțul energetic.

Elementele bilanțului energetic al unui cuptor de 40 MVA de tip semideschis

ENERGIA INTRATA	kJal/t	%	ENERGIA IESITA	kJal/t	%
-caldura echiv.energiei electrice consumate, Q_w	3531543	64,40	Caldura utilă Q_u		
-caldura sensibilă a încărcăturii, Q_{sm}			-caldura sensibilă a prod.princ., Q_{pp}	490000	8,96
-caldura rezultată în urma comb.mat.volatile, Q_y	6330	0,18	-cald.sensib.a varului nereact., Q_{var}	72600	1,33
-caldura rez.în urma oxidării oxidului de carbon și a carbonului, Q_c	46400	0,85	-cald.sens.a carbon nereact., Q_c	19250	0,35
			-cald.pt.evaporare umiditate Q_{H_2O}	8400	0,15
			-cald.formare carbid Q_{end}	1690000	31,00
			-cald.topire Ca_2 Q_{tCa}	120000	2,20
	1879500	34,57	-cald.topire var nereact., Q_{tCaO}	32500	0,22
			Total căldură utilă Q_u	2439750	44,71
			Căldură pierdută Q_p		
			-cald.reducere oxizi Q_{ro}	201000	3,68
			-cald.fuziuni oxizi Q_{fuz}	22100	0,41
			-cald.descompunere $CaCO_3$ Q_{dCO_3Ca}	91000	1,67
			-cald.apei răcire $Q_p H_2O$	750000	13,70
			-cald.cond.si convec.cuvă $Q_{pcuvă}$	25400	0,46
			-cald.sensibilă gaze hotă Q_{sg}	1596060	29,20
			-cald.sensibilă gaze pînii Q_{sp}	17900	0,33
			-cald.sensibilă praf gaze Q_{praf}	835	0,02
			-diferențe și pierderi Q_d	319228	5,82
			Total căldură pierdută	3024023	55,29
TOTAL CALDURA INTRATA	5463773	100%	TOTAL CALDURA IESITE	5463773	100%

FIG. 117. BILANȚUL ENERGETIC AL UNUI CUPTOR DE 40MVA, SEMIDESCHIS.



Randamentul cuptorului va fi ;

1. Randamentul teoretic (η_t)

$$\eta_t = \frac{\text{căldura de formare } CaC_2 + \text{căld.de fuziune } CaC_2}{\text{căldura arcului}} = \frac{1690000 + 120000}{3423000} = \frac{1810000}{3423000} = 0,53$$

$$\eta_t = 53 \%$$

2. Randamentul de lucru va fi ; (η_p)

$$\eta_p = \frac{Q_u}{Q_w + Q_{sm} + Q_v} \cdot 100 = \frac{2439750}{3584273} \cdot 100 = 68,0 \%$$

$$\eta_p = 68 \%$$

In Tabelul nr.24 se prezintă pierderile de energie electrică a cuptorului ;

- Tabelul nr.24 -

Energia intrată W_i	kWh/t	%	Energia ieșită W_e	kWh/t	%
Energ.debitată de stația de alimentare	4150	100	-pierd.în linie electr. aeriană, W_{pl}	44,4	1,07
			-pierderi în transf. W_p trafo	41,0	0,99
			-consum energ.în maș. străpuns W_{pds}	28,1	0,68
			-pierd.de energie în rețeaua scurtă W_{prs}	60,2	1,45
			-energ.el.transp.în căld.prin arc el. W	3980,4	95,81
Total en.intrată	4150	100	Total en.iesită	4150	100

Randamentul electric al cuptorului

$$\epsilon = \frac{\text{puterea în arc } (W)}{\text{putere la borne trafo } (W_e - W_{pl})} = \frac{3980}{4150 - 44,3} \cdot 100 = 96,8 \%$$

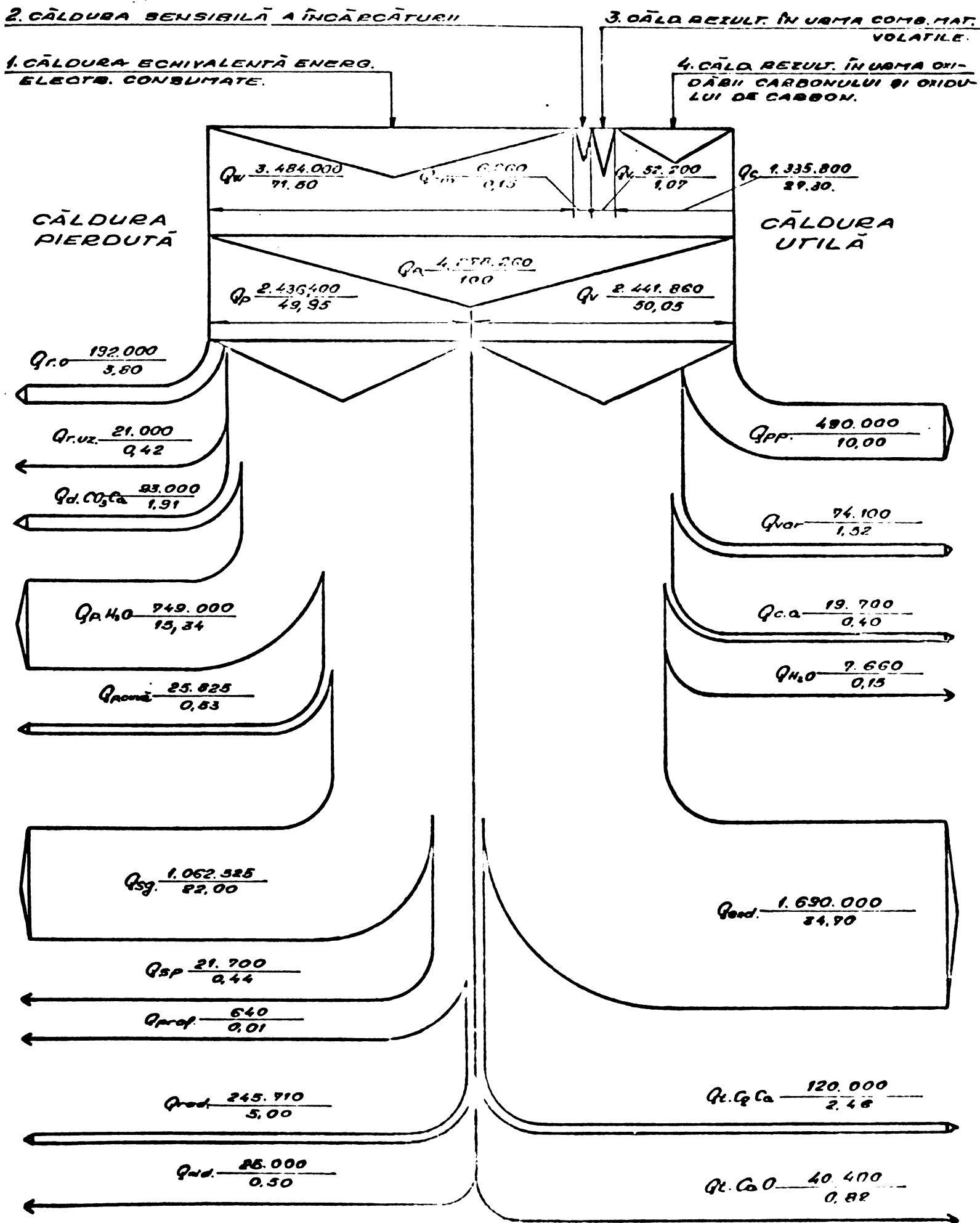
BILANTUL ENERGETIC AL UNOR CUPTOARE DE 40 MVA de TIP SEMIDESCHIS DE CONSTRUCȚIE SPECIALĂ

In tabelul nr.25 și figura nr.118 sînt prezentate datele recapitulative de bilanț a unui alt cuptor de tip semideschis (nr.5) cuptor căruia i s-au efectuat unele îmbunătățiri în sistemul de alimentare și pregătire a șarjei.

Bilanțul energetic al unui cuptor de tip semideschis (nr.5) de construcție specială

ENERGIE INTRATA	kcal/t	%	ENERGIE IESITA	kcal/t	%
-căldura echiv.energ. el. consumată, Q_w	3484000	71,50	Căldura utilă Q_u	490.000	10,00
-căldura sensibilă a încărcăturii Q_{sm}	6260	0,15	-căld.sensibilă prod.principal, Q_{pp}	74.100	1,52
-căldura rezultată în urma comb.mat.volatile	Q_v 52200	1,07	-căld.sens.var nereacț. Q_{cn}	19.700	0,40
-căld.rezultată în urma oxidării carbonului și oxidului de carbon	Q_c 1335800	27,30	-căld.pt.evap.umidității Q_{H_2O}	7.660	0,15
			-căld.formare CaC_2 Q_{end}	1.690.000	34,70
			-căld.de fuziune CaC_2 Q_{tCa}	120.000	2,46
			-căld.de fuziune CaO Q_{tCaO}	40.400	0,82
			TOTAL CALDURA UTILA Q_u	2.441.860	50,05
			Căldură pierdută Q_p		
			-căld.de reducere orizi Q_{ro}	192.000	3,81
			-căld.fiz.orizi Q_{fuz}	21.000	0,42
			-căld.descomp. $CaCO_3$ Q_{dCO_3Ca}	93.000	1,91
			-căld.apă răcire $Q_{p.H_2O}$	749.000	15,27
			-căld.prim cond.si conv.cuvei $Q_{p.cuvă}$	25.825	0,52
			-căld.sensib.gaze hotă Q_{sg}	1.062.525	22,07
			-căld.sensib.gaze plinii Q_{sp}	21.700	0,44
			-căld.sensib.praf în gaze Q_{praf}	640	0,01
			-căld.radiat. Q_{rad}	245.710	5,00
			Diferență neidentificată Q_{neind}	25.000	0,50
			TOTAL CALDURA PIERDUTA	2.436.400	49,55
TOTAL CALDURA INTRATA Q_e	4878260	100%	TOTAL CALDURA IESITA	4.878.260	100 %

FIG. 118. BILANȚUL ENERGETIC AL UNUI CUPTOR DE TIP SEMIDESCHIS DE CONSTRUCȚIE SPECIALĂ



Timpul de funcționare pentru care s-a calculat bilanțul, a fost de 627,25 ore, s-a produs 6615353 kg. carbid, cu o concentrație de 73,56 % CaC_2 , ceea ce corespunde la o degajare de acetilenă de 280,33 l/kg C_2Ca .

În tabelul nr.26 și figura nr.119 sînt prezentate recapitulativ datele de bilanț a unui cuptor de tip semideschis (nr.6) care a fost supus ulterior unui program de modernizare, respectiv reconstruirea lui într-o variantă de cuptor de tip acoperit.

Timpul de funcționare pentru care s-a calculat bilanțul a fost de 658,27 ore, s-a produs 6.840.000 kg. carbid cu o concentrație de 73,55 % ceea ce corespunde la o degajare de acetilenă, de 280,28 l/kg C_2Ca .

Bilanțul energetic al unui cuptor de 40 MVA de tip acoperit (nr.6)

La un cuptor de tip acoperit s-a întocmit bilanțul energetic după același model de calcul ca și pentru cuptorul semideschis.

Timpul de funcționare pentru care s-a calculat bilanțul a fost de 710,13 ore, s-a produs 7.053.300 kg carbid cu o concentrație de 71,72 % C_2Ca ceea ce corespunde la o degajare de acetilenă de 273,7 l/kg. carbid.

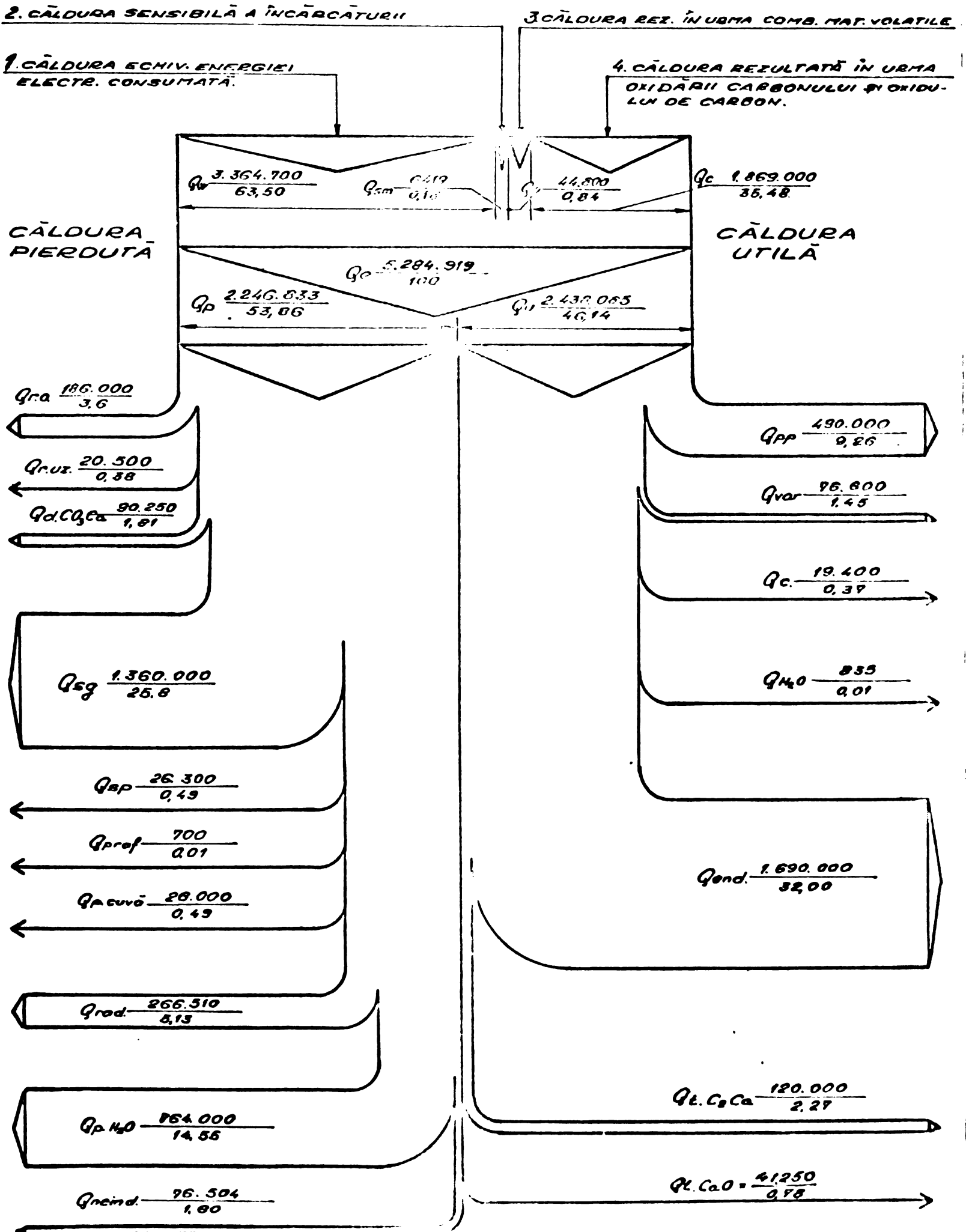
Din tabelul nr.27 și figura nr.120 se prezintă recapitulativ datele de bilanț rezultate din calcule.

./.

