

Modelul fizic global de ardere a masivului și a stratului de combustibil, la arderea cu gazeificare

Physical model for the combustible element and for the combustible layer ignition and burning process, in burning with gasification systems.

Nicolae Antonescu, Niculae Antonescu, Dan-Paul Stănescu

UTC București – Facultatea de Inginerie a Instalațiilor
București, sector 2, blv. Pache Protopopescu 66, Romania
E-mail: nicuant@yahoo.com

Rezumat. *Arderea inversă, denumită și ardere cu gazeificare, este tot mai des folosită la cazanele mici cu combustibil solid lemn. În lucrare se propun modele fizice originale atât pentru fenomenul de aprindere cât și pentru ardere, care să explice parametrii funcționali constatați în experimentări de laborator și măsurări pe instalații in-situ. Rezultatele modelării sunt concordante cu experiența practică și își găsesc aplicabilitatea în proiectarea, automatizarea și exploatarea cazanelor de acest fel.*

Cuvinte cheie: cazane, gazeificare, ardere inversă, combustibil lemnos, ardere, aprindere

Abstract. *Reverse solid fuel combustion, also called burning with gasification, has been increasingly used in small boilers with solid fuel wood. The paper proposes some original physical models for the phenomenon of ignition and combustion, explaining the functional parameters observed in laboratory experiments and determined by in-situ measurement. The modeling results are consistent with practical experience and find applicability in the design, automation and operation of such boilers.*

Key words: boilers, gasification, wood fuel, burning, ignition.

1. Cadru general

În cazul arderii cu gazeificare, denumită curent ardere inversă, datorită propagării frontului de flacără în contracurent cu aerul de ardere, se pot realiza rezerve semnificative de combustibil printr-o grosime foarte mare de strat, deoarece fenomenul de aprindere necontrolată a stratului, ca la arderea directă, nu mai apare. Astfel se realizează autonomii de funcționare cu o durată mare, de până la 12 ore de funcționare normală (la 50 % din sarcina nominală).

În contact cu o zonă stabilă de ardere, lemnele de deasupra grătarului se aprind și suferă un proces de gazeificare. În prezența unei cantități suficiente de aer pentru ardere completă, care antrenează sub grătar produsele de gazeificare, acestea ard într-o

cameră de ardere. La arderea inversă, stratul de cocs este numai pe periferia buncărilor de lemn, la porțiunea inferioară a stratului, și nu se dezvoltă în susul stratului deoarece curentul de aer de ardere vine de sus în jos menținând rece combustibilul. Acest fenomen de aprindere, prin radiație-conducție și convecții locale restrânse, s-a pus în evidență în programele experimentărilor efectuate în cadrul Laboratorului de Termotehnica al Facultății de Instalații.

Pentru definirea unui model fizic de ardere este necesară o analiză a procesului de ardere cu gazeificare, a combinațiilor de sisteme de aprindere, a vitezelor de desfășurare ale proceselor și, pentru partea de aplicații tehnice, a vitezei gravimetrice de ardere a combustibilului în strat. Rezultatul acestor cercetări disociative și analitice este un model fizic global de ardere a unui masiv în strat la arderea inversă. Modelul are ca scop să definească ponderea reală a diferitelor procese în procesul global de ardere, insistând asupra aspectului fizic al fenomenului în ansamblu.

Parafrazând o celebră gândire a unui filozof englez « *the proper study of mankind, is man* » și în cazul arderii imaginea cea mai bună de studiu a stratului este studiul unei bucăți singulare de lemn, de la începutul evoluției sale termice până la arderea completă.

O primă problemă este cea a îndeplinirii condițiilor de aprindere, deci a stabilității procesului. Se poate constata, pe orice masiv de lemn pe care există un stat de cocs activ pe o latură, că procesul de ardere poate avansa numai în cazul în care există o anumită viteză a aerului (sau a unui mediu oxidant) care să creeze o difuzie turbulentă forțată astfel ca CO emis de stratul de cocs să fie îndepărtat și un mediu oxigenat să intre în contact cu cocsul.

Necesitatea acestui schimb de masă este evidentă din punct de vedere energetic deoarece stabilitatea procesului de aprindere este dată de obligativitatea ca disiparea de căldură prin radiația suprafeței spre mediul înconjurător și conducția spre masa rece interioară a masivului să fie compensate de producerea de căldură a suprafeței active. Echilibrul termic este o stare limită de stagnare.

Un exces termic este condiție de avansare a procesului iar un aport termic mai mic decât căldura disipată reprezintă situația de stingere a procesului. De altfel această condiție termică este generală în toată teoria aprinderii, la orice combustibil, și este suficient să amintim teoria SEMENOFF a reacțiilor de ardere în lanț, care stă la baza explicării cineticii proceselor de ardere.

În cazul masivului de lemn, există două limite de stingere : prima, la viteze mici ale mediului, care se explică printr-o insuficiență de mediu oxidativ, a doua, la viteze mari ale mediului, care se explică prin faptul că disiparea de căldură convectivă la suprafața stratului de cocs este mai mare decât aportul de căldură al reacției stratului de cocs. Acest al doilea prag de stingere, la viteze mari ale mediului oxidant, este desigur și funcție de temperatura mediului oxidant. Limita va fi deplasată spre viteze mai mari când curentul de mediu oxidant va avea o temperatură mai înaltă. Când mediul ajunge la temperatura de aprindere, limita superioară de instabilitate a aprinderii dispare.

