

**UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA
FACULTATEA DE MECANICA
ȘCOALA DOCTORALĂ "ACADEMICIAN RADU VOINEA"**

Doctorand: ing. Viorel TUDOR

***MODELAREA PROCESELOR TERMO-GAZO-DINAMICE DIN
CAZANELE DE ABUR DE MARE PUTERE CU COMBUSTIBILI
SOLIZI INFERIORI***

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător științific: Prof. dr. ing. Marin BICĂ

CRAIOVA 2010

Cuprins

	Pag.
Cuvânt înainte	3
Capitolul 1 - Producerea energiei electrice în centrale cu combustibili solizi inferiori	4
Introducere	4
Potențialul național de resurse energetice	4
Obiectivele prioritare ale dezvoltării sectorului energetic românesc	4
Măsurile specifice în domeniul energiei	5
Tehnologii curate de producere a energiei electrice pe bază de cărbune	5
Combustibili solizi	9
Combustibili lichizi.	9
Combustibili gazoși	10
Capitolul 2 - Formarea noxelor în focarele cazanelor de abur și soluții tehnice de reducere a emisiilor de noxe	10
A) Emisia de oxizi de sulf	10
B) Emisia de oxizi de azot	11
C) Emisia de oxizi de carbon	12
Soluții tehnice pentru reducerea emisiilor de poluanți evacuați în atmosferă	13
A) Soluții tehnice de reducere a emisiilor de NO _x	13
B) Soluții tehnice de desulfurare a gazelor de ardere	13
C) Soluții tehnice de captare, transport și stocare geologică a emisiilor de dioxid de carbon în centralele termoelectrice	14
Capitolul 3 - Cazane de abur de mare putere utilizate în sistemul energetic național	15
Arderea combustibililor solizi, inferiori, în cazanele de abur de mare putere	15
Organizarea procesului de ardere a combustibilului solid în cazane	15
Necesitatea susținerii arderii cu combustibil suport : gaz natural sau păcură	15
Cazane de abur de mare putere folosite în sistemul energetic național	16
Capitolul 4 - Modelarea procesului de curgere în arzătorul de praf de cărbune al cazanului Benson de 510t/h, de la CTE Ișalnița, folosind M.E.F.	16
Tipuri de studii de curgere întâlnite în arzătorul de praf de cărbune și în camera focară a cazanului de 510 t/h.	16
Modelarea 3D a arzătorului de praf de cărbune de la cazanul de 510 t/h	17
Analiza curgerii aerului primar în interiorul arzătorului de praf de cărbune al cazanului	18
Concluzii	19
Analiza curgerii aerului secundar în interiorul arzătorului de praf de cărbune	19
Concluzii	20
Capitolul 5 - Modelarea arderii în camera focară a cazanului de 510 t/h, de la CTE Ișalnița	21
Modelarea câmpului termic	21
Condițiile termice de aprindere	21
Modelarea procesului de ardere în interiorul focarului cazanului de 510 t/h	21
Concluzii	24
Capitolul 6 - Soluții tehnice de modernizare a cazanelor de abur de mare putere cu încadrarea în cerințele de protecție a mediului	25
Concepția de bază a arzătorului de praf de cărbune cu emisii de NO _x reduse	26
Descrierea arzătorului	26
Organizarea arderii în trepte la nivelul focarului	26
Capitolul 7 - Concluzii generale. Contribuții personale	27
Contribuția tezei la dezvoltarea cunoștințelor în domeniu, modalitățile de valorificare a rezultatelor – potențiali beneficiari	28
Impactul generat de teza de doctorat.	29
Bibliografie	30

Cuvânt înainte

Având ca punct de plecare o experiența profesională de 27 ani în exploatarea, repararea și întreținerea instalațiilor energetice, la SC. Complexul Energetic Craiova SA mi-am propus să îmbin experiența practică cu cunoștințele teoretice și să elaborez lucrarea științifică cu titlul: **„Modelarea proceselor termo-gazo-dinamice din cazanele de abur de mare putere cu combustibili solizi inferiori”**.

Modelarea proceselor termo-gazo-dinamice s-a făcut pe o instalație energetică, existentă, bine cunoscută în sistemul energetic național, adică pentru cazanul, de tip Benson, de 510 t/h, de la **Centrala Termoelectrică (CTE) Ișalnița**, județul Dolj.

Cazanul aparține unui bloc energetic de 315 MW, pus în funcțiune în perioada 1967-1968. Blocul energetic este deservit de două cazane de 510 t/h fiecare, funcționând pe bază de lignit.

Prin realizarea prezentei lucrări s-au evidențiat unele deficiențe în proiectarea și execuția arzătoarelor de praf de cărbune. Deficiențele identificate au generat unele probleme în exploatarea cazanelor cu consecințe defavorabile asupra consumului de combustibil, randamentului cazanului și emisiilor de noxe.

Scopul lucrării a fost analiza curgerii aerului primar și secundar prin arzătorul de praf de cărbune, precum și modelarea arderii în camera focară, astfel încât să poată oferi informații managementului centralei în vederea luării unor decizii imediate, pentru promovarea unor investiții, cu costuri minime, și creșterea competitivității blocului energetic pe piața de energie.

Lucrarea științifică a fost structurată pe 7 capitole astfel:

- Capitolul 1, **Producerea energiei electrice în centrale cu combustibili solizi inferiori**, oferă o prezentare generală a provocărilor energeticii românești, urmare a aderării României la UE, pornind de la potențialul național de resurse energetice, obiectivele prioritare ale dezvoltării sistemului energetic, identificând măsurile specifice ce trebuie luate în domeniul energiei. Am prezentat, succint, tehnologiile curate, folosite pe plan mondial, de producere a energiei electrice pe bază de cărbune. S-a făcut o prezentare a combustibililor ce se folosesc, în centralele clasice din România.

- Capitolul 2, **Formarea noxelor în focarele cazanelor de abur și soluții tehnice de reducere a emisiilor de noxe**, prezintă mecanismele de formare a emisiilor de oxizi de sulf, azot și dioxid de carbon precum și efectele lor asupra organismului uman și mediului înconjurător. S-au prezentat soluțiile tehnice de reducere a emisiilor de poluanți evacuați în atmosferă: denoxare, desulfurare, captare, transport și stocare dioxid de carbon.

- Capitolul 3, **Cazane de abur de mare putere utilizate în sistemul energetic național**, prezintă o analiză a arderii combustibililor solizi în cazanele de mare putere, după care s-au prezentat caracteristicile tehnice ale cazanelor de abur de mare putere folosite la CTE Ișalnița, Turceni, Rovinari și CET Craiova.

- Capitolul 4, **Modelarea procesului de curgere în arzătorul de praf de cărbune al cazanului Benson de 510t/h de la CTE Isalnita, folosind M.E.F.**, prezintă tipurile de curgeri întâlnite în arzătoarele de praf de cărbune și în camera focară a cazanului de 510 t/h. S-au determinat, prin calcul, mărimile de intrare folosite în analiză și modelarea curgerii aerului primar și secundar prin arzătorul de praf de cărbune. S-au prezentat rezultatele și concluziile obținute în urma modelării curgerii fluidelor prin arzător.

- Capitolul 5, **Modelarea arderii în camera focară a cazanului de 510 t/h, de la CTE Ișalnița**, prezintă teoretic o modelare a câmpului termic în cazanul energetic și s-au determinat condițiile termice de aprindere a prafului de cărbune în focarul cazanului. În finalul capitolului s-a modelat procesul de ardere în interiorul focarului cazanului de 510 t/h și s-au prezentat concluziile modelării.

- Capitolul 6, **Soluții tehnice de modernizare a cazanelor de abur de mare putere cu încadrarea în cerințele de protecție a mediului**.

Au fost prezentate soluțiile tehnice de modernizare a cazanelor de abur de mare putere, s-au detaliat cele pentru arzătoarele de praf de cărbune cu emisii reduse de NO_x, iar soluțiile posibile tehnic de organizare a arderii în trepte la nivelul focarului au încheiat capitolul.

- Capitolul 7, **Concluzii generale. Contribuții personale**, în acest capitol s-au prezentat concluziile generale rezultate în urma modelării curgerii aerului primar și secundar prin arzătorul de praf de cărbune și în camera focară a cazanului de 510 t/h de la CTE Ișalnița. Am precizat contribuția personală la elaborarea acestei lucrări științifice și modalitățile de valorificare a rezultatelor obținute precum și impactul lucrării asupra mediului economic, social cu consecințe favorabile asupra mediului înconjurător.

- Bibliografie selectivă

Viorel Tudor

1. Producerea energiei electrice în centrale cu combustibili solizi inferiori

Introducere

Dezvoltarea economică nu se poate asigura decât prin existența unei baze certe de energii primare, a unei surse sigure de aprovizionare și a unui potențial tehnologic adecvat. Toate eforturile de creștere a economiei nu se pot concretiza fără asigurarea sursei de energie, fără măsuri riguroase de reducere a consumurilor energetice pe fondul dezvoltării durabile a economiei naționale, eficientizarea activităților și protecția mediului înconjurător.

Strategia în domeniul energiei este formulată în contextul aderării României la Uniunea Europeană. Politica energetică trebuie să fie capabilă să susțină o creștere economică durabilă, bazată pe armonizarea cerințelor de eficiență economică, considerentelor sociale și obiectivelor de mediu.

Potențialul național de resurse energetice

România dispune de o gamă diversificată, dar redusă cantitativ de resurse de energie primară: țiței, gaze naturale, cărbune, minereu de uraniu, precum și un potențial semnificativ de resurse regenerabile, în special în domeniul hidroenergetic.

În tabelul 1.1. este prezentată situația resurselor interne de energie primară.

Tab.1.1 Situația resurselor interne de energie primară

Resurse de energie primară	Rezerva				Producția anuală 2005 Mil. tone *)	Perioada estimată de asigurare		
	Geologică		Exploatabilă (pentru care există licență)			Rezerve geologice	Rezerve exploatabile	
	UM	Mil. tep	UM	Mil. tep	Ani	Ani		
1	2	3	4	5	6	7	8=3 / 7	6=5 / 7
Cărbune								
- huiilă	Mil. tone	279	106	72	27	3	93	24
- lignit	Mil. tone	1490	276	719	133	28	53	25,7
Țiței	Mil. tone	74	72			5,2	14,2	
Gaz natural	Mld. mc	185	159			12,5	15	
Uraniu **)	Mil. tone	1	14,27			0,061	16,4	

*) exclusiv gaze naturale, exprimate în mld. mc

**) corespunzător consumului unui singur grup nuclear

În tabelul 1.1 s-a notat cu **tep**, tona echivalent petrol,

1 tep= 1,5 t.c.c = 12.21 MWh = 10,5 Gcal.= 43,9 GJ, iar t.c.c reprezintă tona de combustibil convențional,

1 t.c.c. = 7 Gcal = 29,26 GJ.

Obiectivele prioritare ale dezvoltării sectorului energetic românesc

Principalele direcții de acțiune ale politicii energetice a României, convergente cu cele ale politicii energetice a Uniunii Europene, sunt:

- creșterea siguranței în alimentarea cu energie;
- îmbunătățirea eficienței energetice pe întregul lanț: resurse – producție – transport – distribuție – consum, pentru asigurarea unei dezvoltări durabile;
- reducerea impactului negativ al sectorului energetic asupra mediului înconjurător, realizarea obiectivelor de protecție a mediului și reducere a emisiilor de CO₂;

În vederea asigurării unui mix energetic echilibrat, prioritate se va acorda investițiilor în unități noi de producere a energiei electrice ce utilizează:

- surse regenerabile de energie;
- cărbune prin tehnologii curate;
- energia nucleară prin tehnologii sigure și cu impact redus asupra mediului.

Măsurile specifice în domeniul energiei

În stadiul actual al tehnicii românești, cazanele pe combustibil solid inferior pulverizat, folosesc și hidrocarburi pentru pornire sau suport al arderii pentru stabilitatea flăcării în cazan.

Cazanele se construiesc pentru arderea unui anumit combustibil, cu caracteristici bine definite, ce pot varia între anumite limite. Caracteristicile combustibililor solizi inferiori se dovedesc a avea diferențe extrem de mari, chiar și pentru combustibilul provenit din același bazin, astfel încât au devenit frecvente cazurile de depășire a caracteristicilor combustibilului pentru care un cazan este construit. Datorită acestor fluctuații a apărut necesitatea susținerii arderii, pentru asigurarea stabilității flăcării, printr-un combustibil de aport, cel mai adesea hidrocarburi.

Asigurarea cu păcură și gaze naturale a economiei naționale și a necesităților crescânde ale populației nu mai poate, de multă vreme, să fie acoperită din resurse interne, iar importul în condițiile internaționale complexe de azi, a devenit foarte scump și nesigur.

Se impune deci, printre altele, necesitatea economisirii hidrocarburilor în producția de energie electrică și termică pe bază de combustibili solizi, cu alte cuvinte respectiva producție să se realizeze numai cu combustibil de bază, cel solid.

Tehnologii curate de producere a energiei electrice pe bază de cărbune

Cele mai importante tehnologii curate de producere a energiei electrice în centralele pe cărbune, pe plan internațional, sunt: arderea clasică a cărbunelui pulverizat (PC), arderea cărbunelui în cazane cu parametrii aburului supraceutici, arderea cărbunelui în strat fluidizat circulant (CFB), arderea cărbunelui în strat fluidizat sub presiune cu ciclul combinat abur-gaze (PFBC), gazeificarea cărbunelui integrată cu ciclul combinat abur-gaze (IGCC). Prescurtările menționate în paranteze corespund denumirilor prescurtate, în limba engleză pentru tehnologia respectivă.

Avantajele tehnologiilor inovatoare de ardere a cărbunelui față de tehnologia clasică de pulverizare (PC) a cărbunelui este prezentată în tabelul 1.2:

Tabelul 1.2 Analiza tehnologiilor de producere a energiei electrice curate pe bază de cărbune

Elemente caracteristice	Arderea clasică a cărbunelui pulverizat (PC)	Arderea cărbunelui în cazane cu parametrii supraceutici	Arderea cărbunelui în strat fluidizat circulant (CFB)	Arderea cărbunelui în strat fluidizat sub presiune cu ciclul combinat abur - gaze (PFBC)	Gazeificarea cărbunelui integrată cu ciclul combinat abur - gaze (IGCC)
Maturitatea tehnologiei	Demonstrată, disponibilă d.p.d.v. comercial cu garanții garanții	Demonstrată, disponibilă d.p.d.v. comercial cu garanții	Demonstrată, disponibilă d.p.d.v. comercial cu garanții	La nivel de centrale demonstrative pe cărbune	În faza de cercetare - dezvoltare
Capacitatea instalată a grupurilor	Disponibile comercial toate nivelele de putere inclusiv de putere până la 1300 MW	Disponibile comercial toate nivelele de putere inclusiv de putere până la 1300MWe	Capacități până la 460 MW	250 ÷ 300 MWe, în prezent limitată de capacitatea mare a turbinelor cu gaze disponibile	Capacitatea centralelor demonstrative propuse este de aprox. 90 MWe
Flexibilitatea combustibilului	Utilizează o gamă largă de combustibili	Utilizează o gamă largă de combustibili	Utilizează o gamă largă de combustibili. Se pretează cel mai bine pt. cărbunele cu conținut mare de cenușă	Ar trebui să utilizeze o gamă largă de combustibili, dar acest lucru nu a fost deocamdată demonstrat; nu se pretează pt. cărbunele inferior cu conținut mare de cenușă	Ar trebui să utilizeze o gamă largă de combustibili, proiectată să utilizeze eficient cărbune inferior cu conținut mare de cenușă

Eficiența termică netă a ciclului	Limitată de parametrii aburului; În jur de 41% pentru proiectele moderne	În prezent cel puțin 45%, iar în perspectiva dezvoltării unor materiale mai performante, peste 50%	În prezent cca. 44%, dar e posibilă o creștere a acesteia în perspectiva și/sau utilizării aburului cu parametri supracritici	În prezent cca. 43%, dar e posibilă o eficiență de 50% în cazul utilizării turbinelor avansate cu gaz și în urma rezultatelor obținute din cercetare-dezvoltare	În prezent cca. 43%, dar e posibilă o eficiență de peste 50% datorită rezultatelor obținute din cercetare dezvoltare și a utilizării turbinelor avansate cu gaz
Flexibilitatea în funcționare	Performanțe reduse la sarcini scăzute	Poate funcționa la sarcini scăzute dar cu performanțe reduse	Performanțe reduse la sarcini scăzute	Poate funcționa doar în baza curbei de sarcină	Studiile sugerează o performanță satisfăcătoare la sarcină redusă

Dezvoltarea tehnologică a permis:

- creșterea randamentului net, de la valoarea de 35-37% (din anii '70) la 40-41% în anii '90;
- creșterea randamentelor nete ale centralelor cu tehnologie PC, de la valoarea de 42% (din anii '90) la 46-48% în primii ani ai mileniului III;
- utilizarea tehnologiilor de reducere a emisiilor de NO_x (prin arzătoare cu NO_x redus și instalații catalitice sau noncatalitice);
- utilizarea tehnologiilor de reducere a emisiilor de SO_x (prin instalații de desulfurare).