Bilanțul energetic al unui cuptor de tip semideschis (nr.6) de construcție specială

ENERGIE INTRATA	Kcal/t	%	ENERGIE IESITA	I	kcal/t	%
-căldură echiv.energiei electrice consumată, Qw	3364700	63,5	Căldura utilă Qu	Qpp	490000	9,26
-căldura sensibilă a încărcăturii, Qsm	6419	0,18	-căld.sens.prod.princip.	Qvar	76600	1,45
-căldure rezultata în urma comb.mat.volatile, Qv	44800	0,84	-căld.sens.var nereacționat	Qc	19400	0,37
-căldura rezult.în urma oxid.carbonului și oxidului de carbon, Qc	1859000	35,48	-căld.pt.evap.umiditate	QH ₂ O	835	0,01
			-căld.de form.CaC ₂	Qend	1690000	32,00
			-căld.de topire CaC ₂	Qt C ₂ Ca	120000	2,27
			-căld.topire CaO nereact	Qt CaO	41250	0,78
			TOTAL CALDURA UTILA		2438085	46,14
			Căldură pierdută Qp			
			-căld.pt.reduc.oxidizilor	Qro	186000	3,6
			" topire oxizi	Qfuz	20500	0,38
			" descomp.CaCO ₃	Qd CO ₂ Ca	90250	1,81
			" sensib.gaze hotă	Qsg	1360000	25,8
			" " pînii	Qsp	26300	0,49
			" " praf	Qspraf	700	0,01
			" prin cond.și conv.cuvei	Qp cuvă	260000	0,49
			" pierdută prin radiație	Q rad	266.510	5,13
			" cedată apă răcire	Qp H ₂ O	764.000	14,55
			" diferență neidentificată	Q neid.	76.564	1,60
			TOTAL CALDURA PIERDUTA		2.246.833	53,86
TOTAL ENERGIE INTRATA	5284919	100%	TOTAL ENERGIE IESITA :		5.284.919	100 %

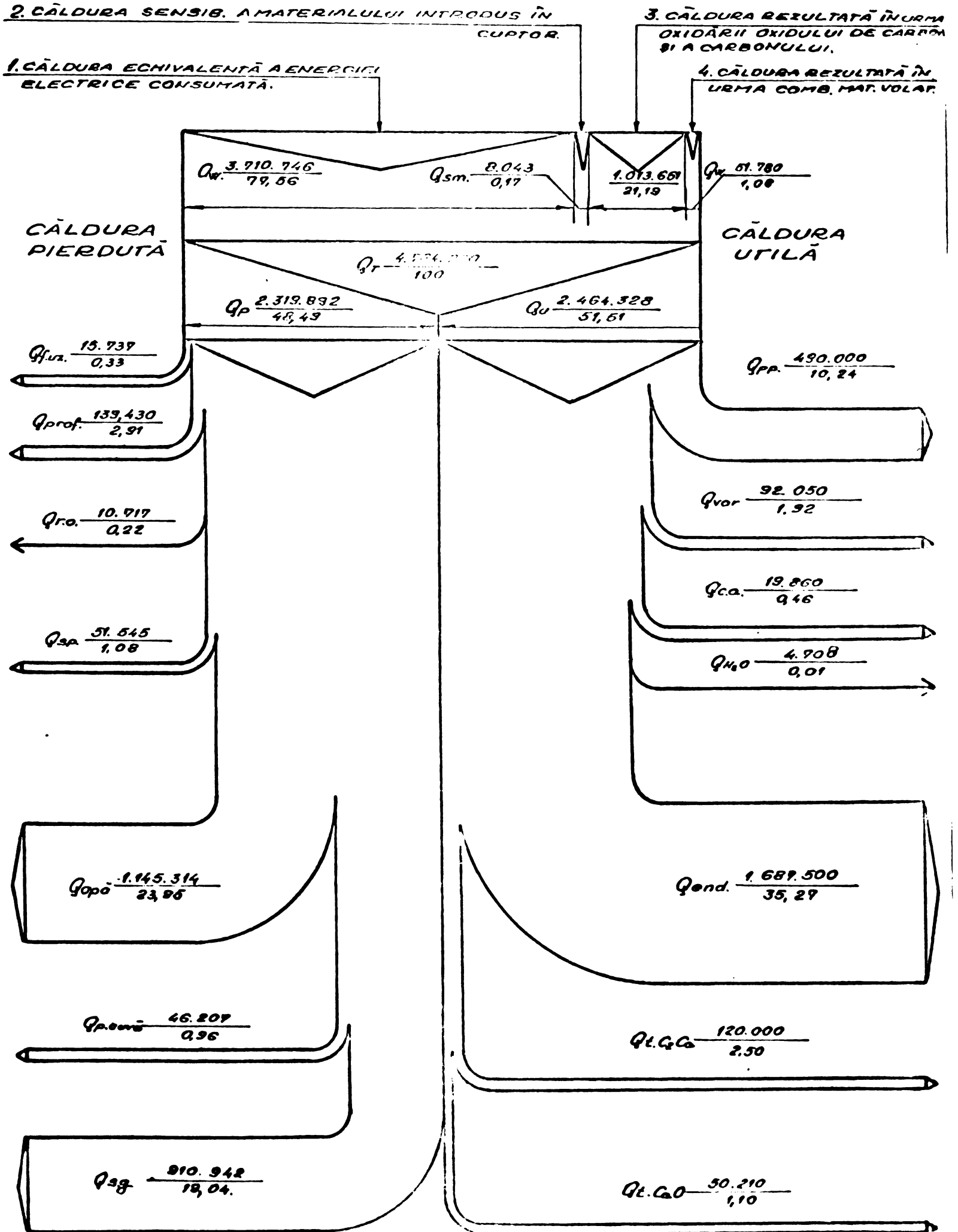
FIG. 119. BILANȚUL ENERGETIC AL UNUI CUPTOR DE TIP SEMIDESCHIS DE CONSTRUCȚIE SPECIALĂ.



Bilanțul energetic al unui cuptor de tip acoperit de 40 MVA

ENERGIA INTRATA	Kcal/t	%	ENERGIA IESITA	Kcal/t	%
-caldura echiv.energiei electrice consumate, Q_w	3710746	77,56	Caldura utilă Q_u		
-caldura sensibil.a mater. introdus în cuptor Q_{sm}	8043	0,17	-caldura sensibil.a prod.princ.ce părăsește cuptorul, Q_{pp}	490000	10,24
-caldura rezult.în urma oxidării oxidului de carbon și a carbonului	1013651	21,19	-cald.sensib.a varului nereactionat ce părăsește cuptorul, Q_{var}	92050	1,92
-cald.rezultatata în urma comb.mat.volat.	51780	1,08	-cald.sensib.a carbonului nereact. regăsit în carbid, Q_{ca}	19860	0,46
			-cald.pt.evaporare umiditate, Q_{H_2O}	4708	0,01
			-cald.formare CaC_2 Q_{end}	1687500	35,27
			-cald.topire CaC_2 $Q_{t C_2Ca}$	120000	2,50
			-cald.topire CaO nereacț. $Q_{t CaO}$	50210	1,10
			TOTAL CALDURA UTILA Q_u	2464528	51,51
			-cald.topire impurit. Q_{fuz}	15737	0,33
			-cald.nec.reduc.oxizilor, Q_{ro}	10717	0,22
			-cald.evacuate cu praful Q_{praf}	139430	2,91
			-cald.preluată de apa de răcire, Q_d apă	1145314	23,95
			-pierderi căldură prin cuvă, Q_p cuvă	46207	0,96
			-caldura pierdută prin gazele eliminate la hotă Q_{sg}	910942	19,04
			-cald.pierdută prin gazele eliminate la pîlnii, Q_{sp}	51542	1,08
			TOTAL CALDURA PIERDUTA	2319892	48,49
CALDURA TOTALA INTRATA	4784220	100 %	TOTAL CALDURA IESITA	4784220	100 %

FIG.120. BILANȚUL ENERGETIC AL UNUI CUPTOR DE TIP ACOPERIT DE 40MVA.



Cele patru bilanțuri (cuptor acoperit și diferite tipuri constructive de cuptoare semideschise) au fost întocmite în condiții comparabile de calitate a materiilor prime. Diferențele datelor de bilanț, rezultă din valoarea diferită a parametrilor de lucru impusă de modificările constructive a fiecărui tip de cuptor.

În tabelul nr.28 sînt prezentate comparativ pe cuptoare, cele mai semnificative date din bilanțuri.

Tabel nr.28

Situația comparativă a unor date din bilanțurile cuptoarelor de tip semideschis și de tip acoperit

Nr. crt.	U/M	tipul cuptorului				
		cuptor semideschis nr.4	cuptor semideschis nr.5	cuptor semideschis nr.6	cuptor acoperit nr.6	
1.	Căldura echivalentă energiei electrice consumate din total energie intrată în proces	%	64,4	71,50	63,5	77,56
2.	Căldură de formare a carburului, din total căldură ieșită din proces	%	31,0	34,70	32,0	35,27
3.	Căldura rezultată în urma oxidării oxidului de carbon și carbonului, din total căldură intrată în proces	%	34,57	27,30	35,48	21,19
4.	Căldura evacuată cu gazele de hotă din total căldură ieșită din proces	%	29,20	22,0	25,80	19,20
5.	Căldura evacuată cu apa de răcire a echipamentului mecanic al cuptorului, din total căldură ieșită din proces	%	13,70	15,34	14,55	23,90

./.

În urma analizei datelor prezentate în tabelul nr.28 rezultă superioritatea performanțelor cuptorului de tip acoperit. Diminuarea prin acoperire cu peste 6 % a căldurii evacuate cu gazele de hotă și reducerea cu cca 14 % a căldurii rezultate în urma arderii în cuva și hota cuptorului, a carbonului și oxidului de carbon, conduce la obținerea unui randament energetic total, mult îmbunătățit la cuptorul de tip acoperit.

Performanțe bune prezintă și cuptorul de tip semideschis (nr.5) comparativ cu celelalte două tipuri de construcții identice 4 și 6.

La cuptorul de tip acoperit (nr.6) pierderi însemnate de căldură (majoritate cu cca 9 % față de cuptorul semideschis) se realizează prin apă de răcire a echipamentului mecanic.

Pentru creșterea ponderii căldurii de formare a carburului, din total căldură ieșită din proces) se propune :

- reconstruirea etapizată a cuptoarelor semideschise în varianta de cuptoare de tip acoperit și apoi complet închis.

- sporirea cantităților de gaze cu conținut de oxid de carbon, care se absorb din cuptorul de tip acoperit prin perfecționări aduse instalațiilor de absorbție, spălare și purificarea gazelor. Se diminuează cantitățile de gaze ce ard în hotă, scade temperatura încărcăturii din zona superioară a cuvei și deci, scad cantitățile de carbon ce se oxidează.

- valorificarea căldurii evacuate prin agentul de răcire al echipamentului mecanic al cuptoarelor, prin utilizarea ca agent de răcire a aburului în loc de apă (se realizează o supraîncălzire a aburului)

- recuperarea căldurii sensibile a topiturii de carbură evacuată din cuvă (studierea și concepția unui tip de utilaj adecvat)

3.4. STUDII PRIVIND PURIFICAREA GAZELOR REZULTATE DE LA
CUPTOARELE ELECTRICE PENTRU OBTINEREA CARBIDULUI

[92, 94, 95, 96, 98]

Procesul de fabricare a carbidului din var și cărbune este caracterizat și de formarea unor cantități însemnate de gaze de reacție, constituite în majoritate din oxid de carbon.

La cuptoarele de putere mijlocie și mare, o parte din aceste gaze se elimină din zona de reacție prin intermediul unor instalații de constituție clasică sau specială, gaze care după purificare (eliminarea suspensiei mecanice) se utilizează ca atare (combustibil sau materie primă pentru industria chimică). Altă parte, arde la suprafața șarjei, componenții rezultați fiind eliminați în atmosferă cu sau fără purificare.

Conform reacției de formare a carburii de calciu, pentru fiecare 1000 kg. carbură de calciu, trebuie să se degajeze 437,5 kg. CO, ceea ce la o temperatură de 15⁰C corespunde 370 mc. gaz [7]

Funcție de cantitatea de oxid de carbon ce se valorifică în raport cu produsul util, acetilena echivalență din produsul obținut, cuptoarele electrice se grupează astfel ;

- cuptoare deschise : fără valorificare de oxid de carbon sau valorificare parțială raportul

$$\frac{CO}{C_2H_2} < 1$$

- cuptoare semideschise ; cu valorificare de oxid de carbon

$$\text{Raportul } \frac{CO}{C_2H_2} = 1,0 \div 1,2$$

- cuptoare acoperite ; cu valorificare de oxid de carbon

$$\text{Raportul } \frac{CO}{C_2H_2} = 1,2 \div 1,4$$

- cuptoare complet închise ; cu valorificare de oxid de

$$\text{carbon - Raportul } \frac{CO}{C_2H_2} > 1,8$$

Compoziția chimică a gazelor în diversele puncte ale băii de carbid este diferită.

./.

Prin intermediul unor sonde constituite din tuburi din beton refractar (de următoarea compoziție : 62 % Al_2O_3 și 36 % CaO, rest dif.oxizi) s-au recoltat probe din diverse zone ale cuvei, unui cuptor de 40 MVA de tip acoperit. Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul nr.29.

Tabelul nr.29

Caracteristicile fizico-chimice ale gazelor rezultate dintr-un cuptor de 40 MVA.

Locul de prelevare a probei	Compoziția chimică					Conținut de praf mg/mc
	CO	CO ₂	H ₂	O ₂	hidrocarb.	
-lateral fază violentă (400 mm pe verticală și 300 mm pe orizontală de la vîrf electrod	85,2	0,90	12,4	0,3	1,4	2500
-idem fază moartă	60,4	5,83	13,5	1,8	2,0	3500
-faza II spate la 100 mm de electrod și 300 sub încărcătură	65,2	3,4	12,5	1,6	3,0	6500
-colector de gaze de sub acoperire	80,4	3,9	12,7	0,9	2,5	12000
-la 500 mm deasupra șarjei, între electrozi	1,8	2,6	18,4	3,5		900

Din analiza datelor prezentate în tabelul 29, rezultă o concentrație a gazelor în oxid de carbon (componentul valoros) mai ridicat, în zona fazei violente și practic gazul este lipsit de oxid de carbon deasupra șarjei.

Compoziția și cantitatea de gaz exhaustată depinde de calitatea șarjei, de tipul și starea tehnică a sistemului de colectare a gazelor și de poziția zonei de topire.

Cantitatea de praf degajat și compoziția lui, depinde de materia primă utilizată și de regimul de lucru stabilit. Componentul principal al prafului cu gaze îl constituie calciul sub formă de carbonat sau oxid (cca 75 %). În tabelul nr.30 se prezintă compoziția chimică a câtorva probe de praf.

./.

Tabelul nr.30

Compoziția chimică a prafului separat din gazele de cuptor

Locul de prelevare	COMPOZIȚIA				
	CaCO ₃	CaO	Al ₂ O ₃	C	Fe ₂ O ₃
-domul colector (gaze de sub acoperire)	28	43	5	8	3
-gaze hotă, nepurificate	34	46	4,5	0,3	4
-gaze de sub acoperire purificate pe cale umedă	64,3	1,6	0,5	18	7
-gaze de hotă, purificate pe cale uscată	38	44	5,0	0,3	5

Temperatura măsurată a gazelor sub acoperire este cuprinsă între 600 - 800 °C.

Gazele evacuate din cuptoarele de carbid, pentru utilizare, necesită a fi purificate de suspensiile mecanice conținute. Purificarea gazelor de hotă se impune pentru diminuarea poluării atmosferice.

Epurarea gazelor de la cuptoarele de carbid se face de regulă în trei faze și anume :

- epurarea preliminară (reținere cca 30 % din suspensii)
- epurare propriuzisă (reținere cca 55 % din suspensii)
- epurare finală (reținere cca 10 % din suspensii)

Un gaz bine purificat nu trebuie să conțină mai mult de 4 - 10 mg/mc suspensii.

Epurarea gazelor de cuptor (de hotă sau de sub acoperire) se realizează prin metode clasice și anume :

- epurare uscată ; camere de desprăfuire, ci - cloane, multicloane, filtre cu masă filtrantă pe bază de sticlă, etc. Se aplică în general gazelor de hotă-

- epurare umedă - spălătoare verticale și spălătoare orizontale, tuburi venturi, separatoare inerțiale etc.
- epurare electrostatică - filtre electrice, camere de desprăfuire.

La un cuptor de 40 MVA de tip acoperit, s-a studiat îmbunătățirea instalației de spălare și purificare a gazelor obținute de sub acoperire și a gazelor de hotă, în care sens s-au adoptat și conceput utilaje și părți de instalații adecvate scopului propus.