O diagramă sugestivă a procesului se poate trasa în coordonatele $w-Q$, fluxuri de căldură funcție de viteza mediului oxidant. În diagrama fig.1 se prezintă o astfel de diagramă calitativă.

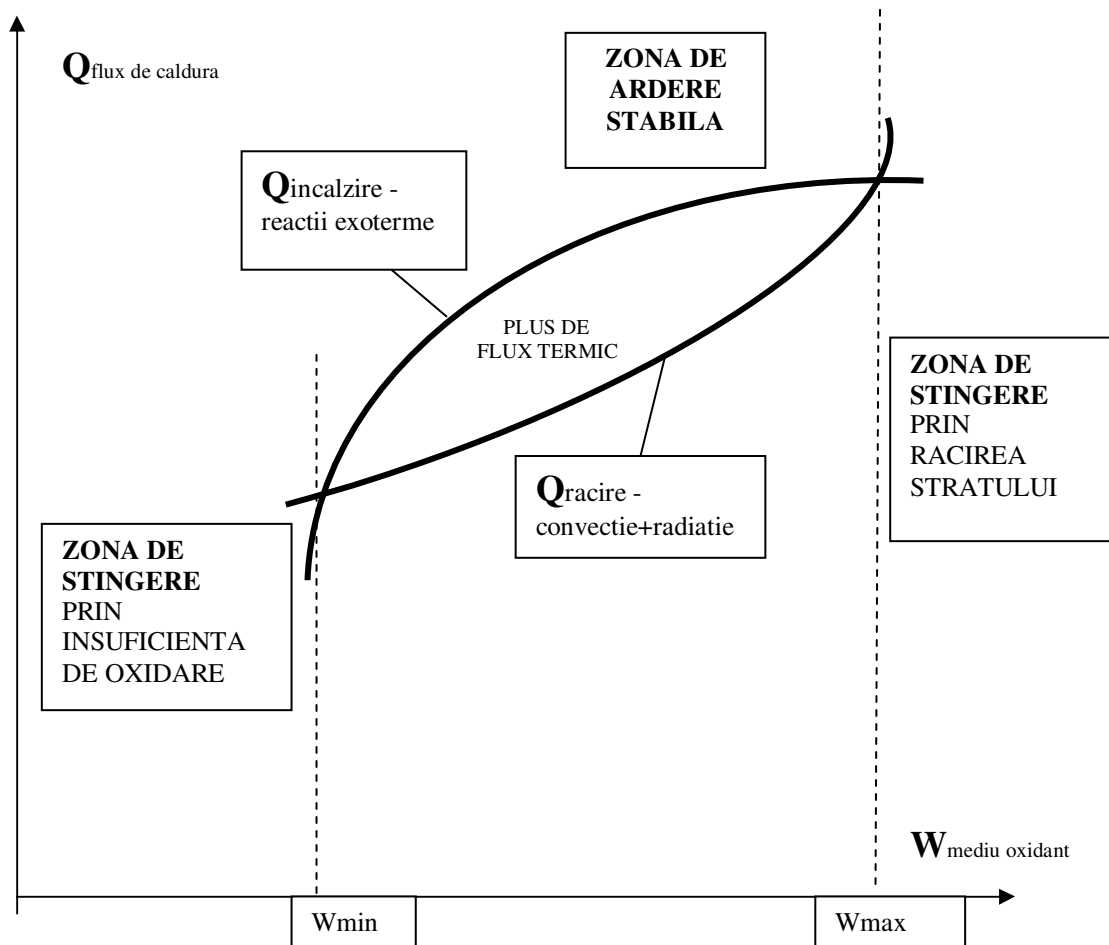


Fig.1. Diagrama calitativă de stabilitate a aprinderii

2. Reglarea procesului de ardere într-un focar cu gazeificare

Modelul fizic global oferă o explicație fenomenologică a procesului de reglaj al arderii într-un cazan cu ardere-gazeificare. Tehnic, operația de reglare a sarcinii cazanului se face foarte simplu : mărirea debitului de aer insuflat sau micșorarea lui duce la creșterea, respectiv scăderea, sarcinii termice a cazanului.

Aici este de amintit diferența fundamentală între sistemul de ardere directă și sistemul de ardere inversată :

- La arderea directă, o mărire a debitului de aer insuflat sub grătar duce la o mărire a intensității de ardere a stratului, deoarece întregul strat este activ, iar la o scădere a debitului de aer, stratul rămânând în continuare activ în întregime, procesul de reducere va fi mai activ din lipsa de oxigen și va crește puternic producerea de CO din reacția de reducere, astfel că micșorarea de sarcină a cazanului se va datora în mare parte și creșterii pierderilor prin ardere incompletă de natură chimică.