La ora actuală, pe plan mondial, cca. 90% din centralele termoelectrice utilizează tehnologia arderii cărbunului pulverizat (PC), cca. 10% utilizează tehnologia arderii cărbunului în strat fluidizat circulant (CFB) și un număr foarte mic de centrale utilizează tehnologia arderii cărbunului în strat fluidizat sub presiune cu ciclu combinat abur-gaze (PFBC) și gazeificarea cărbunului integrată cu ciclu combinat abur-gaze (IGCC).

Arderea cărbunului în cazane cu parametrii supracritici

Coordonatele punctului critic sunt 221,2 bar și 647,27 K (fig. 1.1 – punctul K). În acest punct critic apa se transformă brusc din stare lichidă în stare de vapori. Devenind „fluid supracritic” fazele converg către o densitate egală, fără a se trece prin faza de vapori umezi specifică ciclului cu parametrii subcritici.

Diferența dintre aceste tipuri de cicluri este ilustrată în diagramele T-s din fig. 1.1.

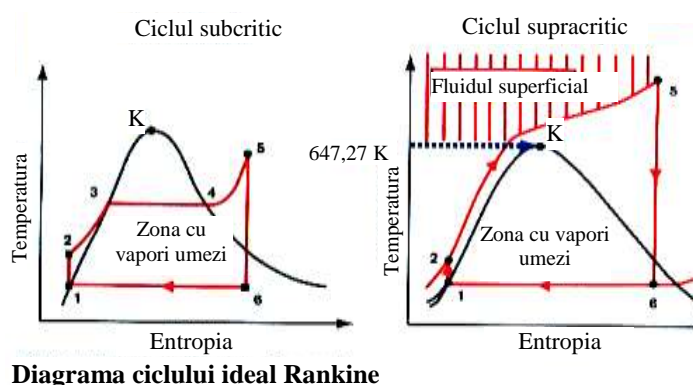


Fig. 1.1

Dintre avantajele de bază ale tehnologiei cu parametrii supracritici enumerăm următoarele:

- tehnologia este testată, utilizată și perfecționată timp îndelungat;
- regimul de utilizare este mai adecvat la sarcini parțiale deoarece:

Arderea cărbunului în strat fluidizat circulant (CFB)

Tehnologia de ardere în strat fluidizat circulant (CFB) are avantaje distincte pentru arderea combustibililor solizi și recuperarea energiei pentru a produce abur.

Caracteristica procesului, constă într-un amestec al particulelor suspendate într-un curent ascendent de gaz, combinație care duce la un fluid cu proprietăți bune.

Combustia are loc în pat cu un transfer ridicat de căldură în focar și temperaturi de ardere scăzute.

Avantajele acestui proces sunt:

- flexibilitatea mare în arderea diversilor combustibili;
- reducerea emisiilor de noxe.

Dintre particularitățile tehnologiei CFB enumerăm următoarele:

- temperaturile de ardere în cazanele CFB ($1113,15 \div 1173,15$ K), mult mai reduse decât în cazanele cu arderea pulverizată ($1623,15 \div 1773,15$ K), au ca efect formarea redusă de NO_x și posibilitatea captării SO_2 în focar, prin injecția de calcar;
- deși temperatura de ardere în CFB este mai redusă, timpul de staționare în focar al cărbunelui este mai îndelungat decât la PC astfel că randamentele celor două tipuri de cazane sunt similare;
- experiența a arătat că, în condițiile atingerii aceleiași eficiențe de reținere a emisiilor poluante (SO_2 , NO_x și pulberi) se înregistrează costuri investiționale mai reduse cu cca. 8÷15 % și
- costuri de exploatare mai reduse cu cca. 5÷10 % la cazanele CFB decât la cazanele cu cărbune pulverizat (PC) echipate cu instalație de desulfurare gaze de ardere (FGD) și instalație de tratare catalitică a gazelor de ardere (SCR);
- cazanele CFB permit o pornire mai rapidă decât cazanele PC, atât de la rece cât și de la cald, permițând astfel reducerea cheltuielilor de exploatare aferente combustibilului.

Caracteristica procesului, constă într-un amestec al particulelor suspendate într-un curent ascendent de gaz, combinație care duce la un fluid cu proprietăți bune.

Combustia are loc în pat cu un transfer ridicat de căldură în focar și temperaturi de ardere scăzute.

Figura următoare (fig. 1.2) prezintă schema tehnologică a unui cazan cu arderea cărbunelui în pat fluidizat circulant, aferentă unui bloc energetic cu o putere de 250 MW, aparținând centralei termoelectrice Gardanne – Franța (pană în prezent este cea mai mare centrală termică cu tehnologia CFB din lume).

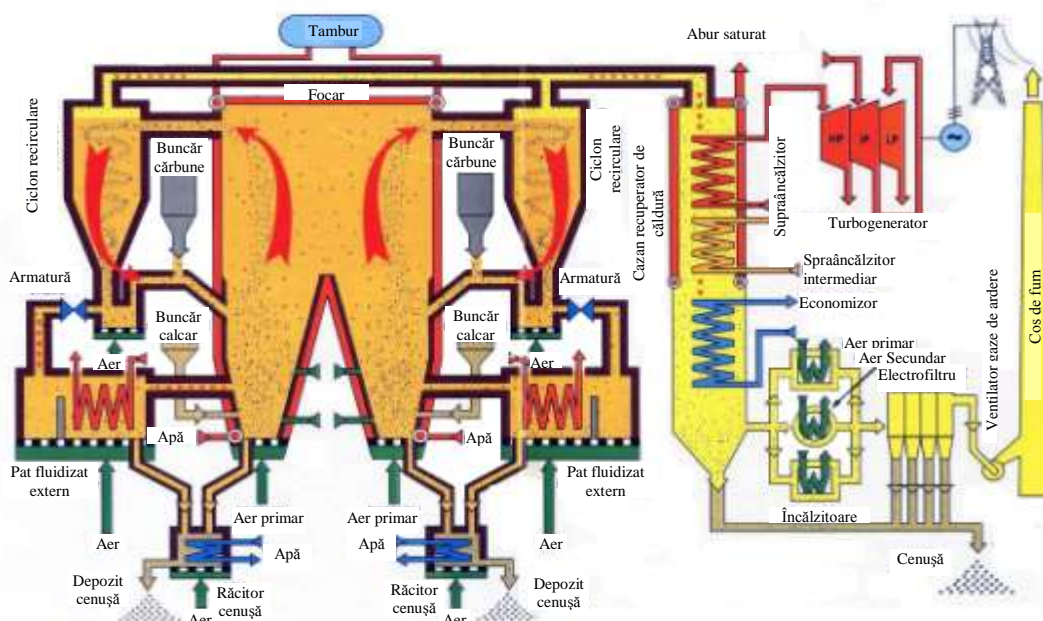


Fig. 1.2 Schema tehnologică a cazanului de 250 MW de la Gardanne – Franța

Arderea cărbunelui în strat fluidizat sub presiune cu ciclul combinat abur-gaze (PFBC)

Centralele ce utilizează tehnologia cazanelor cu ardere a cărbunelui în strat fluidizant sub presiune cu ciclul combinat abur-gaze (PFBC) utilizează ciclul combinat pentru a atinge o eficiență mai mare.

Gazele de ardere rezultate din arderea cărbunelui în combustor, după curățire ajung în turbina cu gaze (care antrenează compresorul de aer și un generator electric), după care sunt utilizate pentru a preîncălzi apa folosită în partea de generare a aburului. Aburul generat de combustor antrenează turbina cu abur, care la rândul ei antrenează generatorul electric.

În fig. 1.3 este prezentată schema de principiu a unei centrale cu tehnologie PFBC.

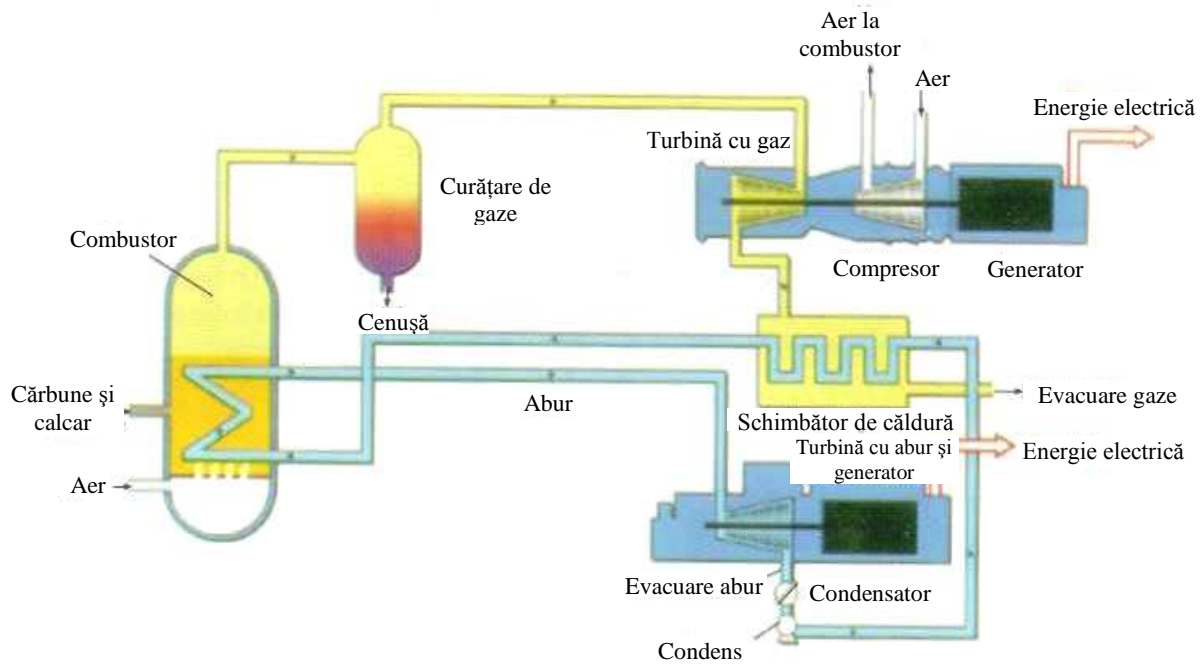


Fig. 1.3 Schema de principiu a unei centrale electrice cu PFBC

Gazeificarea cărbunului integrată cu ciclu combinat abur-gaze (IGCC)

Tehnologia de gazeificare a cărbunului integrată cu ciclu combinat abur-gaze (IGCC) se află în faza unor proiecte demonstrative variate ca tipuri de aplicații (ca număr, putere, țări), mai mare decât sistemul PFBC, dar cu un cost al investițiilor destul de ridicat.

Din punct de vedere al randamentului tehnologiei IGCC menționăm că, pentru valori ale randamentului de gazeificare de 80÷85% și a randamentului ciclului combinat de 55÷56% pentru temperaturi de 1373,15÷1573,15 K ale gazelor de ardere la intrarea în turbina cu gaze, se poate atinge o valoare a randamentului global al tehnologiei IGCC de 44÷46%.

Principiul de funcționare

Tehnologia tip IGCC, la limită, poate fi asimilată unui ciclu combinat, fără postcombustie, căruia i s-a atașat o instalație de gazeificare a cărbunului în care se prepara combustibilul “curat” necesar funcționării instalației de turbină cu gaze. În fig. 1.4 se prezintă schema de principiu a unei centrale IGCC.

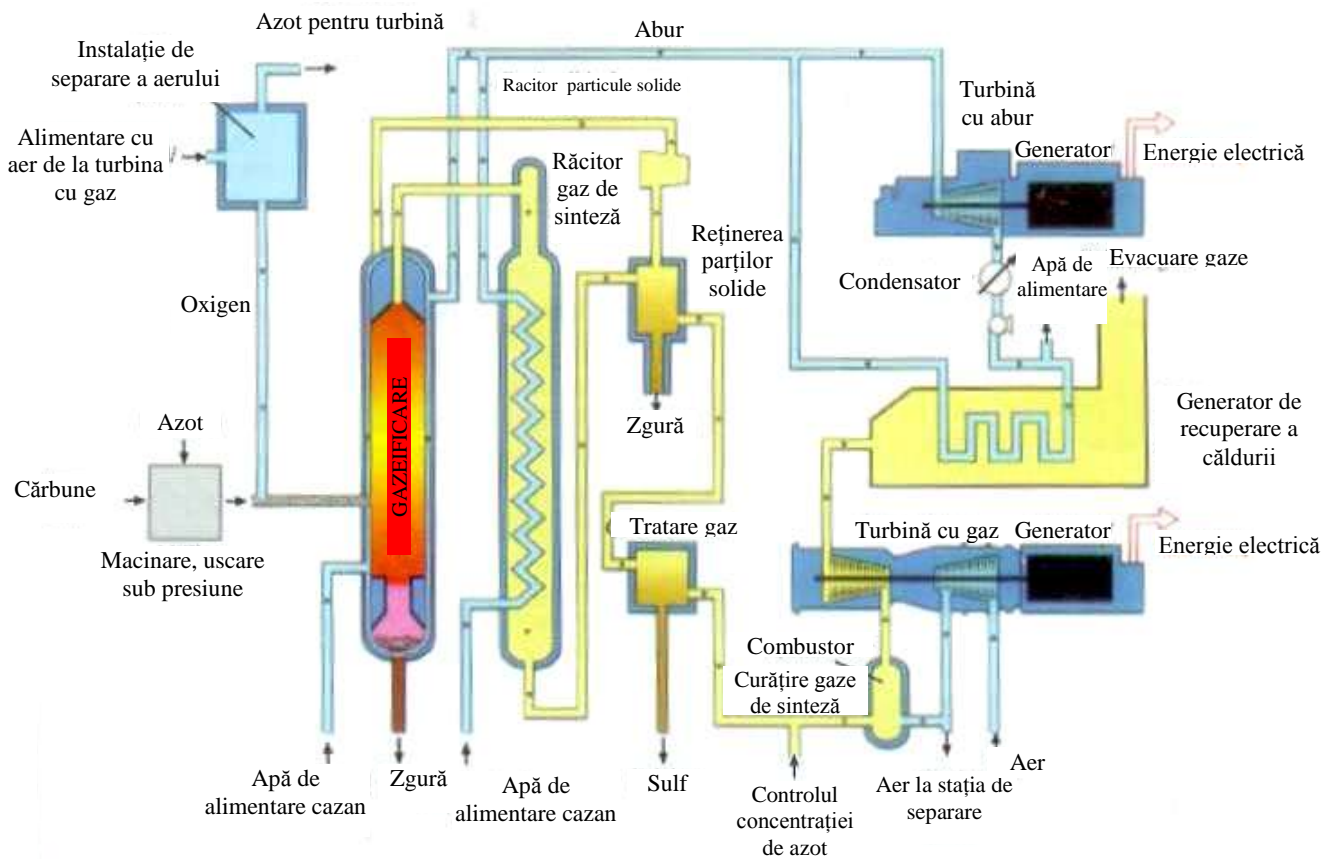


Fig. 1.4 Schema de principiu a unei centrale cu IGCC

Gazeificarea reprezintă un proces tehnologic prin care un combustibil solid sau lichid este transformat într-un gaz combustibil. În fig.1.4 se poate observa un gazogen în care cărbunul se transformă în gaze de sinteză, după care sunt răcite, tratate, curățite și introduse în turbina cu gaze (care antrenează un compresor de aer și un generator electric). Din turbina cu gaze, după destindere, gazele intră în generatorul recuperator de căldura și apoi sunt evacuate în atmosferă. În generatorul recuperator de căldura, gazele arse transformă apa în abur. Aburul produs de generatorul recuperator de căldura se amesteca cu aburul produs în gazogen și intră în turbina cu abur, care antrenează generatorul electric.