Purificarea gazelor rezultate de sub acoperire ;

Instalația de captare și purificare a gazului cu conținut de oxid de carbon, rezultat de sub acoperirea cuptorului, s-a compus din două circuite (linii) identice, cuplate la acoperirea cuptorului, fiecare dintre ele cuprinde următoarele utilaje ;

- camera de gaze
- spălător vertical și separator orizontal
- separator tub Venturi I, purificarea grosieră
- separator tub Venturi II, purificarea fină
- separator centrifugal
- suflanta de aspirație - transport,
- închizător dublu hidraulic

Camerele de gaze, trebuiau să realizeze separarea particulelor pînă la 40μ separatoarele verticale și orizontale pînă la $10 - 20 \mu$ și separatoarele tuburilor venturi, pînă la $0,1 \mu$ conducînd în final prin legare în serie la un randament total de purificare de 99,9 %.

Au fost determinați parametrii funcționali ai instalației în ansamblu, cît și pentru fiecare utilaj în parte, referitor la randamente de captare, consumuri de presiune, conținuturi de șlam în gaz pe diferite faze, consumuri de apă, consumuri de energie electrică, coeficienții de siguranță în exploatare, caracterizarea gazului final obținut și a apelor uzate rezultate.

Analizând în detaliu modul de funcționare a acestei instalații de absorbție și purificare a oxidului de carbon, am constatat următoarele neajunsuri :

- indicelui intensiv de utilizare scăzut
cca 89 % (raportul dintre timpul de funcționare a cuptorului și timpul de funcționare a instalațiilor)

- conținutul ridicat de praf în gazul purificat 100 - 150 mg/mc.

- existența în flux a unui număr ridicat de utilaje în funcțiune (14 buc) care necesitau multe reglări pentru evitarea depunerilor pe traseul gazelor și apelor de spălare.

- pulverizatoarele de apă (\varnothing 4 mm p = 3 at) nu satisfăceau necesitățile de funcționare. Conul de stropire fiind mic ($\alpha = 15^\circ$) rămân spații libere în zona de contact, gazul străpunge utilajul, fără modificarea și purificarea scontată.

- grad scăzut de automatizare în funcționarea instalației.

Caracteristici și parametrii mai importanți ai instalației și utilajelor din actualele instalații :

a) consum de apă pentru spălare

Consumul total de apă pe instalație este de cca 108 mc/oră, repartizat astfel ;

- consum apă la spălătorul vertical și separatorul orizontal = 83,00 mc/oră (76,28 %)

- consum apă la tub venturi I
= 12,90 mc/oră (11,85 %)

- consum apă la tub venturi II
= 12,90 mc/oră (11,85 %)

Apa utilizată pentru spălare pe întreaga instalație reprezintă 49,0 mc/1000 mc gaz purificat.

b) Apele uzate rezultate au un conținut de

- 0,1569 kg/mc suspensie (var, carbid, cocs)
- 0,0199 mc/gaz CO/mc apă dizolvat la temperatura de 30 °C
- pH = 10,5
- urme de ioni CN^-

c) Utilaje din flux

- camerele de gaze (canale paralelipipedice montate orizontal) viteza gazului este de 1,83 m/sec. Creșterea vitezei conduce la diminuarea depunerilor de suspensii pe trasee. Corespunzător dimensiunilor și densităților particulelor de praf din gaz, viteza de plutire este de $W_{\text{plutire}} = 0,28 \text{ m/sec}$, iar viteza de sedimentare este de $W_{\text{sedimentare}} = 5,80 \text{ cm/s}$

- spălătoarele verticale și separatoarele orizontale, sînt turnuri de stropire cu capacitate variabilă. Randamentul de separare este funcție de indicele de stropire și impactul gaz - apă. Spălătoarele verticale sînt prevăzute cu un număr de 24 buc. de duze de stropire cu apă, montate pe 4 centuri circulare corpului spălătorului. Debitul unei duze este de 1200 l apă/buc și oră.

- tuburi venturi I și II, la care randamentele optime sînt determinate de condițiile de lucru. Caracteristicile de lucru ale acestor tuburi sînt ;

- TV I - viteza de lucru 23,17 m/s
- - căderea de presiune pe tub 378,08 mm CA
- - raportul lichid-gaz 1/5,8
- TV II - viteza de lucru 43,40 m/s
- - căderea de presiune pe tub 1224 mm CA
- - raportul de lichid-gaz 1/5,8

- separatorul centrifugal - care are un domeniu larg de lucru. Viteza gazului 9 - 20 m/s , viteza măsurată a fost numai de 2,448 m/s.

- suflantele tip SRD 72 A la actualele condiții de lucru parametri realizați pe instalație sînt ; $p = 2040 \text{ mm CA}$ și $Q = 2215 \text{ mc/oră}$.

Suflanta aferentă instalației (SRD 72 A) conform prospectului de funcționare, realizează următorii parametri :

p (mmCA)	Q (mc/h)	N (kW)
4000	5320	130
3000	5760	105
2000	6300	78
1500	6595	65

Rezultă că, în actualele condiții există o supradimensionare pronunțată a debitului de gaz. Aceasta determină efortul de reglare și o inconstanță de funcționare.

În scopul îmbunătățirii performanțelor instalației de absorbție și purificare a oxidului de carbon, s-au studiat și adoptat, următoarele modificări și completări ale instalației :

1. Realizarea unei instalații cu două linii în paralel la o capacitate care să asigure cu o singură linie absorbția, spălarea și purificarea gazelor în condiții normale de funcționare a cuptoarelor de carbid acoperite,

Trecerea gazelor de pe o linie pe alta se va putea realiza în timpul funcționării cuptorului la sarcina normală.

2. Izolarea părților de instalație față de cuptor, se va realiza prin închidere hidraulică într-un separator de picături vertical special conceput.

3. Introducerea în fluxul tehnologic a unor turnuri de stropire și turnuri de spălare cu umplutură din inele rasching, care vor asigura în final o puritate avansată a gazelor.

4. Introducerea în fluxul tehnologic, a unor separatoare de picături de construcție specială.

5. Înlocuirea actualelor tipuri de duze de stropire prin duze tip CCTC₁ și tip CCTC₂ (concepție proprie)

6. Înlocuirea actualelor închizătoare hidraulice duble de la coada sistemului, prin alte tipuri de închizătoare cu un grad ridicat de automatizare.

INSTALAȚIA CU PERFORMANȚE SUPERIOARE, PENTRU ABSORBȚIA ȘI PURIFICAREA GAZELOR, CU PROPRIETĂȚI EXPLOZIVE, REZULTATE DE LA AGREGATILE ELECTROTHERMICE este prezentată în figura nr.121.

./.

1. COȘ DE GAZE
2. CAMERA DE GAZE
3. CLAPETA DIRIJARE GAZE
4. TURN STROPIRE
5. TURN CU CORPUSI UMPLOT
6. SPĂLĂTOR VENTURIJIGRO.
7. SPĂLĂTOR VENTURIJIGRO.
8. FILTRU CU UMPLOTURĂ
9. DOM COLECTOR
10. SUFLANȚĂ DE GAZE
11. VAG ÎNCHIZĂTOR HIDRAULIC
12. ELECTROVENTIL APĂ
13. TRANSDUCTOR DE PRESIUNE
14. SURSĂ DE CURENT CONTINU
15. ÎNREGISTRATOR PRESIUNE
16. SEMNALIZATOR SONOR
17. REGULADOR
18. CONVERTOR
- PI - INDICATOR DE PRESIUNE
- TI - INDICATOR DE TEMPERATURĂ
- CI - INDICATOR DE DEBIT

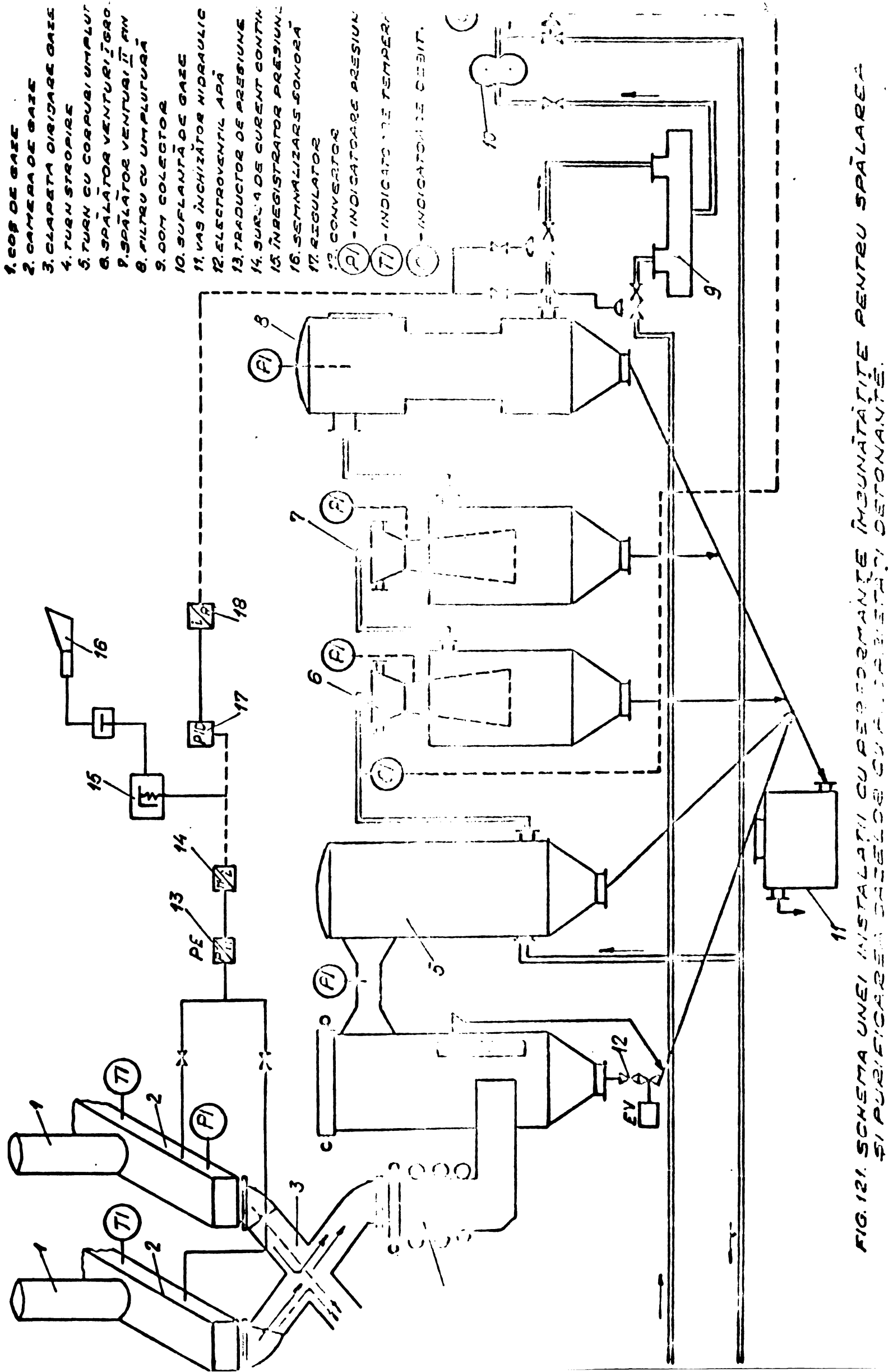


FIG. 121. SCHEMA UNEI INSTALAȚII CU PERFORMANȚE ÎMBUNĂȚĂȚITE PENTRU SPĂLAREA ȘI PURIFICAREA GAZELOR CU METANUL DETONANT.

Gazele uscate cu conținut de praf, sînt preluate din camerele de gaze într-un colector distribuitor, cu duble ramificații, prevăzut pentru fiecare cameră cu posibilitatea de reglare grosieră a debitului, prin clapete acționate manual.

Spectrul granulometric al prafului din gazul brut este prezentat în tabelul nr.31.

Tabelul nr.31

Spectrul granulometric al prafului din gazul brut.

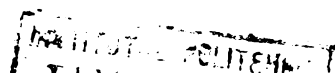
Diametrul particulei (μ)	Reziduu %	Distribuția particulei %	Trecere %
$d > 40,0$	0,00	5,60	100,0
$35,0 = d = 40,0$	5,60	0,60	94,40
$27,8 = d = 35,0$	6,20	1,40	93,80
$16,5 = d = 27,8$	7,60	2,60	92,40
$11,10 = d = 16,5$	10,20	3,60	89,80
$6,5 = d = 11,1$	13,8	7,60	86,20
$4,25 = d = 6,5$	21,40	7,40	78,60
$2,37 = d = 4,25$	28,80	14,80	71,20
$d < 2,37$	43,60	56,40	56,40

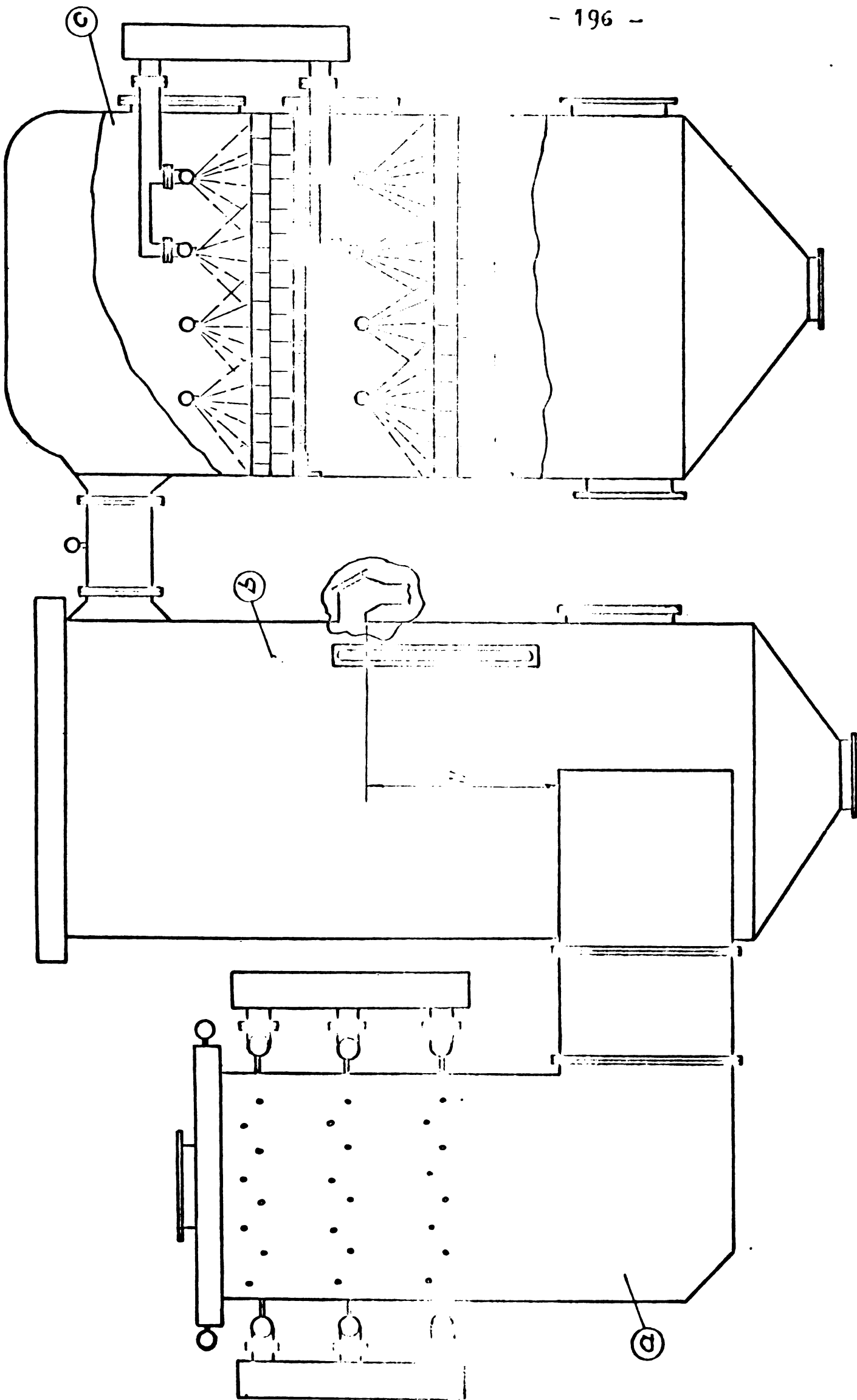
Colectorul - distribuitor asigură preluarea gazelor de la ambele pîlnii, pe una sau alta din seriile instalației de spălare și purificări.