Combustibili solizi

Cărbunul, fie cel superior huiă, fie cel inferior lignitul, continuă să fie pentru mulți ani de aici înainte, materia primă pentru producerea energiei electrice. Deși, este neprietenos pentru natura și mediul înconjurător, datorită noxelor ce se degaja prin arderea lui, prin tehnologiile curate de ardere, care se implementează la noile capacități de producție a energiei electrice și modernizarea celor existente, continuă să fie folosit pe scara largă în toate țările lumii.

Cărbunul e format din trei componente:

- masă organică (o) - substanțe cu structură complexă formate din carbon, hidrogen, oxigen, sulf organic și azot;
- masă anorganică sau minerală necombustibilă (M) - substanțe minerale care prin calcinare se transformă în cenușă;
- umiditatea (apă).

Combustibili lichizi.

Combustibilii lichizi, aproape în totalitate, provin din țiței cunoscut și sub denumirea inexactă de „petrol brut”. Țițeiul mai întâi este supus unor operații de purificare, desalinizare și stabilizare, apoi se trece la distilarea primară care se execută la presiunea atmosferică și în sfârșit la distilarea secundară, executată sub depresiune.

Produsele obținute în urma distilării sau cracării țițeiului sunt supuse operației de rafinare, procedeu prin care se înlătură componentii dăunători cum ar fi compușii cu sulf și cu oxigen sau compușii care în procesul de ardere produc cocs. Produsele petroliere rezultate din distilarea și cracarea țițeiului pot fi clasificate în funcție de utilizarea principală care li se dă, în următoarele grupe:

- benzină,
- petrol,
- motorină,
- păcură.

Păcura este produsul petrolier cu cea mai mare complexitate chimică.

După conținutul mai mare sau mai mic de substanțe parafinoase, păcurile se grupează în două mari categorii:

- păcuri parafinoase,
- păcuri neparafinoase.

Combustibilii lichizi se utilizează ca și combustibili suport sau de pornire pentru ardere în cazanele energetice de mare putere, putând fi utilizați, de altfel, ca și combustibili de bază pentru cazanele energetice proiectate în acest scop.

Combustibili gazeși

Gazele combustibile folosite în scopuri energetice se împart în două mari clase:

- gaze naturale,
- gaze artificiale

Gazele naturale reprezintă gazele combustibile care se obțin în mod natural prin sondările efectuate în zăcămintele subterane. Ele sunt constituite din amestecuri de hidrocarburi saturate cu impurități ca bioxidul de carbon, hidrogen sulfurat, mercaptan, oxizi de azot, etc.

Gazele artificiale reprezintă gazele combustibile obținute prin prelucrarea termică a cărbunilor (gazeificare) și a produselor petroliere. Ele se obțin deci din combustibili solizi, în gazogene, retorte și în cuptoare, prin descompunerea combustibilului sub acțiunea presiunii. Gazele artificiale se obțin ca deșeuri gazoase ale diverselor fabricații, ca: producerea fontei, fabricarea cocsului din huilă.

2. Formarea noxelor în focarele cazanelor de abur și soluții tehnice de reducere a emisiilor de noxe

A) Emisia de oxizi de sulf

Mecanismul de formare al oxizilor de sulf

Oxizii de sulf sunt rezultatul oxidării în procesul de ardere a sulfului conținut de combustibil.

Participarea sulfului în compoziția cărbunilor este cuprinsă în general între 0,1- 1,5 % (pentru lignitul românesc). Proveniența sulfului în cărbuni este diversă și poate fi grupată astfel: sulful organic, sulful din sulfuri (piritic), sulful din sulfați și sulful mineral.

Numai o mică parte a sulfului combustibil, se transformă în trioxid de sulf, SO₃, cea mai mare parte a sulfului combustibil, peste 95%, arde sub formă de dioxid de sulf, SO₂.



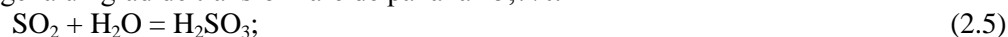
Transformarea SO₂ din gazele de ardere în SO₃ se realizează atât în sistemul de ardere cât și în atmosferă după evacuarea gazelor de ardere



În atmosferă transformarea se realizează sub acțiunea radiațiilor ultraviolete (ruv), în proporție de 1÷2‰.



Oxizii de sulf se combină cu vaporii de apă (conținuți în combustibil), atât în generatorul de abur cât și în atmosferă rezultând acidul sulfuros și acidul sulfuric. În condiții de ceață și în zilele foarte umede, în atmosferă se poate ajunge la un grad de transformare de până la 15,7%.



Prin oxidare în atmosferă acidul sulfuros se transformă în acid sulfuric:



Efectele dioxidului de sulf asupra organismului uman

Prezența dioxidului de sulf este remarcată prin miros și acțiunea iritantă asupra mucoaselor, efectele fiind legate în principal de alterarea funcției respiratorii .

Expunerea repetată la concentrații mari pe termen scurt, combinată cu expunerea pe termen lung la concentrații mai mici crește riscul apariției bronșitelor cronice, în special la fumători, iar expunerea pe termen lung la concentrații mici este resimțită în general de astmatici, oameni în vârstă și copii.

Efectele dioxidului de sulf asupra vegetației

Efectul asupra plantelor este dependent de concentrația dioxidului de sulf, de specia plantei și de vârsta părților plantei. Coniferele sunt cel mai mult afectate în perioada de activitate maximă a plantei, primăvara și începutul verii, prin leziuni de culoare roșcată și decolorarea parțială sau totală. În timpul iernii, se produce schimbarea culorii verde închis în verde deschis. Efectul este căderea frunzelor aciculare, în funcție de sensibilitatea fiecărei specii, cea mai sensibilă fiind larița, urmată de anumite soiuri de pin și brad.

Efectele dioxidului de sulf asupra materialelor metalice

Coroziunea afectează atât materialele feroase cât și pe cele neferoase, manifestându-se în principal prin pierderi de metal, dar și prin modificarea proprietăților electrice, magnetice și optice. Ea este dependentă de natura materialului metalic, natura și concentrația substanței agresive, umiditate și temperatură. Este evident că pentru un anumit agent agresiv, în cazul de față dioxidul de sulf, creșterea concentrației conduce la accentuarea coroziunii.

Construcțiile metalice sunt afectate de fenomenul de coroziune, durata vieții obiectelor de metal reducându-se de 23 ori în zonele intens poluate, iar acoperișurile din tablă de oțel galvanizată sunt mult mai afectate la locuințele din mediul urban în comparație cu cele din mediu rural, observațiile efectuate arătând o scădere a durabilității de două până la trei ori .

B) Emisia de oxizi de azot

Mecanismele de formare ale monoxizilor de azot

Procesele de formare a oxizilor de azot în instalațiile de ardere sunt complexe și până în prezent nu sunt pe deplin cunoscute.

Oxizii de azot rezultați în urma procesului de ardere a combustibililor provin din:

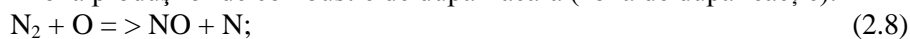
- azotul molecular conținut în aerul de ardere care, în condițiile de temperatură ridicată din flacără și din jurul flăcării, post flacără, reacționează cu oxigenul, formând așa numitul monoxid de azot termic, respectiv monoxidul de azot prompt. Geneza oxizilor de azot în nucleul flăcării, este concomitentă cu arderea combustibilului;
- azotul conținut în combustibil, sub formă de compuși azotați, care se descompun, în procesul de ardere, formând așa numitul monoxid de azot combustibil.

Monoxidul de azot astfel format, reacționează în continuare cu oxigenul formând o gamă largă de oxizi de azot, notați în literatura de specialitate cu NO_x (NO_2 , N_2O , N_2O_4).

Până în prezent sunt cunoscute trei moduri, mecanisme, de formare a monoxidului de azot:

a) mecanismul de formare a oxidului de azot termic din azotul existent în aerul necesar arderii;

Formarea monoxidului de azot termic are loc la temperaturi ridicate, printr-un mecanism lent care începe în flacără, continuând și în zona produșilor de combustie de după flacără (zona de după reacție).



b) mecanismul formării oxidului de azot prompt sau timpuriu ;

Formarea oxidului de azot prompt are loc în zona flăcării, din azotul din aer, fiind o consecință a reacțiilor radicalilor CN și CH cu moleculele de H₂, H₂O și N₂.



Cianizii rezultați conform ecuațiilor de mai sus se transformă ulterior în radicali de tipul NH_i, care în prezența oxigenului atomic sau a radicalilor OH vor genera monoxid de azot.

c) mecanismul de formare a oxidului de azot din azotul existent în compoziția combustibilului.

Azotul este eliberat din combustibil, unde se găsește sub formă de compuși alifatici (amine) sau aromatici (piridina, pirol), în timpul degajării materiilor volatile, cu o rată egală cu rata medie de pierdere a masei de către particula de combustibil. Azotul din combustibil intră în combinații cu radicali de forma CH, formând compuși de forma HCN, CN și NH_i, care reacționează formând NO sau N₂, în funcție de caracterul oxidant sau reducător al mediului din focar.

Cantitatea de NO care se formează este dependentă de: conținutul de azot al combustibilului; concentrația de oxigen în flacără, timpul de reacție și temperatura flăcării, o influență importantă având însă numai primii doi factori.

Efectele nocive ale oxizilor de azot asupra organismului uman

Amestecul de oxizi de azot, dintre care în cea mai mare concentrație este dioxidul de azot, reprezintă gaze cu potențial toxic ridicat, cu multiple efecte asupra organismului, caracterul iritant fiind predominant.

Acțiunea cronică și repetată a anumitor doze toxice, poate determina însă leziuni deosebit de marcante ale căilor respiratorii profunde.

Efectele nocive ale oxizilor de azot asupra mediului

Oxizii de azot contribuie la accentuarea efectului de seră, cu o contribuție apreciată între 4 și 6% și la degradarea stratului de ozon.

Acidul azotic, format de dioxidul de azot în anumite condiții cu apa, produce coroziunea construcțiilor metalice, iar împreună cu diferiți cationi prezenți în atmosferă formează azotați care degradează rețelele electrice și telefonice datorită acțiunii corozive asupra cuprului, alamei, aluminiului, nichelului.

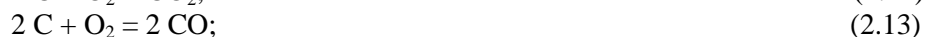
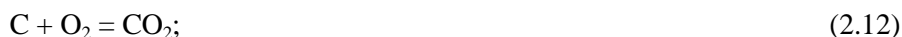
Datorită caracterului puternic oxidant și nitrurant al oxizilor de azot și al acidului azotic se produce degradarea maselor plastice, lacurilor, vopselelor utilizate în general ca materiale de protecție.

C) Emisia de oxizi de carbon

Mecanisme de formare a oxizilor de carbon

Dioxidul de carbon (face parte din categoria gazelor cu efect de seră) este un component natural al aerului, este incolor și are un miros slab acid.

În procesul de ardere al carbonului, conținut de combustibili solizi, ecuațiile de formare a dioxidului de carbon sunt:



Efectele dioxidului de carbon

Toxicitatea dioxidului de carbon se manifestă la concentrații ridicate ale acestuia în aer (peste 5000 ppm). La creșterea accentuată a concentrației de dioxid de carbon, peste concentrația normală în aer, apar primele semne ale intoxicației, cunoscută și sub denumirea de beție carbonică.

Cel mai însemnat neajuns legat de emisia de dioxid de carbon este influența pe care o manifestă asupra climei prin efectul de seră.

Efectele nocive ale monoxidului de carbon.

Riscul de intoxicație a populației este în general mai redus prin evacuările surselor industriale și mult mai frecvent în legătură cu sursele casnice și transporturi. Intoxicația cu monoxid de carbon se produce datorită acumulării gazului în aerul de respirat și inhalării sale, fără a fi simțită prezența sa, datorită faptului că este un gaz incolor, inodor și neiritant. Prezența altor gaze cum ar fi de exemplu oxizii de azot constituie un factor agravant .

Soluții tehnice pentru reducerea emisiilor de poluanți evacuați în atmosferă

A) Soluții tehnice de reducere a emisiilor de NO_x

Reducerea emisiilor de NO_x se poate realiza prin două tipuri de măsuri și anume:

- a) măsuri primare
- b) măsuri secundare

Atunci când măsurile primare nu pot realiza nivelul de emisie de NO_x necesar, se utilizează măsurile secundare care constau în utilizarea a două tipuri de procedee:

- b1) procedeul de reducere catalitică selectivă (SCR)
- b2) procedeul de reducere necatalitică selectivă (SNCR)

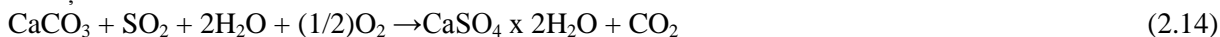
B) Soluții tehnice de desulfurare a gazelor de ardere

În continuare se face o prezentare succintă a soluțiilor tehnice de desulfurare a gazelor de ardere:

a) Soluția umedă

Aceasta este cea mai uzitată soluție tehnică pe plan mondial, îndeosebi la volume mari de gaze de ardere. Performanțele acestei soluții tehnice se ridică la 95% - 98% grad de desulfurare.

Reacția chimică este:



În fig. 2.1 se prezintă schema a unei instalații de desulfurare gaze de ardere în tehnologia umedă.