Seriile instalațiilor de spălare sînt identice atît în construcție cît și în menținerea parametrilor de funcționare.

De la colectorul - distribuitor, gazele sînt trecute în turnul de stropire și turnul cu corpuri de umplere. Aceste utilaje sînt prezentate în figura nr.122 . Turnul de stropire în figura 122 a, se compune dintr-un vas cilindric vertical legat de colectorul - distribuitor prin sistem demontabil (flanșe) care la nevoie permite izolarea instalației de cuptor prin blindare mecanică. Mantaua vasului cilindric este prevăzută cu trei circuite de spălare prin duze tip CTC_1 , conectate la rețeaua de apă industrială. Gazele cu

./.





A.-TURN DE SPĂLARE; B.-SEPARATOR CENTRIFUGAL; C.-TURN DE SPĂLARE CU UMPLUTURĂ.
FIG. 122. UTILAJE PENTRU SPĂLARE GROSIERĂ

particulele umectate trec într-un separator vertical (centrifugal) fig.122 b, în care intră tangențial prin partea inferioară. Separatorul centrifugal este gol în interior și asigură separarea particulelor grosiere umectate în vasul de stropire. Acest utilaj, prin închiderea ventilului montat pe fundul conic, asigură izolarea prin închidere hidraulică a instalației de cuptor. Pentru evitarea depunerii crustelor pe pereții separatorul centrifugal este prevăzut cu un baraj deversor.

În continuarea în flux gazele trec într-un turn de spălare fig.122 c prevăzut cu două straturi de inele Rasching, montate pe grătare metalice. Straturile de inele Rasching vor fi în permanență stropite cu apă, printr-un carotaj de duze amplasate deasupra acestora.

Gazele cu particule cu dimensiuni sub 10μ din turnul cu umplutură trec la spălarea fină în tuburile venturi.

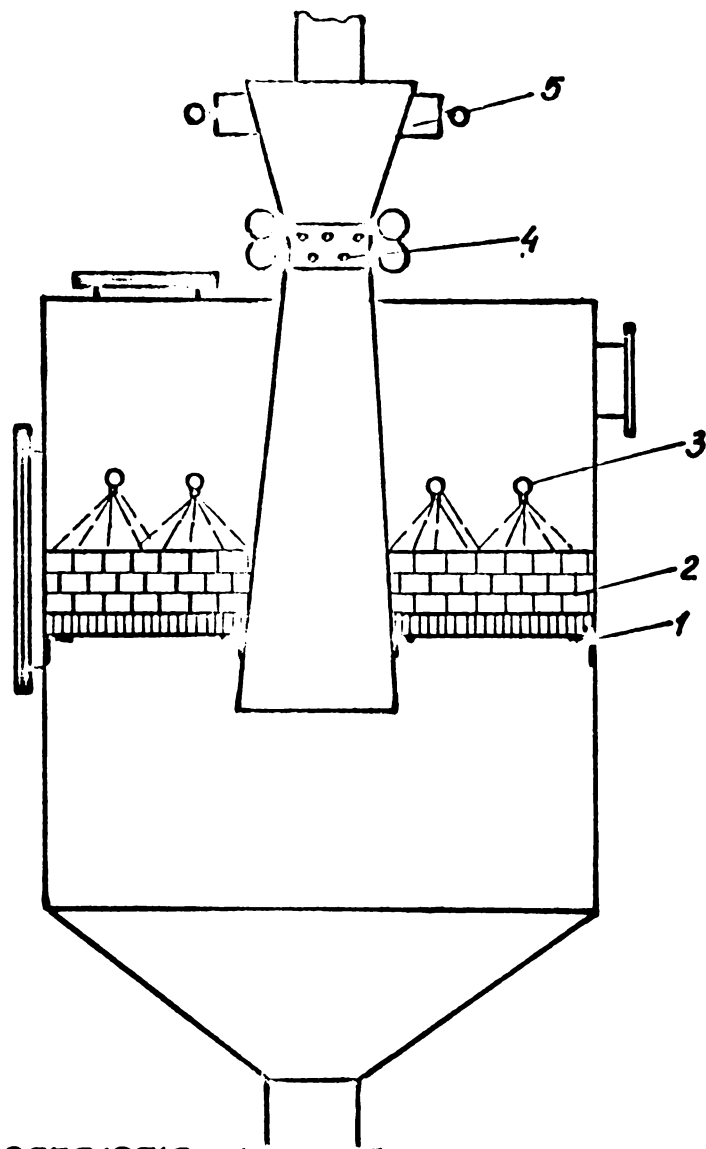
Tubul venturi treapta I nu diferă constructiv față de cel utilizat în prezent cu deosebirea că este dotat cu duze de spălare tip CCTC₁ și baraj deversor montat în partea superioară a tubului. Numărul duzelor pulverizatoare va fi dublat (8 buc).

Vasul de descărcare a tubului venturi II fig.123, este prevăzut cu un strat de inele Rasching, stropite cu apă, care asigură separarea ultimelor resturi de particule, cu dimensiunile de pînă la 1μ .

Separarea avansată a apei antrenată cu gazele din utilajele de spălare, se va realiza într-un vas separator fig.124 prevăzut în interior cu două zone de inele Rasching. Viteza gazului pe fiecare utilaj va avea valori majorate de la simplu la dublu și va avea ca efect :

- în vasele spălătoare și separatoarele de picături, contactul gaz - apă va avea un caracter forțat, cu efect pozitiv asupra separării particulelor solide din gaz :

./ .



CARACTERISTICI:

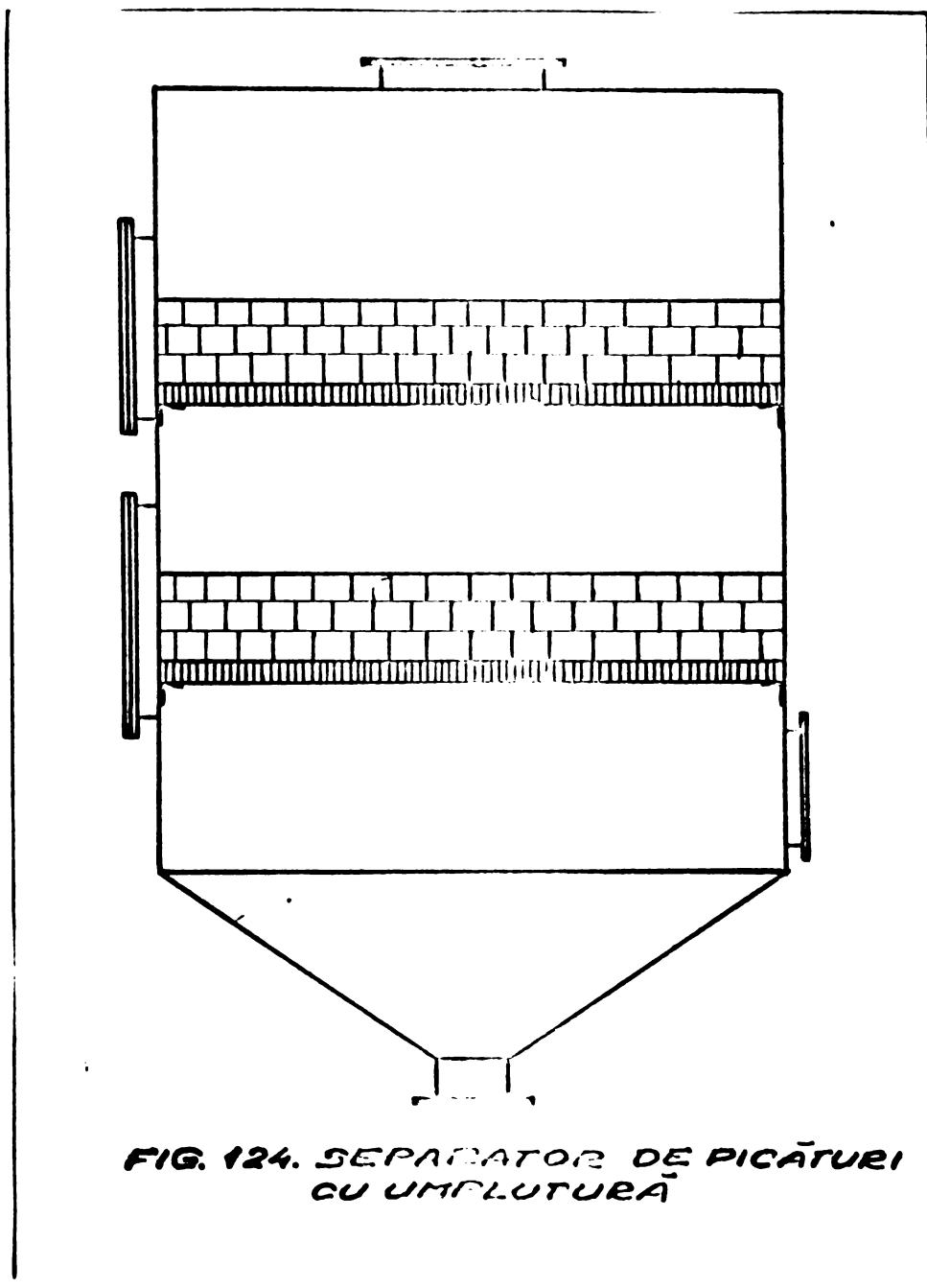
- CONSUM APĂ : 0,80 m³/h
- PRESIUNE LUCRU : 2 at.
- NR. DŪZE : 10 BUC.
- GRAD SEPARARE : LIMITĂ 1,0 U.

FIG. 123. TUB VENTURI II

1. PLACĂ PERFORATĂ; 2. UMPLUTURĂ DIN INELE
RASCHING; 3. DŪZE PT. SPĂLARE UMPLUTURĂ
TIP C.C.T.C.P.; 4. DŪZE TIP C.C.T.C.P.; 5. BARAJUL
DEVERBOR

- în tuburile venturii I și II, vitezele de 46,35 m/s și respectiv 86,3 m/s, va conduce la integrarea mai bună a acestor utilaje în domeniul de funcționare. Consumul

./.



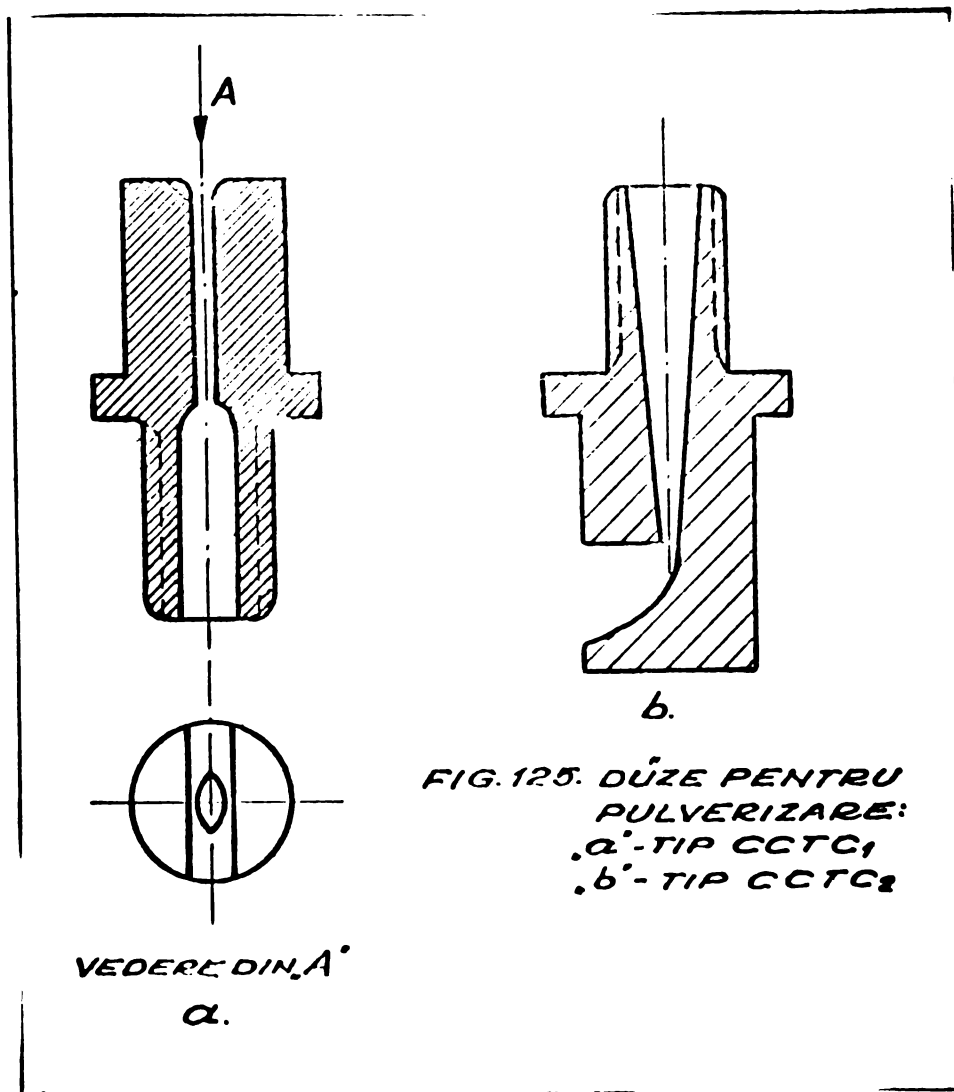
**FIG. 124. SEPARATOR DE PICĂTURI
CU UMPLUTURĂ**

de apă va fi dublu.

Duzole pulverizatoare nou propuse, vor realiza o stropire plană a cărui unghi de deschidere este proporțional cu presiunea aplicată.

./.