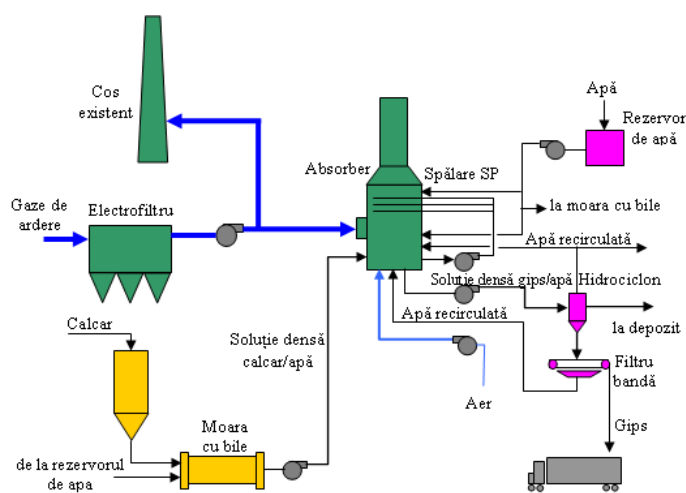
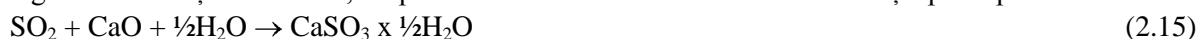


Fig. 2.1 Schema tehnologică a unei instalații de desulfurare umedă

b) Soluția semi-uscată

Agentul de reacție este varul, iar produsul final este sulfatul de calciu. Reacția principală este:



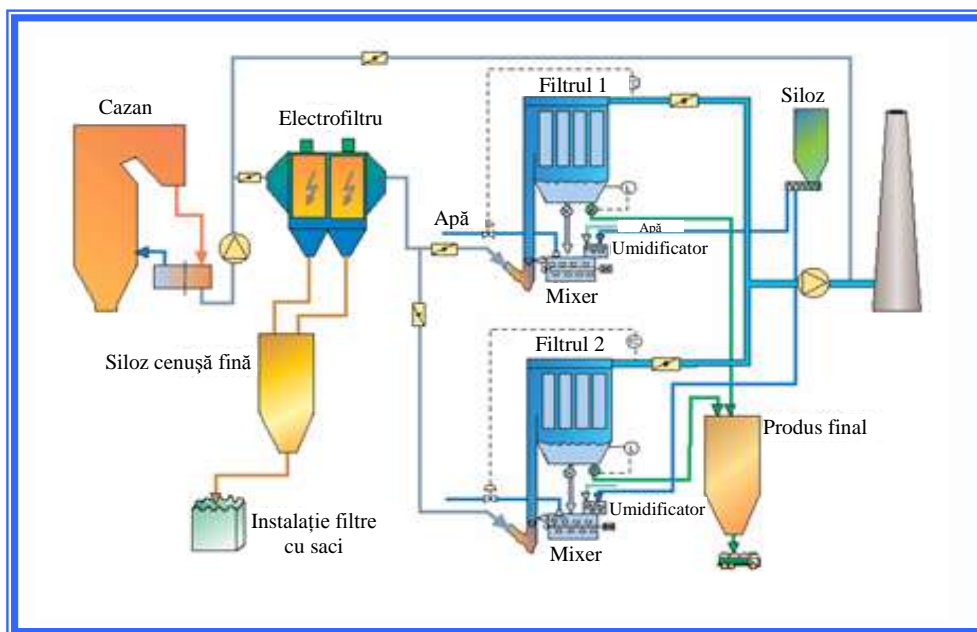


Fig. 2.2 Schema tehnologică de desulfurare gaze de ardere în soluția semi-uscată

- c) Soluția cu magneziu
- d) Soluția „CASOX” de oxidare catalitică
- e) Sistemul de desulfurare tip OG
- f) Sistemul „NKK LIMAR – Bag” (tip uscat)
- g) Sistemul “Blue Sky 2000”
- h) Sistemul de desulfurare semiuscat LILAC
- i) Sistemul de desulfurare și denoxare directă în cazan
- j) Sistemul “IHI in-line”
- k) Sistemul uscat pentru înlăturarea acidului clorhidric și a SO₂
- l) Sistemul „Chiyoda Thoroughbred CT 121”
- m) Sistemul de oxidare forțată cu amoniac
- n) Sistemul cu oxidare electrocatalitică (ECO® Process)
- o) Sistemul cu oxidare prin flux de electroni (e-SCRUB® Process)

C) Soluții tehnice de captare, transport și stocare geologică a emisiilor de dioxid de carbon în centralele termoelectrice

Tehnologii de captare a dioxidului de carbon

În prezent există două tehnologii de captare a dioxidului de carbon, a căror stadiu de dezvoltare este foarte apropiat de scara demonstrativă, acestea sunt:

- oxicom bustia;
- post-com bustia.

Transportul dioxidului de carbon

Pentru a transporta CO₂ de la instalația de captare la posibilul sit de stocare, soluția fezabilă tehnico-economic este prin conducte în așa numita stare fizică „fază densă”. Faza densă este starea fizică în care CO₂ este un fluid supracritic, având temperatura de 304 K și presiunea de 7,38 kPa.

Pentru aceasta este necesară comprimarea CO₂ la presiune înaltă (circa 110 bar), astfel încât să se asigure că pe întreaga lungime a traseului nu se va schimba starea fizică a gazului și de asemenea, se vor acoperii și pierderile de presiune aferente.

Posibilități de stocare geologică a dioxidului de carbon

Posibilele locuri de injecție a dioxidului de carbon sunt:

- câmpurile petroliere epuizate, eventual în combinație cu creșterea gradului de recuperare a țițeiului;
- fostele câmpuri de gaze, eventual cu producții adiționale de gaze;
- acviferele de adâncime care conțin apă sărată nepotabilă;
- straturi de cărbune aflate la adâncime mare neexploatabile, în care are loc schimbul metanului absorbit cu dioxidul de carbon cu producere simultană de gaz;
- sondele geotermale după extracția căldurii din acvifere;
- cavitățile rămase în minele de cărbune și sare epuizate.

3. Cazane de abur de mare putere utilizate în sistemul energetic național

Arderea combustibililor solizi, inferiori, în cazanele de abur de mare putere

Organizarea procesului de ardere a combustibilului solid în cazane

Organizarea procesului de ardere cuprinde următoarele faze tehnologice:

- 1) Pregătirea mecanică a combustibilului prin sortare și concasare;
- 2) Alimentarea focarului cu combustibil și aer precum și asigurarea circulației acestora;
- 3) Realizarea contactului intim între combustibil și aer (oxidant) ;
- 4) Pregătirea termică a combustibilului și a aerului necesar arderii (preîncălzirea aerului și combustibilului, uscarea acestuia în cazan și degajarea substanțelor volatile);
- 5) Aprinderea gazelor rezultate în urma pregătirii termice a combustibilului;
- 6) Aprinderea materiilor volatile și a cocsului;
- 7) Asigurarea circulației gazelor rezultate din arderea combustibilului și evacuarea acestora;
- 8) Separarea și eliminarea părților solide necombustibile (cenușă și zgură).

La majoritatea cazanelor industriale mari, timpul de ardere a particulelor de cărbune până la arderea completă este între 1 și 2 secunde, așa cum este arătat în fig. 3.1

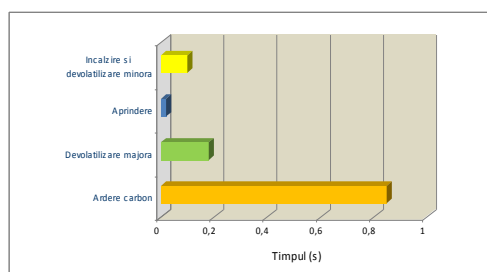


Fig. 3.1 Diagrama timpilor proceselor de ardere

Această diagramă evidențiază timpul petrecut de particula de cărbune în cazan. Particulele mai mici (fînețe mai mare de măcinare) cresc cantitatea de carbon transformată în CO₂ și scad cantitatea de particule rămase în cenușa zburătoare, care părăsesc cazanul.

Necesitatea susținerii arderii cu combustibil suport : gaz natural sau păcură

În condițiile unui gradient de creștere a temperaturii scăzut sau staționar, procesul de ardere devine instabil, se reduc încărcările termice specifice și cresc mult pierderile de căldură prin ardere incompletă.

Pentru a preîntâmpina aceste condiții nefavorabile specifice și ligniților românești, instalația de ardere trebuie să asigure continuitatea și stabilitatea arderii în intervalul de 973,15÷1173,15 K prin:

- aducerea unui aport de căldură în zona de ardere a cocsului;
- menținerea în zona respectivă a unei părți cât mai mari din căldura dezvoltată.

Pentru asigurarea unei aprinderi sigure a materiilor volatile, care depinde de nivelul de temperatură, trebuie să existe un aport de căldură care să furnizeze energia necesară întreținerii procesului.

Nerealizarea condițiilor pentru aprinderea combustibilului solid face necesară adoptarea în exploatare a unor măsuri costisitoare pentru susținerea flăcării de combustibil solid, constând în principal în arderea unui combustibil superior (gaz natural sau păcură) de suport termic.

Cazane de abur de mare putere folosite în sistemul energetic național

a) Cazanul de abur, tip Benson de 510 t/h, utilizat la CTE Ișalnița

CTE Ișalnița are în componență două blocuri energetice de 315 MW fiecare.

Fiecare Bloc de 315MW, este echipat cu două cazane de abur de 510 t/h identice, fabricate de MAN – Germania, și o turbină RATEAU – SCHNEIDER - Franța, iar generatorul ALSTHOM- Franța. Cazanul este de tipul Benson, cu trecere forțată unică cu punct variabil de evaporare, construit în formă de Π. Utilizează lignitul ca și combustibil solid și gazul natural pentru pornire și susținere flacăra.

b) Cazanul de abur, tip Benson de 525 t/h, utilizat CET Craiova

Cazanul de abur de 525t/h (146 kg/s) este de fabricație Vulcan, funcționează cu combustibil solid, lignit, este montat în schema bloc, în centrala electrică de termoficare Craiova, împreună cu grupul turbogenerator de 150/120 MW (774,5 GJ/h), fabricat la fostul IMGB.

Constructiv este un generator de abur, turn cu circulație forțată unică, tip Benson cu supraîncălzire intermediară, realizat în soluție cu pereți membrană, funcționând cu depresiune pe circuitul gazelor de ardere. Funcționează pe bază de lignit și păcură sau gaz natural pentru pornire și susținere flacăra în cazan.

c) Cazanul de abur, tip Benson de 1035 t/h,utilizat la CTE Turceni

Cazanul utilizat la CTE Turceni este un cazan turn de 1035 t/h, cu trecere forțată, tip Benson. Utilizează ca și combustibil de bază lignitul, iar combustibil suport, gazul natural.

d) Cazanul de abur, tip Benson de 1035 t/h, utilizat la CTE Rovinari

Cazanul turn de abur Benson, este construit de întreprinderea Vulcan București sub licență Babcock și utilizează drept combustibili de ardere lignitul, iar combustibil suport, păcura.

4. Modelarea procesului de curgere în arzătorul de praf de cărbune și în camera focară a cazanului Benson de 510t/h, folosind M.E.F.

Tipuri de studii de curgere întâlnite în arzătorul de praf de cărbune și în camera focara a cazanului de 510 t/h.

Rezultatele analizei, folosind M.E.F., s-au obținut având la bază softurile specializate **SolidWorks 2010** și **COSMOSFloWorks 2010/PE**.

Studiul curgerilor se poate aborda distinct în 2 categorii:

a) Prima categorie de studiu

Se disting curgerile turbulente pe secțiuni de instalație neînsoțite de procese de ardere, a aerului primar (un amestec polifazic format din: aer atmosferic + gaze de ardere + particule de praf de cărbune) sau aerului secundar.

a.1) Studiul curgerii turbulente a aerului primar

Noțiunea de aer primar, ce va fi utilizată în continuare, se referă la un amestec polifazic format din particule de praf de cărbune transportate cu un curent de gaze de ardere, vapori de apă (proveniți de la preuscarea cărbunelui în turnul de uscare) și aer atmosferic.

a.2) Studiul curgerii turbulente a aerului secundar

Aerul secundar este obținut din aer atmosferic încălzit la $T = 543,15 \text{ K}$.

Analiza curgerii se realizează simultan prin 9 canale de curgere astfel:

a.2.1) Studiul curgerii turbulente a aerului secundar (categorisit în aer secundar: inferior, intermediar sau superior) aflat în curgere simultană pe 5 canale cu geometrie variabilă, (canalele: 1, 3, 5, 7 și 9, din fig. 4.2).

a.2.2) Studiul curgerii turbulente a aerului secundar aflat în curgere pe 4 canale cu geometrie variabilă, (canalele: 2, 4, 6 și 8 din fig. 4.2),

b) A doua categorie de studiu

Se referă la studiul curgerii polifazice turbulente realizată în interiorul focarului și însoțită de procesul de ardere.

Modelarea 3D a arzătorului de praf de cărbune de la cazanul de 510 t/h

Pentru modelarea curgerii aerului primar și secundar prin arzătorul de praf de cărbune și în camera focară s-au determinat mărimile de intrare precum: volumele gazelor de ardere, debitele masice și volumice ale componentelor gazelor de ardere la parametrii termodinamici de calcul. Rezultatele parametrilor de intrare s-au centralizat în tabelele: 4.1; 4.2; 4.3.

Tabelul 4.1 Debitul volumic de gaze introduse în arzător la parametrii termodinamici

	gaze componente	condiții termodinamice de calcul pentru q_v [m ³ /s] la nivelul secțiunii de intrare $T_p = 393,15 \text{ K}$; $p_p = 101030,7 \text{ [Pa]}$		
		[m ³ _N /kg combustibil]	q_v [m ³ _N /s]	q_v [m ³ /s]
amestec de aer primar	gaze de ardere			
	CO ₂	0,6119022	7,138859	4,305857787
	SO ₂	0,0095960	0,111953333	0,067525515
	N ₂	2,6567189	30,99505383	18,69490543
	vapori de H ₂ O supraîncălziți	0,6750659	7,875688333	4,750282074
	Total	3,9532761	46,1215545	27,81857081
		[m ³ _N /kg combustibil]	q_v [m ³ _N /s]	q_v [m ³ /s]
	aer	1,0456130	12,1953125	7,355696659
		[m ³ _N /kg combustibil]	q_v [m ³ _N /s]	q_v [m ³ /s]
	Total aer primar	4,9985890	59,3168670	35,17426747

Tabelul 4.2 Rezultate obținute din calcul, pentru debitul volumic de aer secundar, introdus în arzător

aer secundar	condiții termodinamice de calcul pentru q_v [m ³ /s] la nivelul secțiunii de intrare $T_s = 542,50 \text{ K}$; $p_s = 101030,7 \text{ [Pa]}$		
	[m ³ _N /kg combustibil]	q_v [m ³ _N /s]	q_v [m ³ /s]
	3,1359380	10,01757813	28,456998

Tabelul 4.3 Rezultatele calculului aerului primar,secundar și tertiar introdus în focar

tipul de aer	condiții termodinamice pentru q_v la nivelul secțiunii de intrare	q_v [m ³ /s]
aer primar	$T_p = 393,15$ K ; $p_p = 101.030,7$ [Pa]	35,17426747
aer secundar	$T_s = 542,50$ K ; $p_s = 101.030,7$ [Pa]	28.456998
aer terțiar	$T_t = 293,15$ K ; $p_t = 101.325$ [Pa]	1,0941778
Total aer		64.725443

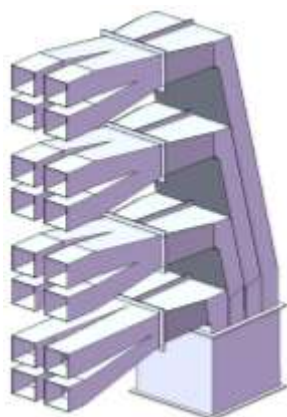


Fig. 4.1 Canalele de curgere a aerului primar

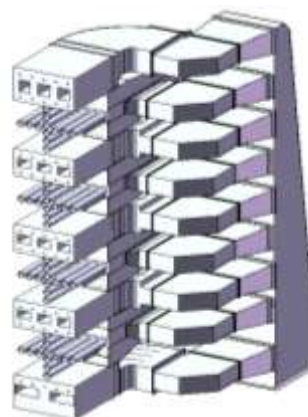


Fig. 4.2 Canalele de curgere a aerului secundar

Analiza curgerii aerului primar în interiorul arzătorului de praf de cărbune al cazanului

În fig.4.1 se prezintă canalele de curgere a aerului primar prin arzătorul de praf de cărbune.

În urma aplicării analizei și simulării folosind M.E.F, a rezolvării ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale pentru studiul procesului de curgere, s-a obținut modelarea spațială a distribuțiilor câmpului de viteză, a presiunii, densității și temperaturii pe traiectoriile de curgere ale elementelor de fluid, prezentate în fig.4.3; 4.4; 4.5; 4.6.

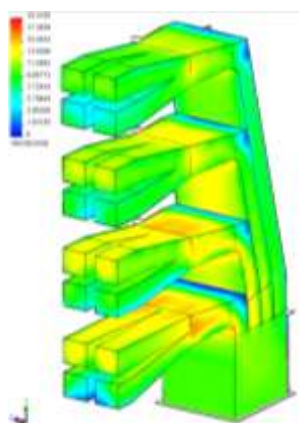


Fig.4.3 Distribuția vitezelor

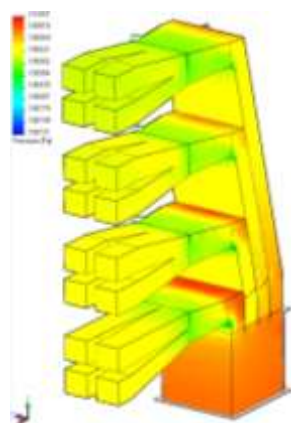


Fig.4.4 Distribuția presiunii

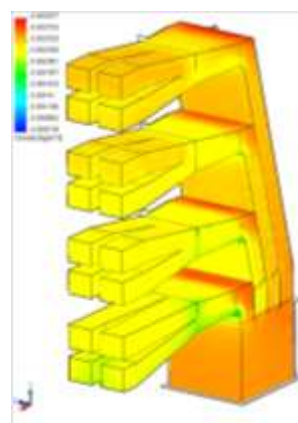


Fig.4.5 Distribuția densității

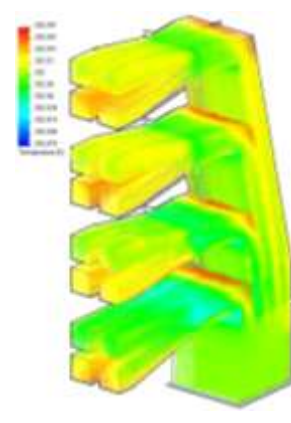


Fig.4.6 Distribuția temperaturii

Variația debitelor de praf de cărbune prin prin fantele de ieșire din arzător și prin conductele arzătorului de praf de cărbune, sunt prezentate în fig. 4.7 și fig.4.8.

În fig. 4.9 este prezentată intensitatea turbulenței prin arzător, iar în fig.4.10, profilul vitezelor în secțiunile de ieșire ale fantelor conductelor de praf de cărbune.

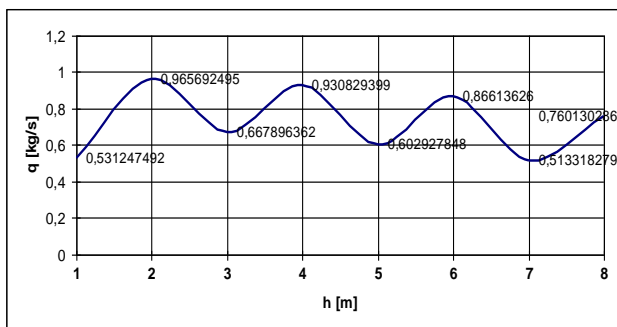


Fig. 4.7 Variatia debitului masic de praf de carbune prin fantele arzatorului

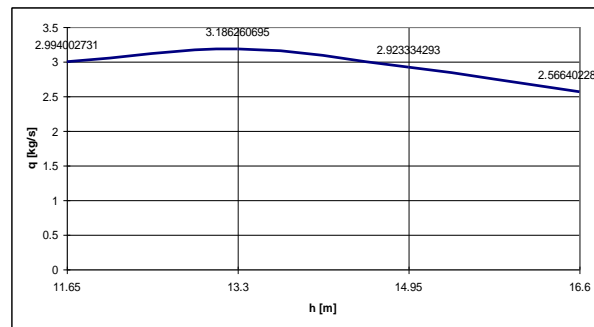


Fig. 4.8 Variatia debitului masic de praf de carbune prin canalele arzatorului

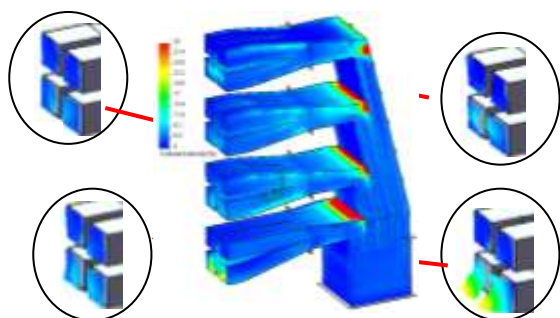


Fig. 4.9 Intensitatea turbulenței

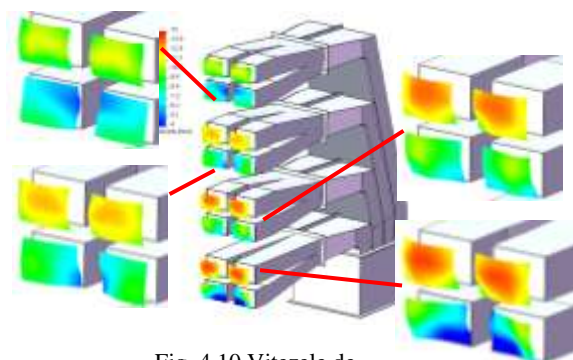


Fig. 4.10 Vitezele de ieșire din fante

Concluzii:

- curgerea aerului primar are un caracter turbulent, intensitatea turbulenței are valorile maxime la racordările exterioare ale coturilor frânte ale conductelor de praf, fig. 4.9; în secțiunile fanterelor de ieșire intensitatea turbulenței este max. la fanterele conductei 1 (1.3p și 1.4p) și descrescătoare la fanterele inferioare ale conductelor: 4 (4.3p, 4.4p), 2 (2.3p, 2.4p) și 3 (3.3p, 3.4p);
- viteza de curgere are valori mari în cadrul unei conducte pe traseele de curgere ale fanterelor superioare (1.1p, 1.2p; 2.1p, 2.2p; 3.1p, 3.2p; 4.1p, 4.2p), dar aceasta scade cu creșterea cotei orizontale în sensul (conducta 1→2→3→4), fig. 4.3.
- presiunea are o distribuție 3D neuniformă și scade către secțiunile fanterelor de ieșire, având valoare maximă la intrarea în cutia conductelor de praf; de asemenea are valoare crescută în zonele cu turbulențe ridicate ale coturilor frânte, fig. 4.4.
- densitatea scade către fanterele de ieșire din conductele de praf, pornind de la o densitate ridicată în cutie, tronsoanele oblice ale conductelor și în racordarea exterioară a coturilor frânte, fig. 4.5.
- încălzirea aerului ca urmare a transformării parțiale a unei fracții din energia pneumatică pierdută în timpul curgerii, generează o creștere maximă de aprox. $T = 0.2$ K, localizată în special în zonele de turbulență maximă, la coturi, în racordările exterioare și la canalele fanterelor inferioare ale conductelor, după realizarea bifurcării la conducta 1 (1.1p, 1.2p), până la conducta 4 (4.1p, 4.2p), fig. 4.6.
- la nivelul fanterelor de ieșire se confirmă vitezele maxime medii pe profilul atașat suprafețelor fanterelor 1.1p, 1.2p și 2.1p, 2.2p, care opun rezistențele aerodinamice cele mai reduse curentului de aer, fig. 4.10.
- prin conductele 1, ..., 4 se insuflă: 25,67% ; 27,35%; 25,05% și 21,93% din debitul de praf de carbune total intrat în arzător; debitele cu valorile cele mai ridicate trimise către focar corespund fanterelor de ieșire, care au vitezele medii în secțiune cele mai mari; conducta nr.2 insuflă debitul masic maxim de carbune.

Analiza curgerii aerului secundar în interiorul arzătorului de praf de cărbune

Canalele de curgere a aerului secundar prin arzătorul de praf de cărbune, sunt prezentate în fig.4.2.

La baza studiului curgerii aerului secundar prin arzător a stat tot M.E.F. și ecuațiile diferențiale cu derivate parțiale asociate procesului de curgere al fluidelor.

S-a obținut modelarea spațială a vitezei, fig. 4.11; temperaturii, fig. 4.12; presiunii, fig.4.13; densității, fig.4.14; intensității turbulenței, fig. 4.15; energiei turbulenței, fig.4.16 și disipării turbulenței la curgerea aerului secundar prin arzător, fig.4.17.

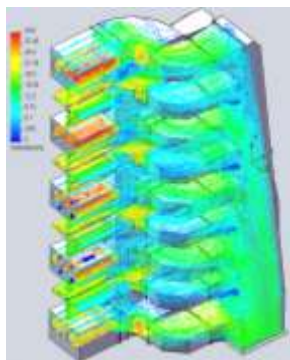


Fig. 4.11 Distribuția vitezei

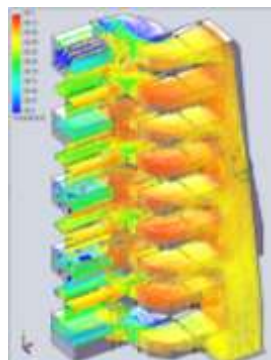


Fig. 4.12 Distribuția temperaturii

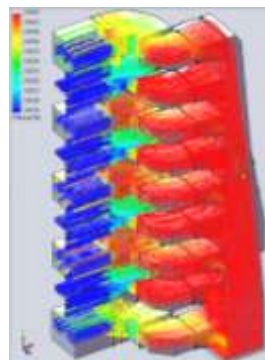


Fig. 4.13 Distribuția presiunii

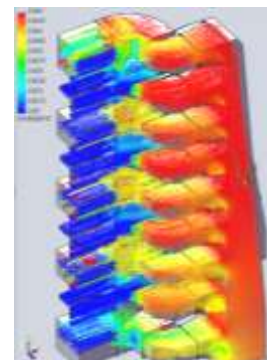


Fig. 4.14 Distribuția densității

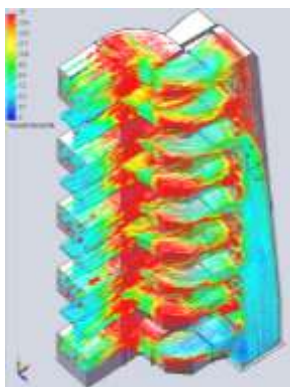


Fig. 4.15 Intensitatea turbulenței

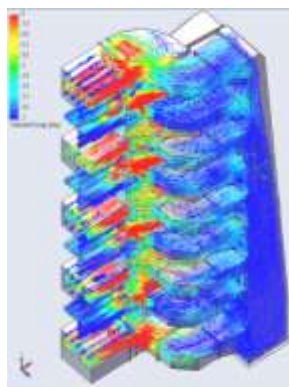


Fig. 4.16 Energia turbulenței

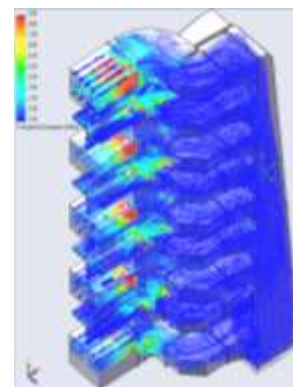


Fig. 4.17 Disiparea turbulenței

Concluzii:

- în conductele de aer secundar se constată o curgere turbulentă. Vitezele de curgere, cele mai mari sunt întâlnite în canalele terminale în amonte de fantele dreptunghiulare ale conductelor 7 și 9, fig. 4.11; turbulență intensă există în zonele corespunzătoare racordărilor interioare și exterioare ale coturilor frânte sau racordate ale conductelor de aer secundar; viteza maximă este de $v = 30,5$ m/s;
- câmpul de distribuție spațial al temperaturii arată că la conductele interioare de la 2,...,8 se primește căldură prin convecție și radiație de la conductele adiacente (prin care circulă aerul primar), care le îmbracă, crescându-le temperatura. La conductele exterioare 1 și 9, temperatura este mai scăzută, deoarece acestea pierd suplimentar o cantitate de căldură prin convecție, ele fiind în contact cu aerul din mediul ambiant a cărui temperatură este mult mai scăzută față de cea a aerului care tranzitează conductele secundare. Diferența maximă de temperatură, pe ansamblu, este de aprox. $\Delta T = 0,7$ K. Valorile extreme ale temperaturilor sunt înregistrate în zonele unde apar pierderile cele mai ridicate de energie pneumatică (care este transformată parțial în căldură); aceste temperaturi extreme sunt localizate în special în zonele coturilor frânte și confuzoarelor sau a variațiilor bruște de secțiune: fig. 4.12, temperatura maximă ajungând la $T = 543,2$ K;
- presiunea aerului secundar este mai ridicată în coloana de intrare, în confuzoare și în coturile frânte ale conductelor: 2,...,9, și a coturilor rotunjite ale conductelor: 3, 5, 7 ajungând la valoarea $p \rightarrow 100450$ Pa; Spre secțiunile de ieșire ale fantelor, ce insuflă în focar, presiunea ajunge la

- valoarea $p \rightarrow 100150$ Pa; Se constată, de asemenea, că avem o variație a câmpului presiunilor la nivelul fantelor de ieșire către focar, atât în plan orizontal, cât și în plan vertical: fig. 4.13;
- distribuția câmpului densităților, variază în limitele $\rho = 0,643 \dots 0,6445$ kg/m³, având valori mai mari la intrare și mai scăzute către ieșire, această variație reflectă și dependența densității cu temperatura: fig. 4.14;
 - câmpul de distribuție al intensității turbulenței, arată existența valorilor cele mai ridicate localizate în coturi, acolo unde au loc schimbările de direcție a curgerii și la modificările bruște de secțiune, întâlnite pe traseul de curgere: fig. 4.15;
 - dispariția turbulenței este mai intensă la partea finală a conductelor impare de aer secundar, la ieșirea din coturile racordate și la intrarea în canalele cu secțiune dreptunghiulară: fig. 4.17.