Duzele sînt prezentate în figura 125 și au următoarele caracteristici tehnice :



Tip CCTC₁ :

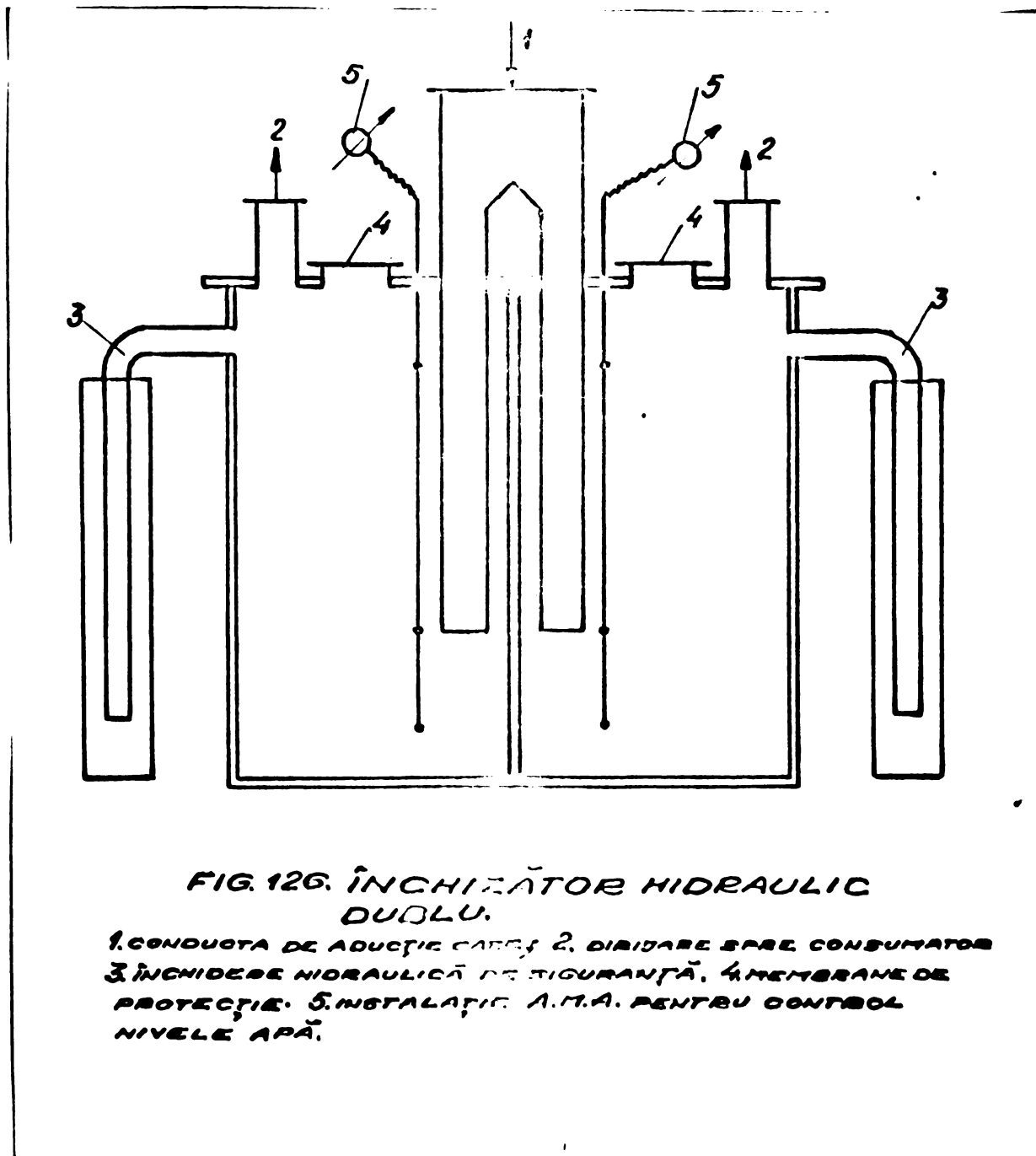
- presiunea apei de alimentare : 2 at.
- consumul de apă : 200 - 300 l/oră
- deschiderea unghiului de stropire $\varphi = 25^{\circ}$

Tip CCTC₂ :

- presiunea apei de alimentare : 2 at.
- consumul de apă : 400 - 500 l/oră
- deschiderea unghiului de stropire $\varphi = 35^{\circ}$

Gazele purificare sînt preluate de către o suflantă tip SRD-72 și trecute în continuare printr-un închizător hidraulic concepție proprie fig.126 la consumatori.

./.



Apole cu conținut de suspensie, sînt collocate de la toate utilajele apilătoare, la un închizător hidraulic, care are descărcare la canalul de ape uzate.

Căderea și presiunea (pe utilaje și traseu) va avea valori majorate față de instalația clasică cu aproximativ 50 %, adică 2700 - 3000 mm CA. Majorarea căderilor de presiune are ca efect :

- o purificare mai înaintată a gazelor
 - o întințare mai bună a suflantei SRD 72 în flux, respectiv funcționarea ei la următorii parametri :
- $p = 3000 \text{ mm CA}$; $Q = 5760 \text{ Nmc/oră}$, $H = 105 \text{ kW}$.

./.

Concepția și realizarea fluxului tehnologic al instalației, asigură prin recircularea unei părți din gazul purificat de la vasul separator de picături cu umplutură, la baza turnului de spălare, un debit constant, reglat automat pe utilajele de purificare fină.

Purificarea gazelor de hotă.

Purificarea gazelor de hotă, se impune a se realiza în scopul depoluării zonei industriale, în care se găsesc amplasate cuptoarele electrice.

Datorită debitului ridicat al gazelor de hotă, comparativ cu cel al gazelor captate din zona de reacție (de la pînii sau de sub acoperire), depoluarea acestor gaze, ridică pe lîngă problemele tehnice specifice purificării de gaze și problema de natură economică.

Cantitățile de gaze de hotă rezultate de la cuptoarele electrice funcție de tipul cuptoarelor se prezintă astfel ;

- cuptoare de tip deschis = 30000-40000 mc/t de carbid
(fără captare gaze din zona de reacție)
- cuptor de tip semideschis = 15000-18000 mc/t
- " " acoperit = 10000-12000 mc/t
- " " complet închis = 6000- 8000 mc/t

Purificarea gazelor de hotă, comparativ cu purificarea gazelor exhaustate din zona de reacție, conduc la implicații economice, uneori determinate în obținerea produsului specific cuptorului electric și aceasta datorită consumurilor de utilități (energie electrică sau apă) sporite ca urmare a debitelor ridicate a acestor gaze. Din acest considerent, purificarea gazelor de hotă nu se realizează în toate cazurile, uneori ele se elimină în atmosferă prin tiraj natural sau tiraj forțat.

Procedeele de purificare pe cale uscată a gazelor de hotă (camere de desprăfuire, cicloane, multicicloane, etc) au eficiența scăzută (randament de purificare mic sub 40%),

./.

datorită granulației mici a particulelor solide conținute în gaz, cit și a conținutului redus de solid a gazului brut (200-600 mg/mc) [93]

Utilizarea filtrelor electrice sau a celor cu masa filtrantă rezistentă la temperatură, conduce la randamentele de desprăfuire cele mai bune, însă costurile legate de construcția și funcționarea acestor utilaje fac puțin aplicată metoda. [91, 97]

Pentru cuptoarele de 12 MVA și 40 MVA am studiat mai multe procedee de purificare a gazelor de hotă pe cale umedă.

Procedee de purificare cu spalatoare cu strat

spumant.

Gazele de hota exhaustate din cuptor prin intermediul unor ventilatoare centrifugale de mare capacitate, pot fi refulate direct în atmosfera fără purificare sau trecute prin utilajele de spalare cu apă. În spalatorul cu strat spumant, prezentat în figura 127, gazele trec forțat printr-o sită pe care în permanență se gasește un film de apă.

Principalele caracteristici ale spalatorului
sint :

- debit de gaz	40000 mc/ora (gaz efectiv)
-viteza gazului la trecere	
prin sita spumantă	25 mc/sec
- debitul apei de spalare	18 mc/ora
- indicele de stropire	0,45 l/mc gaz
- diametrul orificiului sitei	
spumante	2,5 mm
- randamentul de desprăfuire	65 %
- căderea de presiune la	
trecerea gazului prin	
spalator	300 mm CA

În funcționarea acestui spalator s-a constatat un randament de desprăfuire scăzut și o infundare accentuată a sitei spumante fapt ce face inaplicabil sistemul.

./.

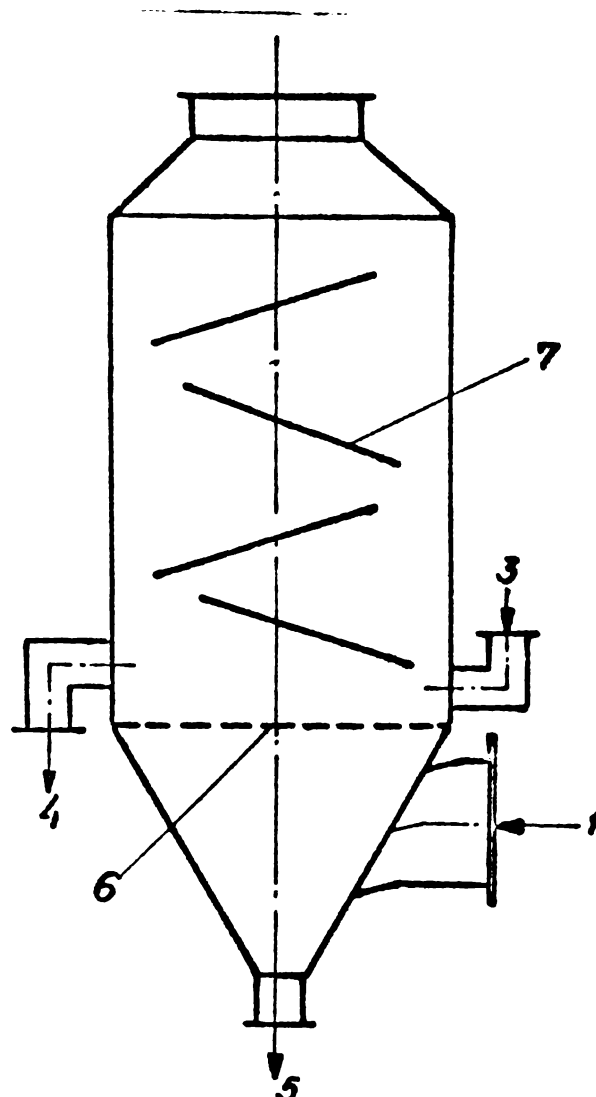


FIG. 127. SPĂLĂTOR CU STRAT SPUMANT.

1. GAZE BRUTE; 2. GAZE SPĂLATE;
3. APĂ CURATĂ; 4-5. SUSPENȚII DE
NĂMOL ÎN APĂ; 6. STRAT SPUMANT
7. ȘICANE SEPARATOARE DE PICĂTUȘI

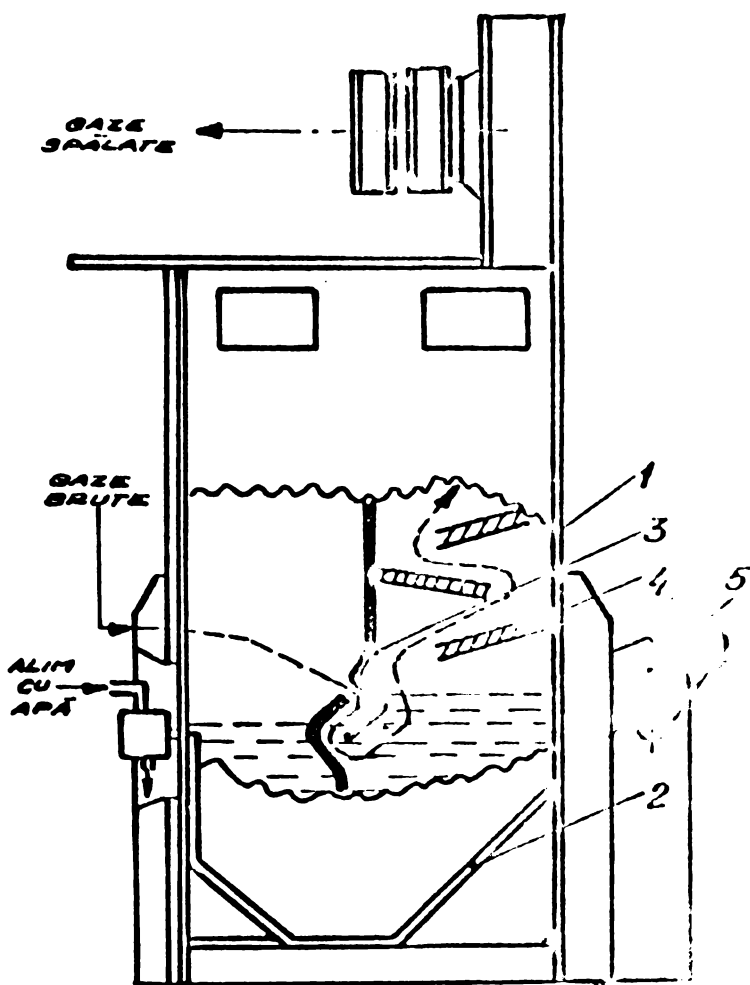


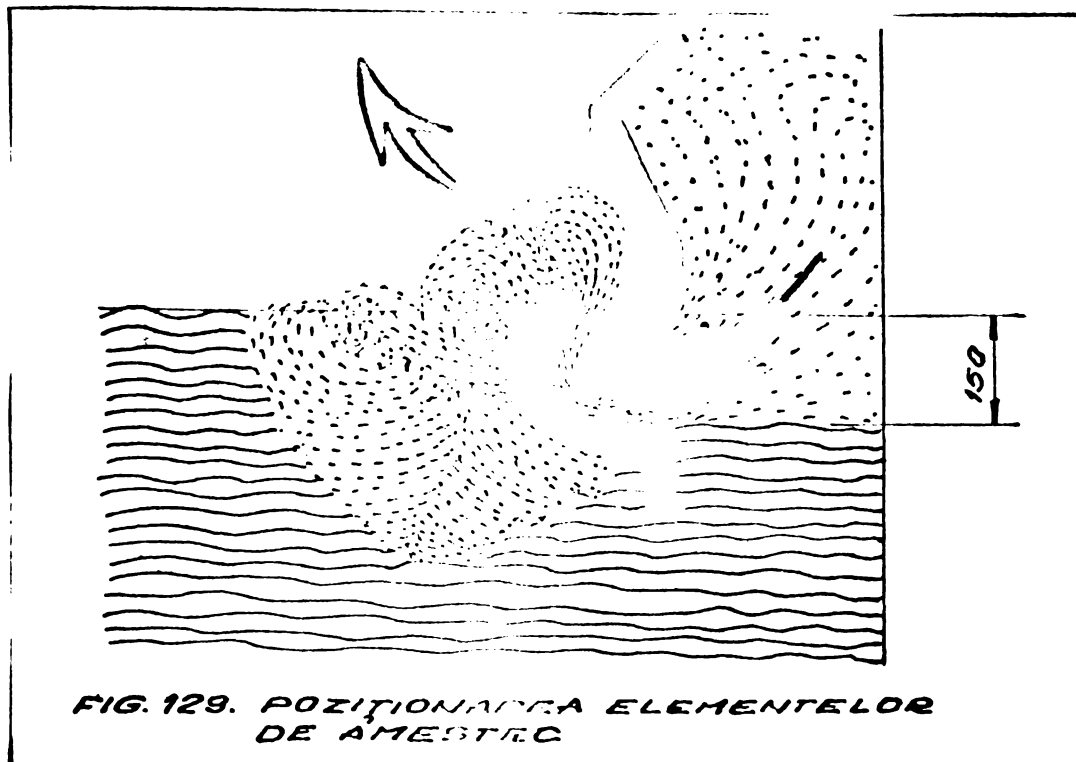
FIG. 128. SPĂLĂTOR TIP
HIDROCLON.

1. CORPUL HIDROCLONULUI; 2. BALIN PE
APE UZATE; 3. ELEMENTE DE AMESTEC;
4. ȘICANE PT. SEPARARE PICĂTUȘI;
5. EXTRACTOR DE REZIDIU SOLID.

Procedeu de purificare cu spălător,
"tip hidroclon"

Spălătorul "tip hidroclon",
prezentat în fig.128, este un des-
prăfuitor pentru aer sau gaze, fără
agresivitate chimică.

Curățirea gazului de praf se face prin amestecarea intimă a prafului cu apă și în același timp și prin separarea centrifugală. În elementele de amestec (figura 129), a căror fante de intrare sînt parțial acoperite cu apă, gazele cu



praf antrenează apa cu viteză mare, producându-se un amestec între gaz - lichid și totodată bulele de aer se fărâmițează. Apa se scurge de-a lungul peretelui inferior al elementelor de amestec. Forma elementului de amestec, imprimă apoi o mișcare centrifugală, conducând-o spre cel de al doilea element de amestec, obligînd în acest fel curentul de gaz să traverseze de două ori perdeaua de apă.