5. Modelarea arderii în camera focară a cazanului de 510 t/h

Modelarea câmpului termic

Modelarea procesului de ardere este un proces complex și se poate realiza prin abordarea tuturor mărimilor și fenomenelor fizice fundamentale care guvernează arderea.

În cadrul modelării trebuie avut în vedere:

- modelarea proprietăților fizice ale substanțelor
- modelarea fenomenelor fizice fundamentale
- modelarea curgerii turbulente
- modelarea schimbului de căldură prin radiație
- modelarea producerii și transportul speciilor chimice
- modelarea formării poluanților

Condițiile termice de aprindere

Temperatura de aprindere este nemijlocit influențată de caracteristicile combustibilului. Astfel, ea este puternic dependentă de conținutul de balast; cu cât acesta este mai mare, cu atât perioada de aprindere este mai lungă. Aprinderea este influențată și de alți parametri, de ordin constructiv-funcțional, ce intervin la proiectarea unui cazan, printre care: finețea de măcinare a combustibilului, coeficientul de exces de aer, proporția de aer primar și temperatura lui, locul de introducere a aerului secundar, regimul termic din focar.

Ecuatiile care reprezintă condițiile de aprindere sunt :

$$Q_{primit} \geq Q_{cedat}$$

$$\frac{dQ_{primit}}{dT_p} \geq \frac{dQ_{cedat}}{dT_p} \quad (5.1)$$

Unde, T_p este temperatura particulelor de combustibil, [K].

Rezolvarea acestui sistem de inecuații se face numeric cu ajutorul unui program, care determină perechea de temperaturi (T_p, T_g) la timpul τ_i (T_g este temperatura fazei gazoase), care realizează condițiile de aprindere, adică:

- fluxul de căldură primit de particulă să fie mai mic decât cel cedat;
- viteza de creștere a fluxului de căldură primit de particulă să fie mai mare decât viteza cu care particula cedează căldură.

Modelarea procesului de ardere în interiorul focarului cazanului de 510 t/h

În interiorul cazanului Benson de 510 t/h., arzătoarele de praf de cărbune insuflă în focar un amestec polifazic de aer primar + secundar, supus procesului de ardere (în care particulele de praf de cărbune există în suspensie). Neomogenitatea amestecului combustibil trimis în focar și natura turbulentă a procesului de curgere, realizată la diferite cote ale arzătorului, fac ca insuflarea prafului de cărbune în focar, prin fantele de ieșire ale conductelor de praf să fie neuniformă, cât și a aerului primar, secundar și terțiar prin conductele aferente, ceea ce conduce la apariția unui proces de curgere și ardere spațial neuniform în focar.

Acest lucru va fi evidențiat în lucrare prin analiza procesului de ardere cu element finit, folosind un soft specializat **Fluent 6.3** alături de softul **Gambit 2.2.30** (utilizat pentru modelarea și discretizarea domeniului de curgere). Rezultatele analizei cu element finit prezintă evoluția procesului de curgere și ardere existent în focar, pentru care sunt determinate distribuții spațiale corespunzătoare ale câmpurilor de: temperatură, viteză, densitate, presiune, etc.

În fig. 5.1 a,b,c este prezentată modelarea spațială a cazanului precum și o serie de secțiuni spațiale care scot în evidență focarul, geometria focarului în care se desfășoară procesul de ardere a amestecului combustibil.

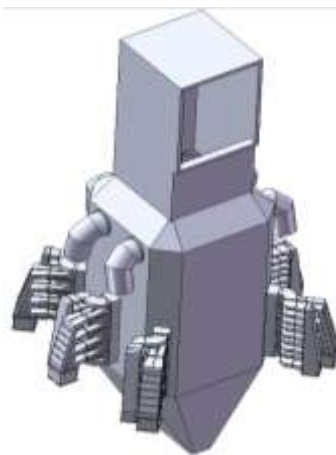


Fig. 5.1 a



Fig. 5.1 b

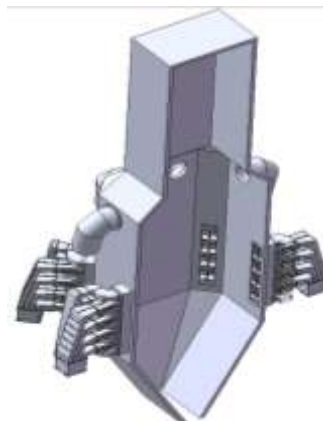


Fig. 5.1 c

În fig. 5.2 ,...,fig. 5.7, notate cu a), b), c), sunt reprezentate:

- a) - liniile de contur (contours) pentru care mărimea fizică specificată are valori constante, cum ar fi de exemplu: liniile izobare la $p = ct.$, izopotențiale la $v = ct.$, izodense la $\rho = ct.$, izoterme la $T = ct.$,
- b) - câmpurile vectorilor viteze, punctual colorați corespunzător valorii modului mării atașate în punctul respectiv (velocity vectors colored by ...),
- c) - traiectoriile de curgere, colorate conform valorii mării fizice la care este atașată.

În fig.5.2,...,fig.5.9 sunt prezentate rezultatele calculului distribuțiilor mărimilor asociate curgerii și modelării aerului primar, secundar și terțiar în camera focară.

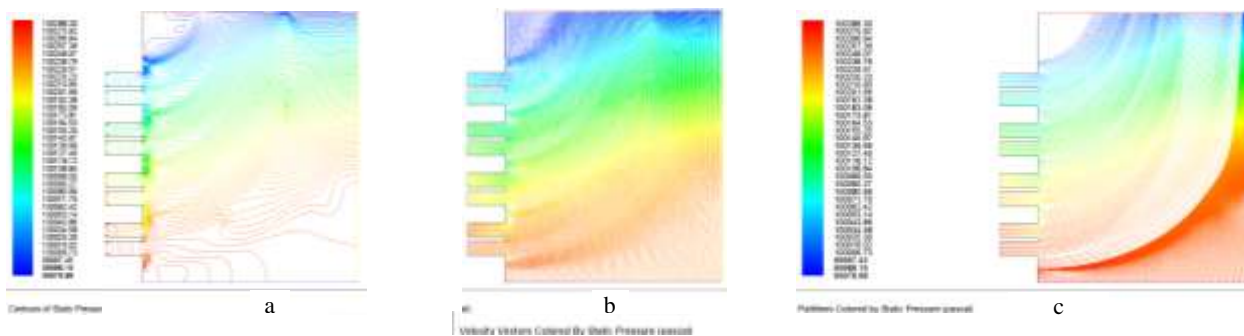


Fig.5.2 Presiunea statică

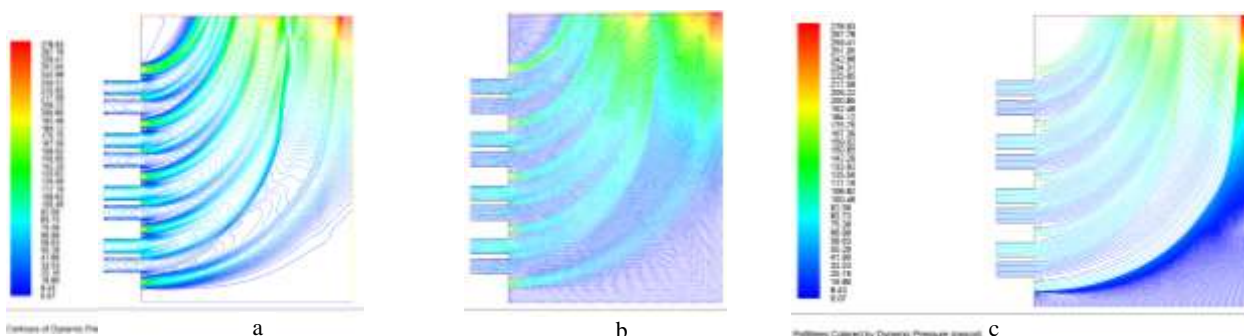


Fig.5.3 Presiunea dinamică

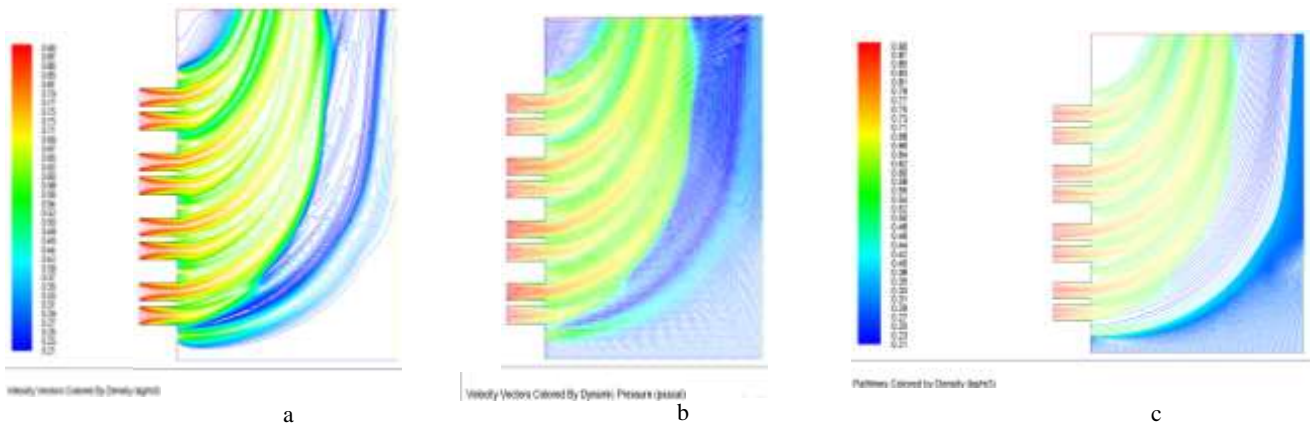


Fig.5.4 Densitatea

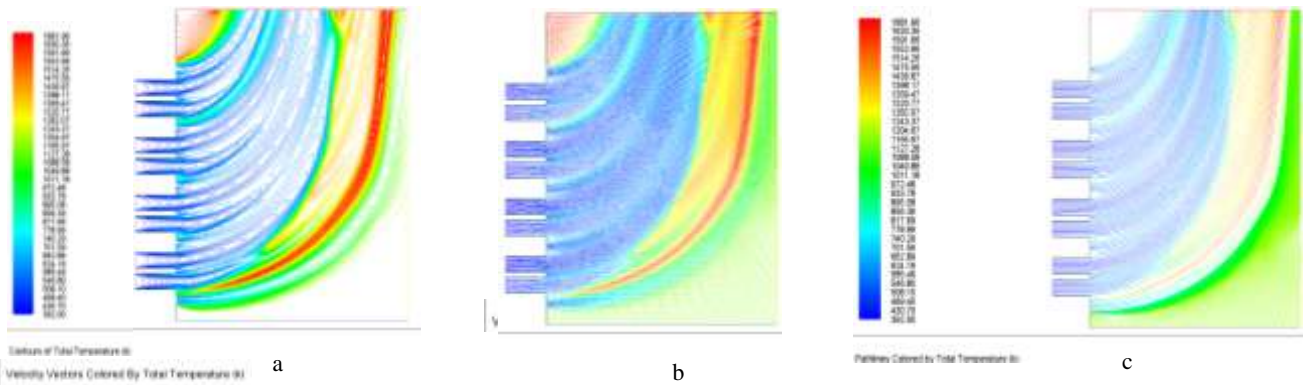


Fig.5.5 Temperatura

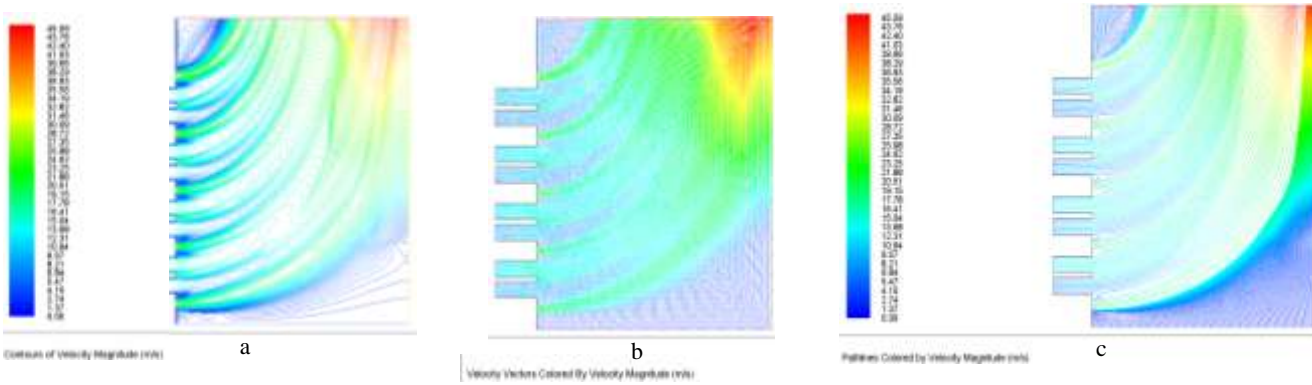


Fig.5.6 Marimea vitezei

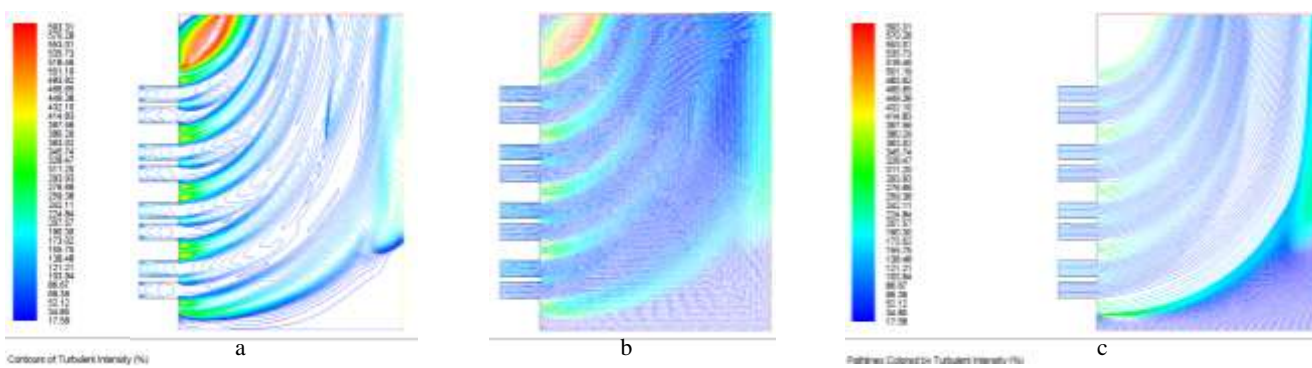


Fig.5.7 Intensitatea turbulenței

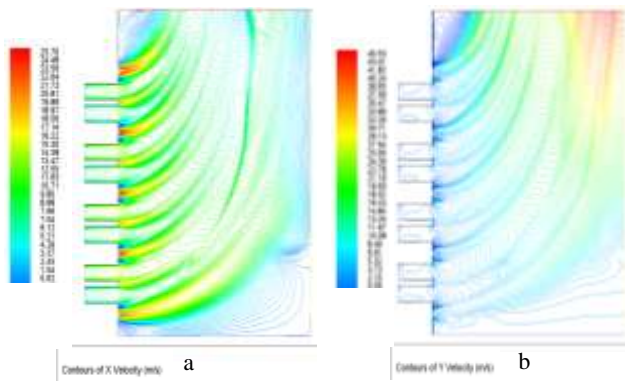


Fig.5.8 Viteza de-a lungul axei x, și y

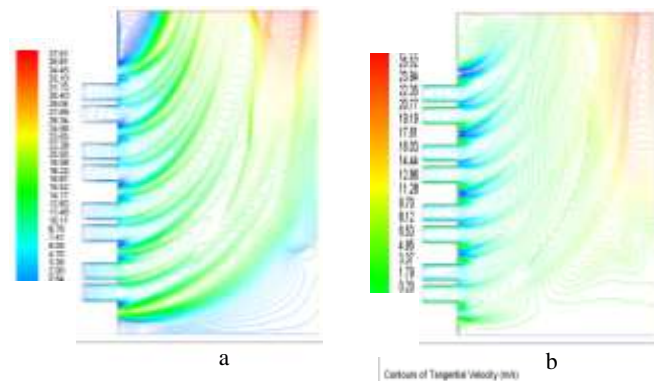


Fig.5.9 Viteza radială și tangențială

Concluzii:

- modelul 3D al focarului cazanului este relativ simplu având o secțiune octogonală în plan orizontal, iar constructiv arzătoarele de praf de cărbune insuflă amestecul de aer secundar și primar în focar tangent la un cilindru imaginar drept, fig. 5.1 a,b,c;
- distribuția vitezei rezultante pe traiectoriile de curgere arată o influență perturbatoare importantă a aerului terțiar, care este mai redusă adiacent peretelui (unde viteza de curgere a aerului primar și secundar insuflat în focar este mai mare) și mai crescută spre centrul camerei de ardere a cazanului, unde influența acestuia este mai semnificativă, fig. 5.6 a,b,c ;
- distribuția spațială a componentei x a vitezei v , fig. 5.8 a, prezintă valorile extreme în zona adiacentă peretelui focarului, cu curbarea acestor jeturi pe traiectoriile de curgere în direcție ascendentă, la care raza de curbură este mai mică pentru cotele mai ridicate, fiind însoțite de o scădere a vitezei de curgere către axul camerei de ardere;
- distribuția spațială a componentei y vitezei v (care este aprox. de 1,77 ori mai mare decât componenta x a vitezei v), atinge valori maxime către centrul camerei de ardere, fig. 5.8 b, traiectoriile de curgere fiind curbate superior;
- există, de asemenea, o curgere intens turbionară în zona cilindrului imaginar, la care arzătorul de praf de cărbune insuflă tangent combustibilul, curgere confirmată prin prezența vitezei tangențiale fig. 5.9 b, suplimentar peste care se suprapune și o curgere cu viteză radială, fig. 5.9 a;
- presiunea totală scade în focar pe măsură ce cota crește, tinzând către $p \rightarrow 100000$ Pa; presiunea dinamică crește spre centrul camerei de ardere a cazanului fig. 5.3 a, iar presiunea statică, este mai mare la partea inferioară și spre centrul camerei de ardere fig. 5.2 a și fig. 5.2 c; ponderea presiunii dinamice din presiunea totală, este de max. 0,28 %;
- temperatura totală a amestecului ajunge la max. $T = 1682$ K, fig. 5.5 a,b,c, în care temperatura de radiație are un aport important; valorile ridicate de temperatură se ating către centrul camerei focare;
- distribuția intensității turbulenței în focar, arată o valoare mai mare adiacentă peretelui camerei focare, acolo unde jeturile de aer primar și secundar interacționează direct, formând zone de recirculare cu vârtejuri, ca urmare a unei diferențe de viteză importantă a jeturilor insuflate, fig. 5.7 a,b,c;
- densitatea amestecului scade odată cu evoluția procesului de ardere a particulelor de cărbune, fig. 5.4 a,b,c, scăzând cu apropierea de centrul camerei focare și a creșterii cotei în focar;

În fig. 5.10; 5.11; 5.12; 5.13 este prezentată o analiză legată de o serie de mărimi fizice, care caracterizează particulele de praf de cărbune insuflate în focar în timpul deplasărilor pe traiectorii, având ca punct de plecare fantele de injectare a aerului primar, ca: rezistența în timp a particulelor, viteza, densitatea, temperatura.

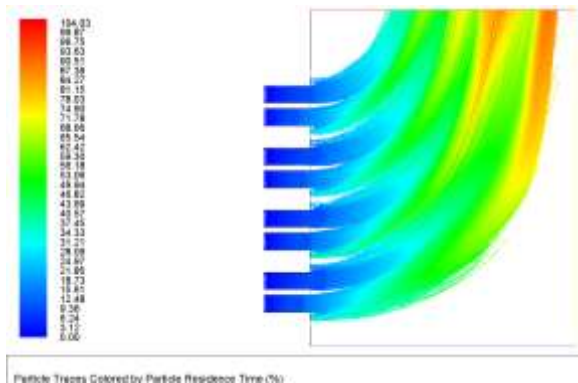


Fig.5.10 Rezistența particulei de praf în focar

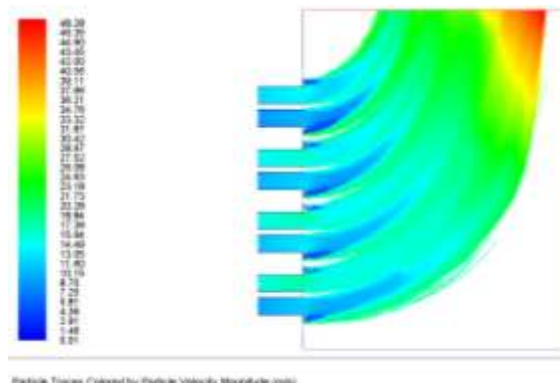


Fig.5.11 Viteza rezultantă a prticulei de praf

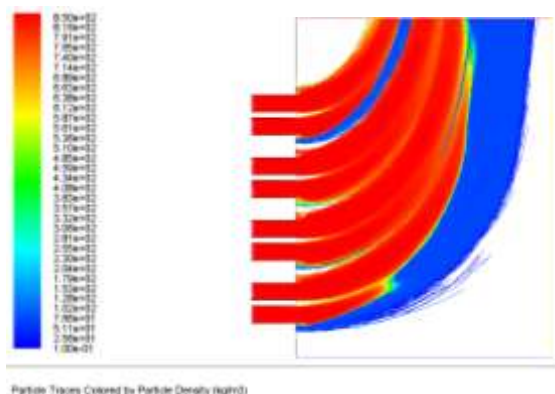


Fig.5.12 Densitatea particulei de praf în focar

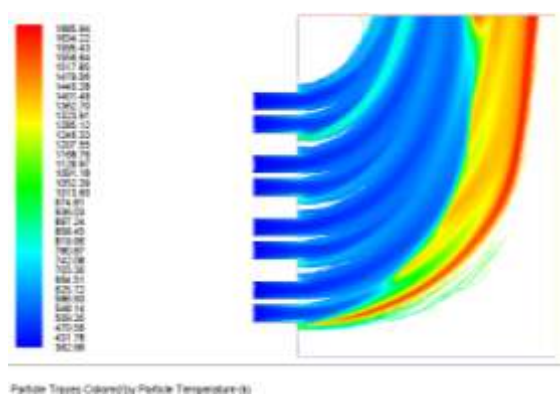


Fig.5.13 Temperatura particulei de praf în focar

Concluzii:

- din fig. 5.10, se constată că rezistența în timp a particulelor de praf de cărbune, exprimată procentual, cu valoarea cea mai mare, o au particulele, care ajung către centrul camerei de ardere a cazanului, valoarea max. a lor fiind de 99,87%;
- viteza rezultantă a particulelor crește cu creșterea cotei spre centrul focarului, ajungând la o valoare maximă de $v = 45$ m/s, fig. 5.11;
- densitatea în unitatea de volum a particulelor de praf de cărbune, scade cu finalizarea procesului de ardere, la deplasarea lor spre centrul camerei de ardere, fig. 5.12;
- temperatura particulelor crește cu apropierea de centrul camerei de ardere și cu creșterea cotei, fig. 5.13.

6. Soluții tehnice de modernizare a cazanelor de abur de mare putere cu încadrarea în cerințele de protecție a mediului

Soluțiile tehnice, posibile, de modernizare a cazanelor și de încadrare în cerințele de protecție a mediului, ce vor fi implementate până la sfârșitul anului 2012 vor fi:

- înlocuirea arzătoarelor de gaz natural și praf cărbune cu unele modernizate cu nivele reduse de emisii de NO_x ;
- îmbunătățirea arderii prin implementarea sistemelor de management și control al arderii;
- înlocuirea suprafețelor de schimb de căldură;
- înlocuirea armăturilor de reglaj și izolare;
- aducerea cazanelor la o funcționare cu excesul de aer la valorile de proiect;
- modernizarea sistemului de automatizare al blocului energetic;
- montarea de în instalații de desulfurare gaze de ardere, etc.

Concepția de bază a arzătorului de praf de cărbune cu emisii de NO_x reduse

Descrierea arzătorului

Arzătoarele de praf de cărbune, cu fante multiple etajate, existente, vor fi înlocuite cu arzătoare de tip RS (fig.6.1 și fig.6.2), într-o concepție nouă. Aceste arzătoare sunt de tip circular și sunt echipate cu inel de stabilizare a flăcării pentru a asigura inițierea aprinderii în apropierea arzătoarelor (fig.6.2), chiar la schimbarea calității combustibilului.

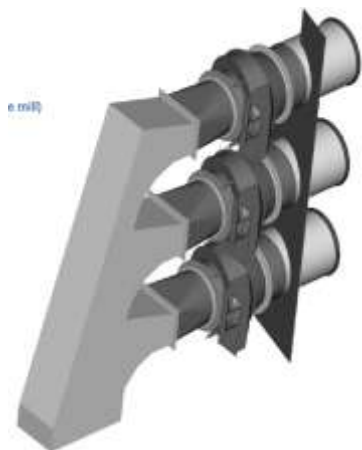


Fig. 6.1 Arhitectura arzătoarelor de praf de cărbune, tip RS

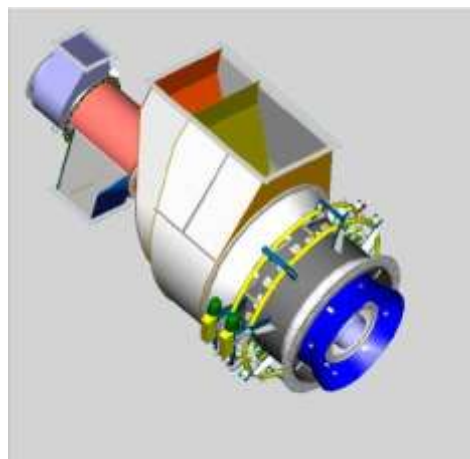


Fig. 6.2 Arzătorul de praf de cărbune cu NO_x redus, tip RS

Organizarea arderii în trepte la nivelul focarului

Variantele cele mai răspândite ale metodei de organizare a arderii în trepte la nivelul focarului sunt cele prezentate schematic în fig. 6.3 a,b,c.

În fig. 6.3 a este schițat principiul „**Over fire air**”- aer de deasupra zonei de ardere, caracterizat prin instalarea deasupra arzătoarelor de praf de cărbune, a unor duze, prin care se insuflă aerul terțiar.

Arzătoarele principale funcționează în condiții substoichiometrice și, ca urmare, producerea de NO_x este frânată, prin lipsa de oxidant în imediata vecinătate a arzătoarelor. Pentru definitivarea arderii se insuflă și restul de aer necesar arderii, așa-numitul aer de definitivare a arderii. Duzele de insuflare sunt amplasate la partea superioară a focarului, urmărindu-se ca procentul de nearse să rămână sub 5%.

În cazul modernizării unei instalații mai vechi, este avantajos să se folosească principiul „**Burners out of Service**”, schițat în figura 6.3 b.

Prin această metodă se preconizează scoaterea din funcțiune a unor arzătoare existente dinaintea rețehnologizării sau modificarea regimului lor de funcționare. Conform acestui principiu, arzătoarele principale (de la baza focarului) funcționează cu lipsă de aer, iar cele secundare, montate la nivel superior, cu exces de aer.

O modalitate deosebită de a materializa arderea în trepte este așa-numită reducere a NO_x în spațiul de ardere. Metoda este cunoscută sub denumirea de „**In furnace NO_x-reduction**”, prezentată în fig. 6.3 c.

În partea inferioară a focarului se montează arzătoare speciale, sărace în NO_x, care produc o cantitate redusă de NO_x.

Deasupra lor se injectează o cantitate bine determinată de combustibil, în scopul creării unei atmosfere reducătoare.

Ca urmare, în focar, se stabilesc trei zone de ardere:

- zona principală de ardere (ZPA), în care coeficientul excesului de aer λ are valori între 1,13 și 1,15 și din care gazele de ardere vor ieși cu un conținut de NO și nearse;
- zona (de gaze) reducătoare (ZR), în care condițiile sunt substoichiometrice, iar compușii de genul HN_i, HCN și CO (produși în procesul de ardere substoichiometrică, ca urmare a injecției de combustibil) vor contribui la reducerea (chimică) a NO existent ;

- zona de definitivare a arderii (ZDA), în care se insuflă aer prin duzele montate la o suprafață suficientă de suprafețele de încălzire din tavanul focarului, în scopul asigurării timpului necesar reacției de oxidare și implicit a reducerii nerselor din cenușa zburătoare sub 5%.