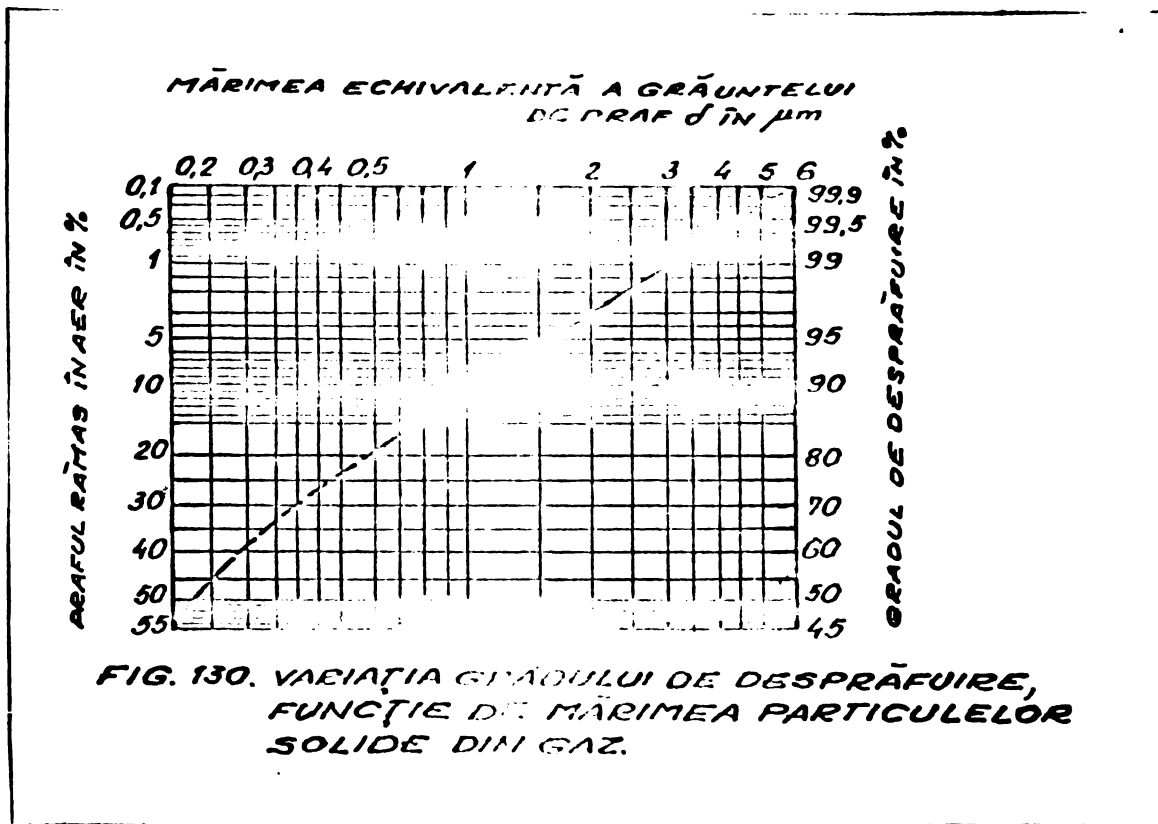
Datorită turbulenței ce se produce în elementele de amestec, chiar și cele mai nehidroscopice particule de praf, sînt captate în apă.

Stropii de apă antrenati de curentul de gaz curățit, sînt reținuți de șicane montate în carcasa desprăfuitorului.

Praful rezultat din curățirea aerului, se depune pe fundul bazinului prin sedimentare sub formă de ml, de unde este evacuat de lanțul transportor cu raclete.

Funcționarea corectă a desprăfuitorului este asigurată pînă la o concentrație a prafului de 40 g/mc. Gradul de desprăfuire în funcție de mărimea particulelor de solid

este prezentată în figura 130. Pierderile de presiune în des-



prăfuitor sînt relativ mici și variază funcție de debitul gazului supus purificării (fig.131).

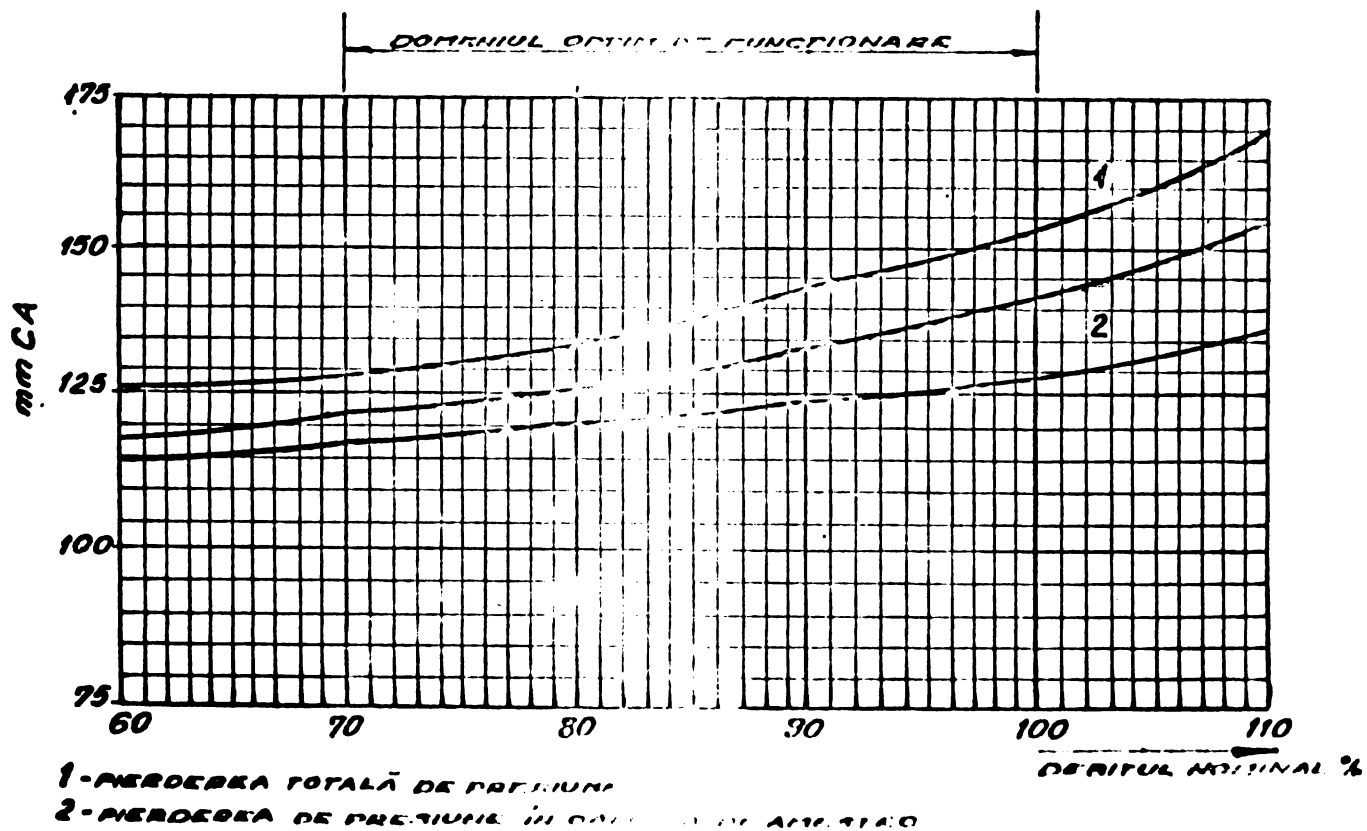


FIG. 131. VARIATIA PIERDERILOR DE PRESIUNE ÎN HIDROCLOANE

Din cauza pierderilor de presiune, în elementele de amestec, nivelul apei în spațiul cu gaze curate este mai ridicat (cca 150 mm) decât în spațiul cu gaze brute. Această diferență de nivel fiind direct proporțională cu pierderea de presiune și deci cu debitul gazului autoreglează menținerea vârtejului de apă în elementele de amestec.

Nivelul apei se menține automat în bazinul desprăfitorului. Datele experimentale obținute în urma funcționării unui spălător tip hidroclon la un cuptor de 12 MVA de tip deschis, sînt prezentate în tabelul nr.32.

În perioada de experimentale a acestui desprăfitor pe lîngă multiplele avantaje (consum scăzut de utilități, randament de desprăfuire acceptabil) s-au constatat depuneri substanțiale de praf umectat pe pereții interiori a utilajului fapt ce-l limitează timpul de funcționare.

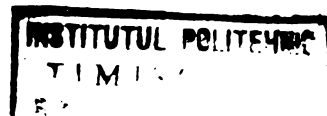
Procedeu de desprăfuire cu spălător tip "fantă reglabilă".

Spălătorul tip "fantă reglabilă" prezentat în figura 132 și imaginea nr.133 se compune din două vase, unul în care este montată fanta reglabilă (element mobil) din tablă de OL) care asigură strangularea spațiilor de trecere a gazelor (viteza crește uneori pînă la 50-60 m/s) și amestecarea lor cu apă și al doilea în care se face separarea gazului curat de apă cu conținut de praf.

Apa se introduce în vasul de amestec înainte de fanta reglabilă la o presiune relativ mică (0,5 - 1 at).

Nu se impun condiții de puritate a apei.

./.



Parametrii unui spălător tip hidroclon în diferite variante
de funcționare la un cuptor de 12 MVA

nr. crt.	Debitul de gaze mc/oră	Căderea de presiune pe hidroclon mm CA	Nivelul apei în hidroclon față de elementul infer.	Consumul de apă de spălare mc/oră	m/mc gaz	Cantit.de praf în gaze brute mg/mc	Cantit.de praf în gaze zelee curate mg/mc	Randament de desprăf. %	Obs
1.	15000	170	120	15	0,33	2070	455	78	
2.	30000	205	160	22	0,57	2070	372	82	
3.	35500	320	175	27	0,73	2070	269	87	
4.	28000	470	200	35	1,25	2070	103	95	

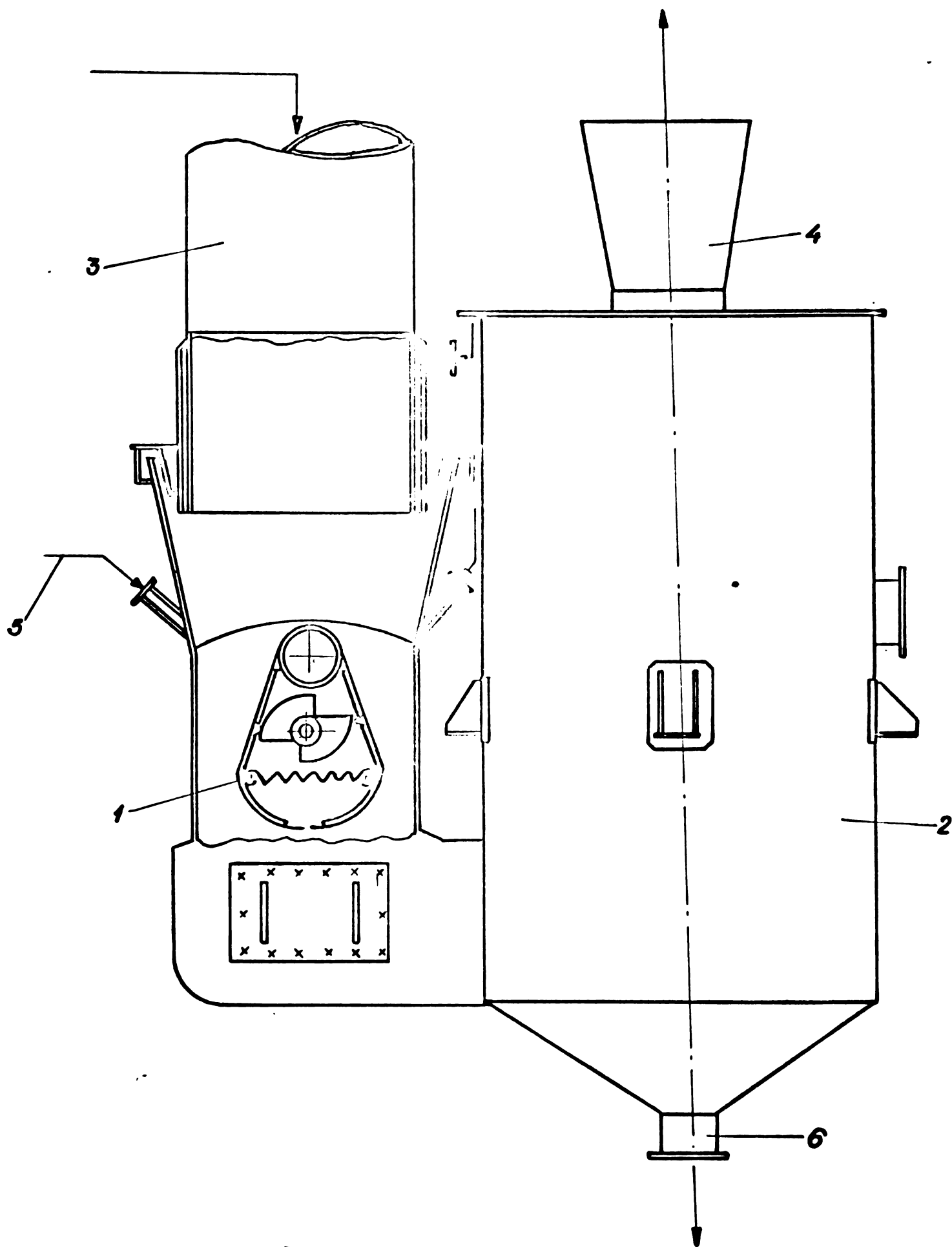


FIG. 132. SPĂLĂTOR CU FANTĂ REGLABILĂ

1. FANTĂ REGLABILĂ; 2. VAS SEPARATOR DE PICĂTURI; 3. CONDUCTĂ ALIM. CU GAZE BRUTE; 4. EVACUARE GAZE SPĂLATE; 5. ALIMENTARE APĂ DE SPĂLARE; 6. EVACUARE APE UZATE.



FIG. 133.

Datele experimentale ale unui spălător tip fantă reglabilă de la un cunptor de 40 MVA de tip acoperit în diferite variante de funcționare sînt prezentate în tabelul nr.33.

Determinările experimentului din tabelul 33 au fost efectuate la aceeași deschidere a fantei reglabile. Pentru poz. 1,2,3 s-a obturat fanta prin introducerea în deschiderea minimă a acesteia a unei țevi cu \emptyset 25 mm. Secțiunea de trecere a gazelor s-a diminuat cu cca 12 %.

Interpretarea datelor experimentale conduce la următoarele concluzii :

- pentru aceeași deschidere a fantei, randamentul de purificare crește cu creșterea indicelui de stropire, debitul de apă de spălare pe fantă și căderea de presiune pe fantă (figura 134 și figura 135)

- debitul gazelor la aceeași deschidere a fantei scade cu creșterea indicelui de stropire și randamentul de purificare.