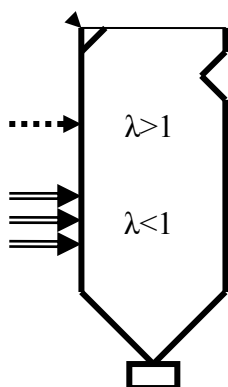


Fig. 6.3 a

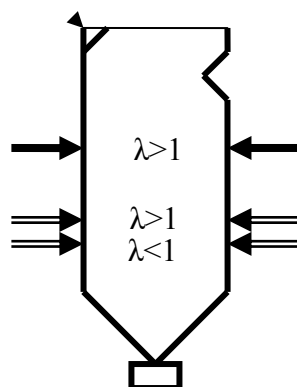


Fig. 6.3 b

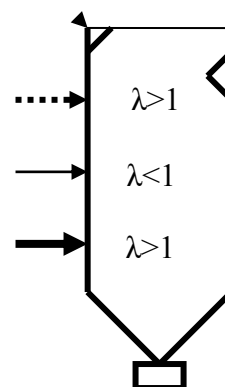
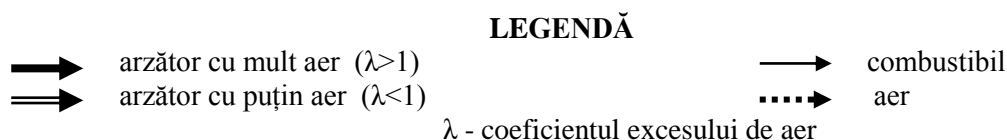


Fig. 6.3 c

Fig. 6.3. Variante ale metodei de ardere în trepte, pe înălțimea focarului



- a- principiul metodei: **Over fire air;**
- b- principiul metodei: **Burners out of service;**
- c- principiul metodei: **In furnace NO_x -reduction.**

7. Concluzii generale. Contribuții personale

În urma **modelării curgerii amestecului polifazic și a aerului secundar** prin arzătorul de praf de cărbune s-au constatat următoarele :

a. pentru amestecul polifazic (aer primar): aer atmosferic, gaze de ardere și praf de cărbune

- în curgerea prafului de cărbune pe traiectorii, particulele de praf se deplasează inițial pe direcția traseului de curgere, care opune rezistența aerodinamică cea mai redusă.
- există o distribuție neuniformă a vitezei de curgere a prafului de cărbune în secțiunea de intrare în cutia arzătorului, ca urmare a curgerii turbulente generate anterior pe traseul conductei de legătură dintre moara de cărbune și arzător. Curgerea turbulentă este amplificată în continuare prin variația geometriei canalelor de praf de cărbune și schimbarea direcției de curgere, ceea ce determină în interiorul acestora și pe secțiunile fantelor de ieșire din arzător, distribuții neuniforme ale: debitului, presiunii și densității în unitatea de volum a particulelor de cărbune;
- apare o insuflare a unor debite masice diferite de praf de cărbune prin fantele de ieșire către focarul cazanului;
- presiunea are o distribuție neuniformă, în sensul curgerii prin arzător. și scade către secțiunile fantelor de ieșire, având valoare maximă la intrarea în cutia conductelor de praf. Presiunea în fantele de ieșire diferă în funcție de poziția conductelor în arzător, scăzând valoarea în ordinea 1→2→3→4.
- prin conductele 1,...4 se insuflă debite diferite: 25,67% ; 27,35%; 25,05% și 21,93% din totalul debitului de praf de cărbune intrat în arzător;

- densitatea scade către fantele de ieșire din conductele de praf, pornind de la o densitate ridicată în cutia de intrare în arzător, tronsoanele oblice ale conductelor și în racordarea exterioară a coturilor frânte.

b. pentru aerul secundar

- pe ansamblu în conductele de aer secundar se constată o curgere turbulentă, vitezele de curgere cele mai mari sunt întâlnite în canalele terminale care preced fantele dreptunghiulare ale conductelor 7 și 9.
- presiunea aerului secundar este mai ridicată în coloana de intrare, confuzoare și coturile frânte ale conductelor: 2,...,9, a coturilor rotunjite ale conductelor: 3, 5, 7 cu valoarea $p \rightarrow 100450$ Pa. Spre secțiunile de ieșire ale fantelor, ce insuflă în focar, presiunea tinde la $p \rightarrow 100150$ Pa; Se constată de asemenea că avem o variație a câmpului presiunilor la nivelul fantelor de ieșire către focar atât în plan orizontal cât și în plan vertical.
- distribuția câmpului densităților variază în limitele $\rho = 0,643 \dots 0,6445$ kg/m³, având valori mai mari la intrare și mai scăzute către ieșire, această variație reflectă și dependența densității cu temperatura.
- câmpul de distribuție al intensității turbulenței arată existența valorilor cele mai ridicate în coturi, acolo unde au loc schimbările de direcție a curgerii și la modificările bruște de secțiune întâlnite pe traseul de curgere.
- suprafețele izopotențiale arată că vitezele cuprinse în plaja $v = 7-12$ m/s sunt cele mai extinse în zonele coloanei de aer secundar, confuzoarelor și coturilor, iar odată cu creșterea vitezei către limita superioară $v \rightarrow 30$ m/s acestea se micșorează și se retrag către tronsoanele finale ale conductelor.

În lucrarea de față s-a realizat și **modelarea arderii în camera focară** a cazanului de 510 t/h, constatându-se următoarele:

- modelul 3D al focarului cazanului este relativ simplu având o secțiune octogonală în plan orizontal, iar constructiv arzătoarele de praf de cărbune insuflă amestecul de aer secundar și primar în focar tangent la un cilindru imaginar drept.
- distribuția vitezei rezultante pe traiectoriile de curgere arată o influență perturbatoare importantă a aerului terțiar, care este mai redusă adiacent peretelui (unde viteza de curgere a aerului primar și secundar insuflat în focar este mai mare) și mai crescută spre centrul camerei de ardere a cazanului, unde influența acestuia se atenuază
- există, de asemenea, o curgere intens turbionară în zona cilindrului imaginar, la care arzătorul de praf de cărbune insuflă tangent combustibilul, curgere confirmată prin prezența vitezei tangențiale, suplimentar peste care se suprapune și o curgere radială.
- temperatura totală a amestecului ajunge la max. $T = 1682$ K, în care temperatura de radiație are un aport important. Valorile ridicate de temperatură se ating către centrul camerei focare.
- se confirmă, că există în interiorul focarului de-a lungul axei y-y, a planului de secționare, o mișcare complexă a cărei componentă include: un vârtej generat de insuflarea combustibilului de către cele 4 arzătoare, tangent unui cerc imaginar (numit cerc de foc) a cărui intensitate crește cu ordonata, pentru care există o viteză tangențială, o magnitudine a vorticității (vartejului) și o viteză radială.
- viteza rezultantă a particulelor crește cu creșterea cotei și spre centrul focarului având o valoare maximă de $v = 45$ m/s.
- densitatea în unitatea de volum a particulelor de praf de cărbune, scade cu finalizarea procesului de ardere, la deplasarea lor spre centrul camerei de ardere.
- temperatura particulelor crește cu apropierea de centrul camerei de ardere și cu creșterea cotei.

Contribuția tezei la dezvoltarea cunoștințelor în domeniu, modalitățile de valorificare a rezultatelor – potențiali beneficiari

Soluția de modelare a curgerii prin arzătoarele de praf de cărbune și a arderii în camera focară, la cazanele ce folosesc combustibil solid, poate fi aplicată cu succes la reabilitarea și modernizarea cazanelor energetice, existente, cu cheltuieli mult mai mici decât valoarea investițiilor ce ar impune înlocuirea

completă a sistemului de ardere. Prin corelarea reproiectării arzătoarelor de praf de cărbune cu folosirea unor materiale performante și implementarea unui sistem de management și control al arderii, funcționând integrat în sistemul de automatizare al blocului energetic se pot obține avantaje tehnico - economice considerabile.

Modelarea curgerilor (a amestecului polifazic, aerului secundar și terțiar), prin arzătoarele de praf de cărbune și a arderii în camera focară, are scopul să mărească randamentul cazanului și să scadă consumurile specifice de combustibil prin îmbunătățirea și optimizarea arderii, reducerea narselor din zgură și cenușă, reducerea emisiilor de NO_x. Reducerea consumurilor specifice de combustibil va diminua și nivelele emisiilor de SO₂ și CO₂ evacuate în atmosferă.

Analiza curgerilor prin arzătoarele de praf de cărbune, scoate în evidență zonele de curgere în care se produc modificări ale mărimilor fizice ce caracterizează fluidele care se deplasează prin arzător, putându-se, astfel, să se reproiecteze arzătoarele de praf de cărbune și să se elimine toate deficiențele inițiale de proiectare.

Analizele și modelările făcute în prezenta lucrare, rezultatele și concluziile obținute, vor putea fi aplicate și la alte cazane de mare putere existente în România ce folosesc combustibil solid.

Potențialii beneficiari ai soluțiilor propuse vor fi CTE Ișalnița, CET Craiova II, CTE Turceni și CTE Rovinari sau orice altă centrală termică ce folosește lignitul ca și combustibil de bază.

Impactul generat de teza de doctorat

Impactul economic al rezultatelor tezei

Prin rezultatele obținute în urma cercetării și aplicarea optimizării arderii în cazanele de mare putere din România, se poate aduce o îmbunătățire a arderii, implicit a randamentelor cazanelor, se vor putea controla mai ușor parametrii cazanului, facilitând exploatarea prin sistemul de automatizare de către operatorii blocului energetic. Acest fapt se concretizează în scăderea costurilor de producție și mărirea flexibilității producătorilor de energie, pe cărbune, de a face față cerințelor din ce în ce mai stringente ale pieței concurențiale de energie electrică și termică.

Impactul social al rezultatelor tezei

Impactul social nu este unul de neglijat, putându-se realiza toate activitățile de la proiectare, construcție, montare și punere în funcțiune cu personal din țară, fără a apela la tehnologii și soluții scumpe din afara țării. Acest aspect va permite producătorilor de energie scăderea prețurilor energiei electrice și termice, astfel încât consumatorii finali, industriali și casnici, vor beneficia de o energie mai ieftină.

Impactul rezultatelor tezei de doctorat asupra mediului

Impactul asupra mediului este unul major, se reduc emisiile de NO_x, SO₂ și CO₂ ce sunt evacuate în atmosferă. Impactul funcționării centralelor pe cărbune asupra mediului va fi diminuat simțitor.

Prin creșterea randamentelor cazanelor și optimizarea arderii, se reduce consumul de combustibil, reducerea ce are efect asupra nivelelor de emisii de noxe, cu efecte pozitive asupra protecției stratului de ozon, a mediului înconjurător și al populației.

Se vor respecta, de asemenea, principiile dezvoltării durabile a sectorului energetic românesc, cu încadrarea în trendurile de evoluție din plan mondial și european.

Bibliografie selectivă

1. Ungureanu, C., Pănoiu, Zubcu, V., Ionel, I., Combustibili, instalații de ardere, cazane, Editura Politehnică N., Timișoara, 1998
2. Bică, I., M., Reducerea sau înlocuirea hidrocarburilor la pornire sau pentru susținerea flăcării la arderea combustibililor solizi inferiori în cazanele de abur, Teză de doctorat, Universitatea Politehnică, București, 1995.

3. Pănoiu, N., Cazacu, C., Mihăescu, L., Totolo, Cr., Epure, A., Instalații de ardere a combustibililor solizi, Editura Tehnică, București, 1995.
4. Ionel, I., Ungureanu, C., Termoenergetica și mediul, Editura Tehnică, București, 1996
5. The Babcock & Wilcox Company, Steam its generation and use, Editors: Steven, C., Stulyz and John, B., Kitto, The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A., 1992
6. Rozendaal., H., N., Vliet, Operational experience with a low - NO_x pulverized coal fired boiler firing imported coals at Maasvlakte Power, Arnhem, 1996
7. Provence Power Station Unit 4, 250 MW, Circulating Fluidized Bed – Gardane – Franța - prospect tehnic
8. Häfele, W., Energia - Problemă globală, Editura Tehnică, Buc., 1997
9. Flavin, C., Lenssen, N., Valul energetic, Ghid pentru iminenta revoluție energetică, Editura Tehnică, București , 1996
10. Oprea - Stănescu, Paul Dan; Oprea, C. Simularea numerică a proceselor de ardere cu FLUENT, Editura Politehnică, Timișoara, 2001
11. Văcaru, E., Impactul produșilor sulfului asupra mediului, Conferința Națională de Termotehnică, Ediția a-IX-a, Craiova, 27÷29 mai 1999
12. Lăzăroiu, Gh., Moțoiu, C., Emisia oxizilor de azot în focarele cazanelor, Proceeding Tempus-Envirom, Universitatea de vară, Protecția mediului în România, pag. 325÷334, București, 6÷10 iunie, 1994.
13. Ungureanu, C., Văcaru, E., Mecanismele de formare a oxizilor de azot în procesul de ardere al combustibililor, Conferința Națională de Termotehnică, Ediția a-IX-a, Craiova, 27÷29 mai 1999.
14. SC ISPE SA, SPF. Realizarea unui grup energetic bazat pe tehnologii moderne la SC Complexul Energetic Craiova SA, București, 2010.
15. L., L., Baxter and P., J., Smith., Turbulent Dispersion of Particles: The STP Model. Energy & Fuels, 7:852 – 859, 1993
16. T., Jongen., Simulation and Modeling of Turbulent Incompressible Flows. PhD thesis, EPF Lausanne, Lausanne, Switzerland, 1992
17. S., E., Kim, D., Choudhury, and B., Patel. Computations of Complex Turbulent Flows Using the Commercial Code FLUENT. In Proceedings of the ICASE/LaRC/AFOSR Symposium on Modeling Complex Turbulent Flows, Hampton, Virginia, 1997.
18. V., R., Kuznetsov and V. A., Sabelnikov. Turbulence and Combustion, 1990
19. M., Manninen, V., Taivassalo, and S., Kallio. On the mixture model for multiphase flow. VTT Publications 288, Technical Research Centre of Finland, 1996
20. L., P., Wang. On the Dispersion of Heavy Particles by Turbulent Motion. PhD thesis, Washington State University, 1990

21. Nicolae, Dumitru., Al., Margine, Bazele modelării în ingineria mecanică, Ed. Universitaria, Craiova 2002, ISBN 973-8043-68-7
22. Resiga, R., Munteanu, S., Bernard, S., Balint, I., Metode numerice de calcul pentru simularea curgerii fluidelor, Orizonturi Universitare, Timișoara, 2003;
23. Țălu, M., Țălu, St., Calculul căderilor de presiune în conducte hidraulice. Regim de curgere stabilizat și nestabilizat. Teorie, aplicații și programe computaționale. Editura Universitaria Craiova, 2006;
24. Țălu, M., Mecanica fluidelor Teorie și aplicații rezolvate computațional cu ajutorul metodei elementului finit sau prin simulare numerică. Editura Universitaria Craiova, 2008.
25. Anheden, M., A. Andersson, C. Bernston, S. Eriksson, J. Yan, S. Liljemark and C. Wall, – CO₂ quality requirement for the system with CO₂ capture, transport and storage. Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Technologiess (GHGT-7) ,2005
26. R., I., Issa. Solution of Implicitly Discretized Fluid Flow Equations by Operator Splitting. J. Comput. Phys., 62:40–65, 1986.
27. S., A., Morsi and A. J. Alexander. An Investigation of Particle Trajectories în Two-Phase Flow Systems. J. Fluid Mech., 55(2):193–208, September 26 1972.;
28. A. Albeanu, V. Tudor, ș.a., - Soluții de desulfurare gaze de ardere, aplicabilitate la blocurile de 315 MW de la S.E. Ișalnița și la blocurile de 150 MW de la S.E. Craiova II , Forumul Regional al Energiei - FOREN – Neptun, 11-15 iunie 2006;
29. V., Tudor, A., Albeanu, – Influența implementării instalațiilor de desulfurare gaze de ardere asupra performanțelor centralelor pe lignit , CNR-CME București, 14 martie 2007.
30. Tudor, A., Albeanu, Dezvoltarea durabilă, trenduri globale, provocări și oportunități pentru energetica românească, Energetica nr. 3, martie 2006.
31. V., Tudor, Concepții moderne în construcția cazanelor energetice de mare putere cu funcționare pe cărbune, Analele Facultății de Mecanică, Universitatea din Craiova. 2010
32. Tudor, Viorel., Ilie, Ionel., Calitatea energiei electrice în contextul piețelor liberalizate, Lucrările CNEE 2009, Vol. II , Sect. IV, Sinaia 21-23 oct. 2009.
33. Viorel, Tudor., Analiza curgerii aerului primar în interiorul unui arzător de praf de cărbune, cu ajutorul M.E.F., Conferința internațională de inginerie mecanică, Craiova, aprilie 2010.
34. Viorel, Tudor., Captarea, transportul și stocarea geologica a dioxidului de carbon, Conferința internațională de inginerie mecanică, Craiova, aprilie 2010.
35. Viorel, Tudor., Condițiile termice de aprindere a particulei de combustibil solid inferior, Seminarul Catedrei de Termotehnică, Facultatea de Mecanică, Craiova 2009.
36. Viorel, Tudor., Distribuția de temperatură în focarele cazanelor de mare putere. Seminarul Catedrei de Termotehnică, Facultatea de Mecanică, Craiova 2009.