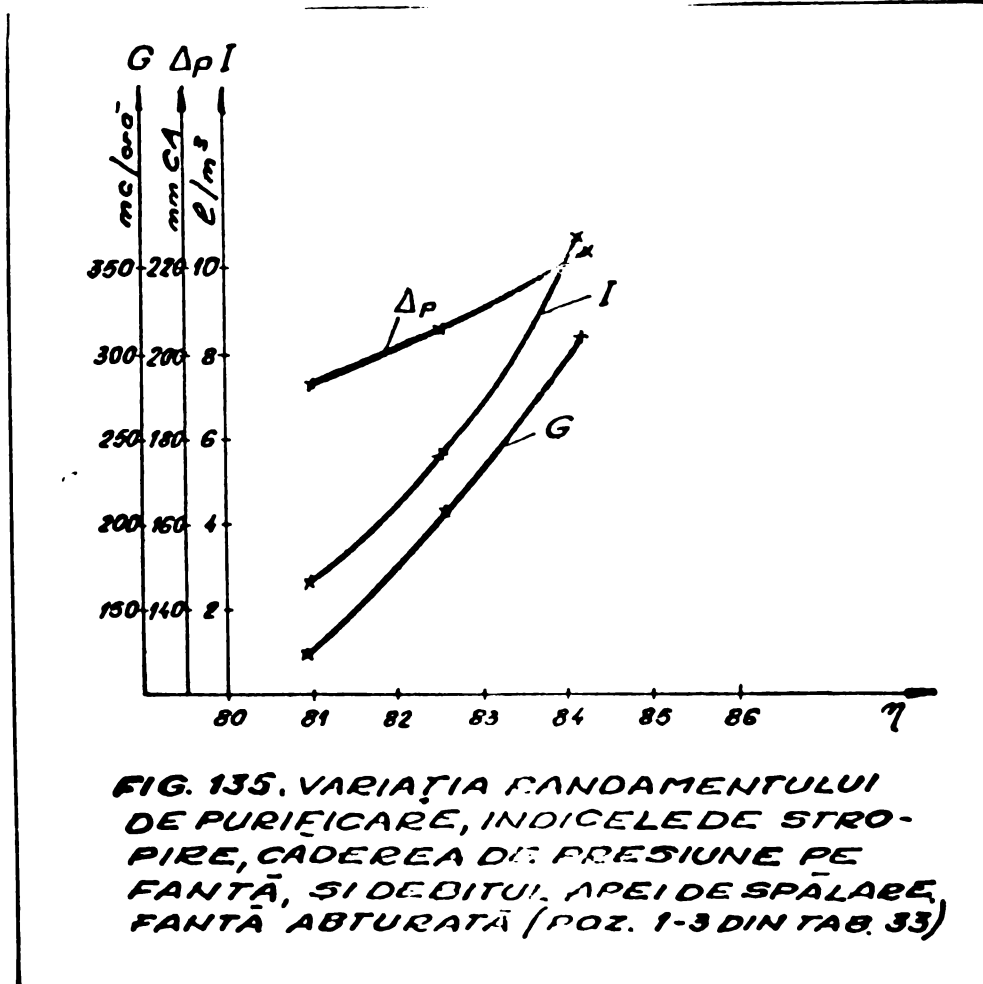
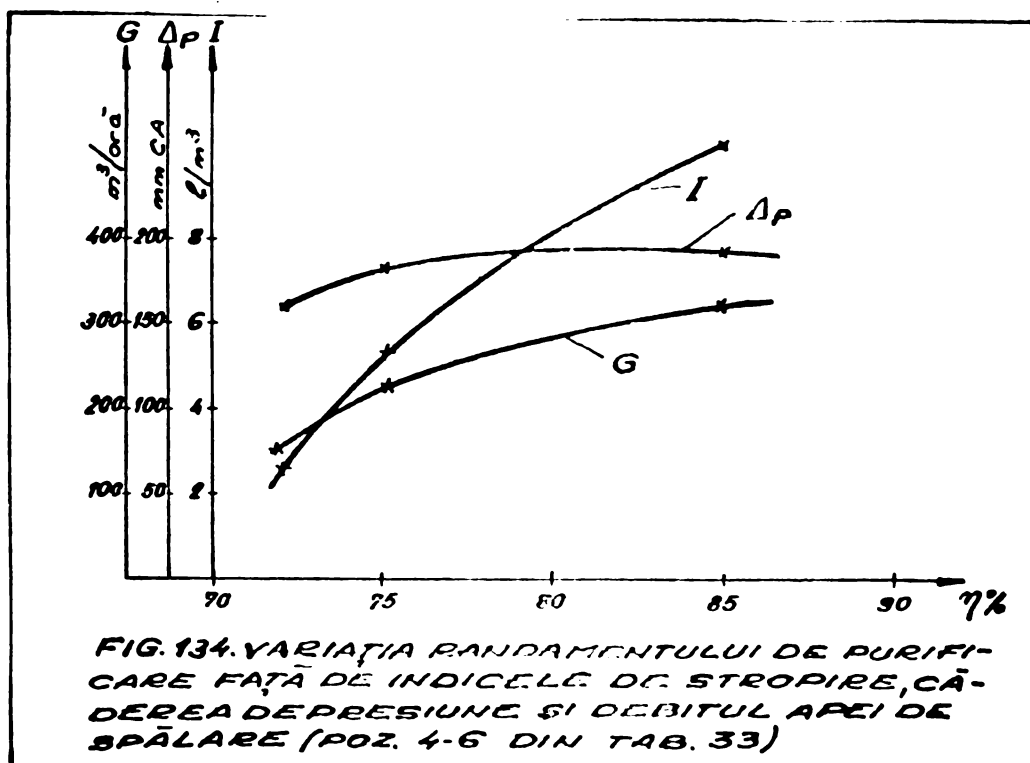
Obturarea fantei în zona secțiunii minime conduce la creșterea randamentului de desprăfuire.

./.

Tabelul nr.33

Parametrii unui spălător cu fantă reglabilă la diferite variante de funcționare la un cuplor de 40 MVA de tip acoperit

Nr. crt.	Debitul de gaze mc/oră	Viteza în fantă m/s	Debitul apei în- duse în fan- tă mc/oră	Căderea de presiune pe fantă mmCA	Conținutul de praf al gazului brut mg/mc	Conținutul de praf al lui curat mg/mc	Randament de gaze- fuire %	Indice de strop. în fantă l/mc	Obs.
1.	32960	25,2	336	220	3030	486	84 %	10,2	
2.	39150	29	218	205	3030	532	82,5 %	5,56	
3.	49890	38	129	193	3030	580	81 %	2,58	
4.	33516	18,8	336	190	1860	280	85 %	10,02	
5.	40733	21,8	218	180	1860	450	75 %	5,35	
6.	51677	27,6	129	160	1860	520	72 %	2,5	



Determinarea mărimii și distribuției particulelor, în probele recoltate la intrarea și respectiv ieșirea gazelor din spălătorul cu fantă reglabilă.

Analizele au fost efectuate folosind un microscop optic Microphot D.16 B, cu iluminare electrică și cu posibilitate de înregistrare fotografică a imaginilor. S-a lucrat la o mărire optică directă de 160, urmată de o mărire foto x 4, ceea ce corespunde la o mărire totală de x 640. Pentru determinarea mărimii particulelor s-a folosit imaginile optice înregistrate pe care s-au efectuat direct măsurătorile de particule. [93]

Conform modului de lucru utilizat în microscopie, la măsurarea diametrelor s-au luat în considerare numai particulele la care se vede cel puțin jumătate din conturul lor.

În tabelul nr.34 sînt prezentate datele obținute pentru gazele brute (la intrare în spălător)

Tabel nr.34

Mărimea și distribuția particulelor solide din gazele brute

nr. crt.	Diametrul particulelor (di) în μ	Nr.de particole (ni)	Produsul ni.di.
1.	2,81	43	120,83
2.	2,50	43	107,50
3.	2,34	64	149,76
4.	2,18	29	63,22
5.	2,02	46	92,92
6.	1,87	102	190,74
7.	1,71	14	23,94
8.	1,56	29	45,24
N =		370	794,15

Diametrul mediu aritmetic s-a calculat cu relația :

$$d_m = \frac{\sum ni \cdot di}{N} (\mu)$$

în care :

d_n - diametrul mediu aritmetic

n_i - nr.de particole si diametrul d_i

N - nr.total de particole măsurate și luate în calcul

$$d_n = \frac{\sum n_i \cdot d_i}{N} = \frac{794,15}{370} = 2,14 \mu$$

In tabelul nr.35 sînt prezentate datele obținute pentru gazele curate (la ieșirea din spălător)

Tabelul nr.35

Mărirea și distribuția particulelor solide din gazul curat

Nr. crt.	Diametrul parti- coleur (d_i) în μ	Nr.de particole n_i	Produsul $n_i \cdot d_i$
1.	1,87	30	56,10
2.	1,71	54	92,34
3.	1,56	115	179,40
4.	1,40	28	39,20
		N =	227
			367,04

$$D_n = \frac{\sum n_i \cdot d_i}{N} = \frac{367,04}{227} = 1,61 \mu$$

In baza datelor experimentale prezentate în tabelele nr.34 rezultă următoarele concluzii :

- dimensiunile particulelor au valori cuprinse între 1,56 - 2,81 μ pentru proba recoltată din conducta de intrare în spălător (gaz brut) și 1,40 - 1,87 μ pentru proba recoltată din conducta de ieșire din spălător (gaz curat)

- diametrele particulelor se situiază în jurul unei valori medii de 2,14 μ , pentru gazul brut și 1,61 μ pentru gazul spălat.

- curba de distribuție a particulelor după mărimi (d_i-n_i) pentru proba tabel 34, prezintă două maxime distincte, primul maxim este situat la 1,87 μ , iar cel de al doilea maxim este situat la 2,34 μ respectiv particulele care

./.

posedă aceste dimensiuni, apar cu probabilitatea cea mai mare. Distribuția particulelor după mărimi în proba tabel 35 se face după o curbă de tip Gauss, avînd maximul situat la valoarea $1,56 \mu$.

- sînt reținute în spălătorul cu fantă reglabilă particulele cu diametrele cuprinse între $1,87 - 2,81 \mu$ iar restul, avînd diametrele cuprinse între $1,87 - 1,4 \mu$ sînt evacuate în atmosferă.

Comparînd rezultatele obținute în urma experimentării depoluării gazelor de hotă în mai multe tipuri de desprăfuitoare pe cale umedă se constată cele mai bune rezultate (fără implicații în funcționare) obținute la instalația care a utilizat spălătorul tip "fantă reglabilă". Aceste spălătoare cu toate că au un consum ridicat de apă, au construcția simplă, randament acceptabil de desprăfuire și bună siguranță în funcționare.

C O N C L U Z I I :

In teza intitulată "Studiul cuptoarelor cu electrozi de tip Söderberg" se prezintă câteva din contribuțiile autorului asupra problemelor legate de construcția cuptoarelor electrice cu arc utilizate în fabricația de carbid, construcția și formarea electrozilor Söderberg, energetica procesului din cuptoarele cu arc cât și asupra unor aspecte legate de purificarea gazelor emanate din cuptoarele electrice.

1. In capitolul introductiv al lucrării se prezintă o retrospectivă a principalelor tipuri de cuptoare electrice pentru tratamente termice, topit oțel, fabricarea carbidului și carburilor metalice cât și pentru fabricarea feroaliajelor și fosforului.

In urma studiului mai multor surse bibliografice s-a conceput o clasificare a cuptoarelor funcție de modul prin care se transformă energia electrică în energia termică. In procesele tehnologice specifice industriei chimice, au aplicabilitate în general "cuptoarele electrice cu arc și rezistențe". In aceste cuptoare energia electrică se transformă în energia termică atât prin efectul Joule, cât și prin efectul de arc.

2. In capitolul 3.1. se prezintă construcția și particularitățile diferitelor tipuri de cuptoare electrice pentru obținerea carbidului. Aceste cuptoare diferă între ele prin construcția cuvei, tipul electrozilor utilizați și puterea de lucru. Cu modificări constructive neesențiale, cuptoarele pentru obținerea carbidului pot fi utilizate și pentru obținerea unei game variate de alte produse (feroaliaje, electrocorindon, aliaje de aluminiu și siliciu, topit metale, fosfor carburi refractare, etc).

Cuptoarele electrice de tip complet închis, avînd cuvă rotativă sau oscilantă, prin randamentele termice și energetice ce le obține, cât și în final prin întreaga eficiență economică a fabricației sînt reactoarele care se dezvoltă în viitor. Cuptoarele cu electrozi așezați în triunghi

./.

și cuvă rotundă, ca urmare a unei simetrii perfecte a câmpurilor magnetice, utilizează cel mai eficient curent electric.

3. Studiile efectuate asupra tehnologiei de formare a electrozilor Söderberg, au pus în evidență faptul că formarea unor electrozi de bună calitate, adecvați cuptoarelor de 12 MVA și 40 MVA este condiționată de modul și locul unde se realizează faza de degazeificare (calcinare) a masei carbonice în electrod. Pentru electrozii cuptoarelor de 40 MVA, la care masa carbonică se alimentează în electrod sub formă solidă, presiunea coloanei hidrostatice a electrodului nu are o influență semnificativă asupra caracteristicilor electrodului format.

Studiul privind stabilirea gradului de degazeificare a componentelor șarjei, utilizate pentru obținerea masei carbonice, care constituie materia primă a electrozilor Söderberg, scoate în evidență intervalul de temperaturi, în care se degazeifică complet sau parțial pasta de electrozi. Prin analize termogravimetric se oferă posibilitatea stabilirii măsurilor diferențiate pentru formarea și coacerea electrozilor Söderberg la cuptoarele electrice cu arc.

Diagrama de coacere a pastei de electrozi c_f și aparatul concepută au fost omologate pentru controlul fabricației industriale.

4. Ridicarea diagramelor temperaturii coloanelor de electrozi Söderberg, de la diferite tipuri de cuptoare pentru fabricarea carbidului, au scos în evidență în principal următoarele :

- asigurarea căldurii necesare temperării electrodului se face la cuptoarele acoperite cu o pondere mai ridicată prin transmiterea căldurii prin electrod de la capătul imersat în topitură, spre bacurile de contact, iar la cuptoarele semideschise, ponderea asigurării căldurii se face de la gazele de ardere ce înconjoară electrodul.

- necesitatea stabilirii cu exactitate a zonei de început a temperaturii în electrod la minim 400 °C, zonă care nu trebuie să coboare sub axul inelului de strângere a bacurilor de contact.

- întreaga sarcină electrică este preluată de către electrod, de la bacurile de contact numai prin jumătatea inferioară a acestora (cca 32 % din suprafața totală a bacului) fapt ce a făcut posibilă diminuarea lungimii bacurilor de contact în special la cuptoarele acoperite.

- pentru opriri ale cuptoarelor de pînă la 3 ore, retemperarea electrozilor nu este factorul determinant al timpului de readucere a cuptorului la puterea nominală de lucru. În baza datelor rezultate în urma studiului diagramelor, s-au reconsiderat timpii de încărcare electrică a cuptoarelor după opriri în sensul diminuării lor la toate tipurile de cupatoare.

5. Pentru electrozii de tip Söderberg, grosimea tablei burlanului și forma lui, nu este condiționată de încărcarea electrică a electrodului, ci numai de asigurarea suprafețelor cît mai uniforme (plane) care favorizează contactele între bacuri și electrozi. Bacurile din țeavă de cupru studiate și experimentate la cuptoarele de 40 MVA, prezintă cele mai bune performanțe în funcționare.

6. O importanță deosebită asupra procesului electrotermic, care se desfășoară în zona de arc, o are modul de asigurare a parametrilor arcului propriu-zis, respectiv tensiunea din arc, curentul arcului și lungimea de arc. Prin stabilirea lungimii arcului, se pot obține informații privind lungimea electrodului sub bacurile de contact.

În capitolul 3.2.3. prin una din metodele statistice - matematice, metoda celor mai mici pătrate, s-a studiat condițiile și relațiile, prin care să rezulte lungimea electrodului sub sarcină electrică, pe baza valorilor tensiunii din arc.

Tipul funcției matematice (curba de regresie a lui $X =$ tensiunea din arc, asupra lui $Y =$ lungimea electrodului) s-a stabilit de forma :

$$Y = a_1 X + a_0$$

unde ;

./.

$$a_0 = \frac{\sum Y_i X_i^2 - \sum X_i \sum X_i Y_i}{m \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$
$$a_1 = \frac{m \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{m \sum (X_i)^2 - (\sum X_i)^2}$$

Calculul coeficientului a_1 și a_0 cu valori observate și centralizate pentru un interval de timp de 180 zile, s-a făcut printr-un program rulat pe un calculator de tip CELLATROM.

7. Prin studii roentgenostructurale asupra electrozilor Süderberg, s-a scos în evidență gradul de grafitizare a acestora, în zona de arc, care este suprins între 29-35%. Grafitizarea electrodului peste 10 % este indicat a se realiza numai la un nivel maxim de pînă la 300 - 400 mm de la vârful acestuia. Respectarea acestor valori și intervale asigură opti- mul condițiilor de conductibilitate electrică, rezistență me- canică și consum.

8. Din bilanțurile energetice întocmite, asupra a patru tipuri de cuptoare de 40 MVA pentru fabricarea carbidului, rezultă căldura utilă consumată în proces (Q_u) cu- prinsă între 44,71 - 51,51 %. Randamentele electrice cele mai bune le prezintă cuptoarele de tip acoperit. Pierderile de căl- dură cele mai ridicate, sînt concretizate în căldura eliminată cu gazele de hotă și căldura preluată de apa de răcire a echi- pamentului mecanic și energetic al cuptorului. Sporirea can- tităților de gaze cu conținut de oxid de carbon, care se exha- ustează din cuptorul de tip acoperit, prin perfecționările aduse instalațiilor de absorpție, spălare și purificarea gaze- lor, conduce la diminuarea cantităților de gaze ce ard în hote, scăderea temperaturii încărcăturii din zona superioară cuvei și deci și la scăderea cantității de carbon ce se oxidează prin reacții secundare.

9. Purificarea și spălarea gazelor eșapate din zona de reacție, cît și a gazelor de hotă, rezultate de la cuptoarele pentru fabricarea carbidului, prezintă particu- larități ce derivă din natura și calitatea șarjei, de tipul și

starea tehnică a sistemului de colectare a gazelor și de poziționarea zonei de topire. S-a conceput, studiat și experimentat o "Instalație cu performanțe superioare, pentru absorbția și purificarea gazelor cu proprietăți explozive, rezultate de la agregatele electrotermice".

10. Comparând rezultatele obținute, în urma experimentării depoluării gazelor de hotă în mai multe tipuri de desprăfuitoare pe cale umedă, rezultă cele mai bune rezultate obținute (fără implicații în funcționare) la instalația care a utilizat spălătorul tip "fantă reglabilă". În aceste spălătoare, din studiile efectuate asupra determinării mărimii și distribuției particulelor, sînt reținute particulele cuprinse între $1,87 - 2,81 \mu$ iar restul avînd diametrele cuprinse între $1,4 - 1,87 \mu$ sînt evacuate în atmosferă.

1. KRAUSS W.WALTER F. - "Ullmanns Encyklopedie der technischen chemie" 3, ediția 3-a 1955. München-Berlin.
2. C.W.SÖDERBERG - Brevet SUA , 1440.724, 2 febr.1923
3. D.E.HAMBY - J.of.Metals nr.1, 1970, pag.45
4. JON FINERKYAER - J.of.Metals nr.2, 1965, pag.199
5. OSWALD MAYER - "Geschichte des Elektroeisens" Verlag von Julius Springer - Berlin 1914, pg. 3-50
6. WILLIAM SIEMENS - Brevet englez nr.4208 din 1878
7. S.A.MILLER - "Calcium carbide New-York,London Interscience Publishers, pg.165-180 .
8. L.A.KUZNE TOV - "Fabricarea carburii de calciu" (traducere din l.rusă) ed.tehnică 1950
9. ALEXANDRU RAU, IOSIF TRIPSA - "Metalurgia oțelului" ed.didactică și pedagogică, București pag.452-487
10. E.EFROIMOVICI și V.I.FRIGHIN - "Reglajul automat al cuptoarelor electrice cu arc" (traducere din l.rusă) ed.tehnică Moscova 1951, pag.21-32
11. H.WALDE - "Le four électrique de réduction et ses applications dans le monde" j.du Four Electrique nr.3, 1977, p.21.
12. G.VOLKERT, K.D.FRANCK - "Die Metallurgie der Ferroalije" ed.Springer - Berlin, Heidelberg, New York, 1972, pag.3
13. W.F.SCHWABE - "Iron and Steel Engineer" vol.34 nr.6, 1967.
14. I.PLOEN - Brevet SUA 2853.536,23 sept.1958
15. R . OLTROGGE - J.du Four Electrique nr.10, 1967 și nr.1, 1968.

- ◆
16. F.KOCSS, L.GRIMM - J.du Four Electrique nr.7, 1962
 17. NELSON H.W. - L'utilisation du carbone dans l'industrie de l'aluminium. J.du Four Electrique 1968, pag.247-252
 18. x x x - La cassure des électrodes Söderberg J.du Four Electrique nr.21, 1977 pag.10
 19. MASON C.R. - "Correlations between pitch.binder properties and properties of Söderberg electrodes J.du Four Electrique 1970, 2 pag. 165-174
 20. F.FRANK - "Perspectivele industriei de carbid din Polonia" Industria chimică anorganică nr.31, 1953.
 21. R.SEVIN - "La nouvelle usine d'électrodes de graphite d'Union Carbide France à Calais. J.du Four Electrique nr.4, 1977, pag.22
 22. L.J.MOROZ - "Soversenstvivanie konstrucktii Korotkin setei electrodugovih pecei" Primislenosti energetica nr.17,1962
 23. HANS HEINZ
PETER HELLMOLD - "Chemische tehnik" vol.28 nr.1,2,3, pag. 19-21, 92-94, 129-192.
 24. K.WOZMIAL - Chemie 28 nr.1 ,1975 pag.13 - 16
 25. C.COSNE ANU
V.COVACEVICI - "Elaborarea aliajelor de turnătorie în cuptoare electrice prin inducție, ed.tehn.1974
 26. JOETSU DENDRO KOGYO - Brevet japonais nr.2136366,13 april. 1972
 27. KNAPSAC A.G. - Brevet german nr.2045458,17 april. 1970
 28. x x x - "L'industrie des Ferroalliages aux ETATS-UNIS en.1971" J.du Four Electrique nr.3/1973, pag.59

29. BEN BOWMAN - "Évolution des paramètres électriques des fours à arc en aciérie" J. du Four Électrique 9, 1977 pg.14
30. P.BONIS et F COPPADORA - "Transformateurs pour four de fusion a arc" J. du Four Électrique 8, 1977 pg. 18
31. BRUCE H.SAGE - Brevet SUA Nr.3044858, 17 iulie 1962
32. WILLON VON LOON -Brevet german nr.1021835,23 oct.1954
33. GLEN DAVID BAGLEY - Brevet german nr.1025842,13 martie 1958
34. x x x - Electrokemisk A/S "Brevet francez nr. 1342217, 30 sept.1963
35. HARRY FRANK KYELL PETERSON ASEFA -"Amelioration du rendement des fours a arc par stabilisation de la tension" J. du Four Electrique 2,1958, pag.24-26
36. RUDOLF SOULTZE - Brevet german nr.1073458,21 ian.1960
37. A.LOURIE - Brevet francez nr.2356105,24 iun.1976
38. SHOWA DENKO - Brevet francez nr.2088023,8 mai 1970
39. UNION CARBIDE CORP - Brevet SUA nr.2069638, 18 nov.1970
40. x x x - Refractaire pour la siderurgie "J. du Four Electrique 4,1973 pag.91
41. x x x - L'industrie des abrasifs artificiels en Europe" J. du Four Electrique 4, 1972, pag.99-100.
42. DINAMIT NOBEL A.G. - Brevet german nr.2043867,29 mai 1970
43. A.S.Å.A. - Brevet suedez nr.2036654,27 febr.1970
44. SVENSKA KULLAGERFABRIKEN - Brevet suedez nr.203591,25 mart.1970
45. x x x - Considerații asupra electrozilor cu autococacere și realizarea unui tip special de electrozi Söderberg, Document. metalurgic nr. 5/ 1970
46. JOHN FINERKJAER - J. of. Metals nr 171,1965 pag.203

47. x x x - Măsurarea rezistenței electrice a materialelor la temperatură înaltă sub tensiune. Caiet selectiv din industria chimică vol. VIII . 1976, pag.22
48. CORHART REFRACTARIES - Brevet SUA nr.2103779,28 iul.1971
49. x x x - "Les Jours à plasme" J.du Four Electrique nr.1, 1973 pag.16-18.
50. LUMITONEA ELECTRIC INDUSTRIES - Bre vet japonez nr.2110148,28 oct.1971
51. HENRI CARTOUX - "La nécessité d'un jour d'essais industriels, pour e exploitation rationnelle de processsens electrothermiques" J.du Four Electrique nr.7/1972 pg.105
52. UNION CARBIDE CORP. - Brevet SUA nr.2110972,4 oct.1971.
53. x x x - Fours electrique modernes de reduction pour e'elaboration de ferro - alliages, de fonte et de carboure de calcium" J.du Four Electrique nr.3 1973, pg.61
54. x x x - "Nouveaus de valoppements des jours à arc" J.du Four E lectrique nr.9, 1972 pag.249
55. BELJAJEW A.I .
RAPOPORT M.B.
FIRSANOWN L.A. - Metallurgie des Aluminiums, VEB Verlag Technik, Berlin 1956, pag. 149-233
56. KUKAVUSNIKOV V.V. - Ob ulucişenii kacestava electrodnoi masîdliia samospekaluşcinsia elektrodov,Stal.1958, pag.281 - 285
57. STANKO S. - Brais,Cokes,Electrodes,Rapport L.R.F.48 Cie Peehiney 1962,partea III.
58. SCHERRRES R.F.
SATT M.L. - Recent developments în Süderberg electrode practice în carbide operation J.of Metals 1962,2 pag.193 - 196.

59. KOSIĘLSKA Z.
LECH T. - Wstępne badania możliwości zastosowania koksów nizej kalcynowanyon do wyrobu masy na samospiekujące anody typu Södenberg dla przemysłu aluminiowego. Koks-Smola-Gaz, 1966, 2 pag. 62-67
60. BOGUCKI, J. - Dobór masy elektrodowej dla pieców karbidowych w Zakładach Azotowych Koks-Smola-Gaz, 1968, 5 pag. 138 - 144.
61. KOSIĘLSKA Z.
LACH T. - Z badań nad określeniem przydatności metode oznaczania własności rurowców i mas anodowych stosowanych, w przemyśle aluminiowym dla anod typu Söderberg, Koks-Smola Gaz 1968, 9 pag. 245-252
62. DURRES R.
VOLKERT E. - Die Metalurgie der Ferrolegierungen. Dusseldorf, 1972, 2 Aufl. pag. 258-273.
63. KAPELIANOVV.
POTAP E.G. - Vîbor tverdîh uglerodistîh materialov priîzgotovlenii ešetrodnîh mass, Metalurghiceskaia i Gornorudnaia Promîšlennost, 1972, 5 pag. 52 - 54.
64. MAX WILDHAGEN - Calcium Karbide und die Karbid industrie. Leipzig Akad. Verlog Geest Partig. 1963, pg. 610
65. x x x - Tendințe actuale spre puteri mai mari la cuptoarele electrice de reducere. J. du Four Electrique nr. 5, mai 1968 pag. 121-124.

./.

66. x x x - Cuptor pentru carbura de calciu de 30.000 kVA. J.du Four Electrique nr.4 aprilie 1965 pg. 107-111, nr.5 din mai 1965, pag 145-181
67. HELMUT KLOCKHER - "Industria mondială a carbidului" Chemische industrie 10,1966, pag.617-627.
68. R.FELDMANN - Carbidul și acetilena în lumina modificării structurii economiei energiei. Chem.ing.Technik 4, 1969, pag.199-204.
69. E.BEILICH,
D.BECHERESCU - Cuptoare și utilaje în industria silicatelor vol.I.pg.327-401, ed.didactică și pedagogică, București.
70. G.I.BABAT - "Cuptoare electrice industriale" vol.I. și II traducere din l.rusă ed.tehnică 1948, Leningrad.
71. M.D.GUDORIS - "Tvetnîie metalîi" nr.3/1961
72. V.Cerghizan - Contribuții asupra tehnologiei de formare a electrozilor de tip Söderberg din industria cuptoarelor electrice cu arc" Rev.de chimie nr.11, 1977, pag.1052-1057
73. GH.STANCIULESCU
V.LANDES - "Situația cercetărilor privind fabricația feroaliajelor cu mangan în RS. România, Rev.de metalurgie nr.11,1971 pag.721-723
74. ST.FORIZS,
L.BESLIU
G.FABIAN - Cercetări privind umiditatea smoalei pentru electrozi și posibilitatea de micșorare a acesteia" Revista de metalurgie nr.9/1971 pag.537-541
75. E.IONESCU
A.SOKK - Energetica proceselor de fabricație a carburii de siliciu tehnice".Revista de metalurgie nr.2,1972 pag.119-120.

./-

76. A.POPA
L FARKAS - Determinarea cantitativă a unor elemente componente ale feromanganului prin metoda spectroscopică de fluorescență cu raze X", rev.de metalurgie nr.5, 1972, pag.321-323.
77. M.T.TOURMIER - Grup transformator de 63 MVA pentru alimentarea cuptoarelor de carbură de calciu, J.du Four Electrique nr. 8 1964 pag.263-266.
78. WILHELM,BORCHERS - Die elektrischen Ofen, editura Knapp, 1920 (Halle) pag.50-106.
79. x x x - Les four d'airco a Vargon" J.du Four Electrique, 5, 1978, pg.20-22
80. Von Armin Meisel und
GUNTER LEONHARD - Informationsgehalt der Röntgenund Photoelektronenspektren" Zeitschrift für chemie.Leipzig nr.8,1978,pag.294-302
81. TAGAWA AND SUGUWARA - Bull chem.soc.Japan 1962,35 pg.1276
82. TIHAMER G. - Fabricarea corindonului sintetic, (ungaria) alumion 1949, nr.9, pag.
83. KIERK R.
D.OTME R - "Enciclopedia tehnologiei chimice" abrazivi 1947, vol.I. I.D.T.C. 781
84. x x x - "L'usine e'electrothermique de l'electric reduction CO of Canada. Ltd.pour la fabrication du phosphore" J.du Four Electrique,5 mai 1970, pg.117-120.
85. V.GH.VODA - "Aplicații ale analizei de regresie în chimie" Revista de chimie nr,9, 1974, pag. 719-723

./.

86. V.CERGHIZAN - Electrozi continui tip Söderberg
folosiți la cuptoarele electrice.
Cercetări bibliografice.Centrul de
documentare Combinatul chimic Tîrnă-
veni 1955, nr.1 din 1971.
87. W.S.DORN - Metode numerice cu program Fortran
D.D.CRACKEN IV , ed.tehnică (traducere din
l.engleză)
88. x x x - "Conception des Fours modernes a
carbure de calcium "J.du Four
Electrique nr.6, 1975, pag.129-131~
89. A.P OPA - "Analiza spectrală cantitativă a
V CHIRILA minereului de fier, prin metoda
fluorescentei razelor X" Rev.de
metalurgie nr.10, 1972, pag.617-701
90. I.POPESCU - "Analiza spectrofotografică a con-
M.POPESCU ținuturilor mici de aluminiu din oțel
Rev .de metalurgie nr.7, 1973,pg.423
91. M.J.P.MENEAULT - Depoussierage des fumees par electro-
filtres" J.du Four Electrique nr.3~
1978, pg.10-14.
92. HAROOLD KROGSRUD - "Découvertes recentes concernant le
four moderne a ferro-silicium.Le
four a cuve divisee de elkem" J.du
Four Electrique nr.5, 1978, pg.16-19
93. LESCHONSKI K. - Chem. Ing.Jech.49 nr,9 , 1977
pag. 708-729
94. INGENIEUR ARTS ET - Captage et depoussierage des gaz
METIERS et fumies sur jour a arc de 90 t.a.
sauflage d'oxygene pary "J.du Four
Electrique nr .4, 1973, pg.

./ .

95. W.C.SMIT
R.C .GIESSE - Instalatii de filtrare.Proiecte
Chimia și industria chimică.Caiet
selectiv nr.6, 1962 pag.321-331
96. Z.MURGU si
D.MURGU - Posibilitatea de înlocuire a diafrag
melor de măsurare a debitelor prin
tuouri venturi. Revista de chimie
nr.5, 1975, pag.402
97. BOCKMAN,ELKEM
SPIGERVERKET - Depoussierage des fumess des feurs
auverts a Fe-Bi, Filtres a manches
J.du Four Electrique nr.4,1978
pag.12-17
98. VICTOR DROBOTA - Sisteme recente de ventilare si de
condiționare a aerului,ed.tehn.1960
99. x x x - "Les electrodes Süderberg" J.du
Four Electrique nr.6,1978, pg.32
100. FLECHNER SUEDE -Brevet francez nr.8352585, 25 mai
1976.
101. MANTELL CH.L. - "Carbon and graphite handbook" ed.
John Wiley SUA, 1968, 309,316
102. LEIF OLSE N - Temperatures dans les electrodes
Süderberg en fonctionnement discon-
tinuu J.du.Four Electrique nr.5,1917
pag,20
103. ING CONSTANTIN LAZAR - Tendintele pieții mondiale a carbi-
dului, M .C.E. Buc.1971
104. WOLFGANG RETTKOWSKI - Chemische Technik, 27,12,1975,
pag.732-735.
105. M.M.DIETER ZOLLNER
et FRANZ SCHIEBER - Consomation d'electrodes et
fonctionnement a pleine des J.du
Four Electrique nr.4,1977,pg.14
106. M.H.CURTIS - Fabricarea carbidului, Chemical
proces enguering,Decembrie 1962

...000...