- La arderea inversă, cu gazeificare, suprafața activă de reacție este inițial numai pe partea de jos a masivului de lemn, unde, un strat relativ subțire de cocs activ furnizează energia de gazeificare (volatilizare) și energia de aprindere a altor suprafețe. În fig. 1, plusul de flux termic din diagramă reprezintă tocmai energia de aprindere a altor suprafețe. Se constată că, la o anumită viteză de aer, există o anumită energie de activare și deci o anumită intensitate de reacție la suprafață va fi activată. Suprafețele activate reprezintă tocmai echivalentul de debit caloric al cazanului. La o creștere a vitezei aerului, plusul de flux termic din diagramă crește și deci crește debitul termic al cazanului. În diagrama fig.2 se prezintă, prin verticalele punctate, creșterea disponibilului de flux termic de aprindere.

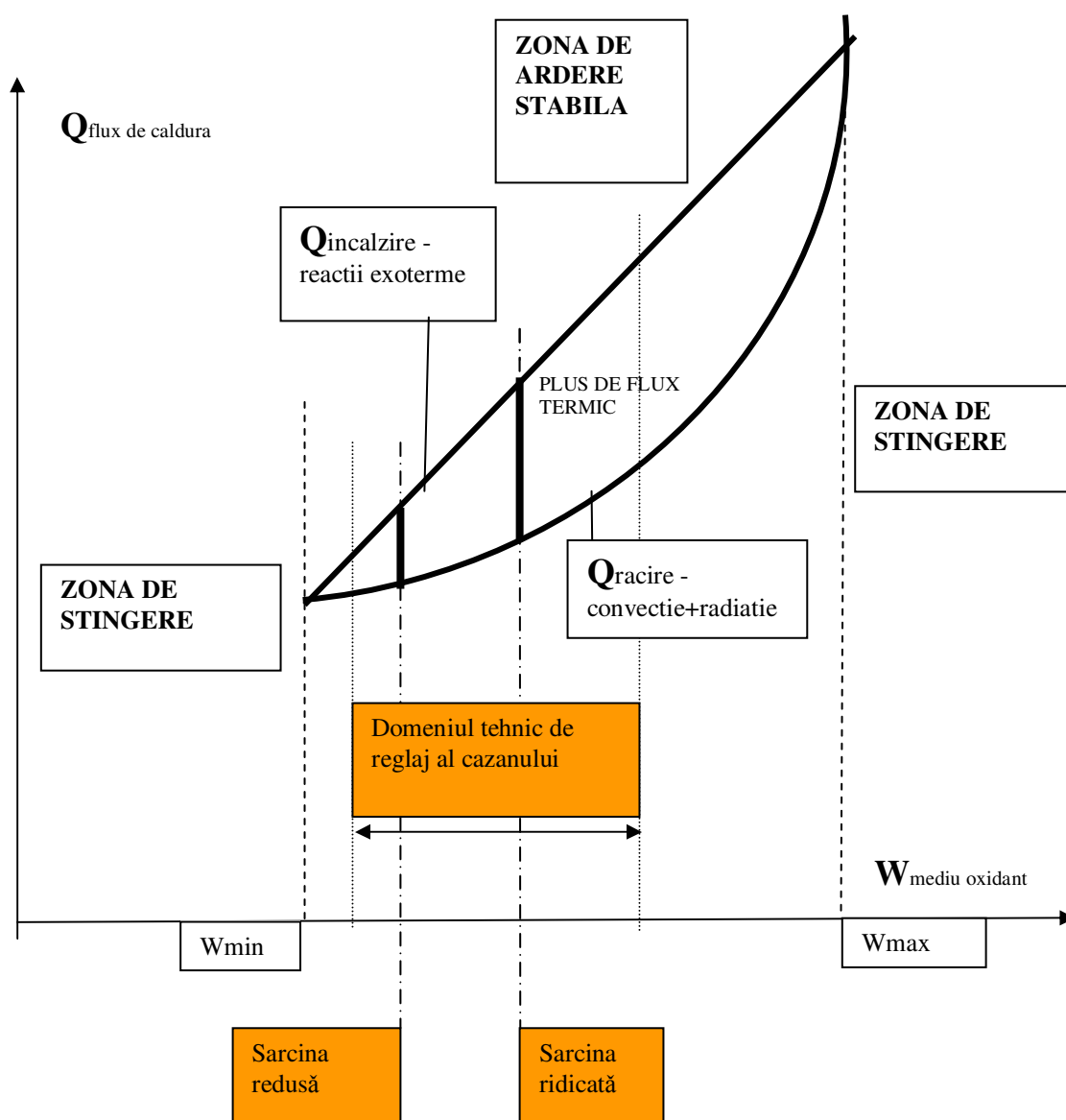


Fig.2. Modelul de reglaj al sarcinii cazanului la arderea cu gazeificare

În cadrul domeniului tehnic de reglaj al cazanului, delimitat de un debit minim de aer și de un debit maxim, orice creștere a debitului de aer duce la o creștere a vitezei mediului oxidant și în consecință la creșterea disponibilului de flux de masă în reacție la suprafața de cocs activ. Această creștere se regăsește într-o creștere a fluxului de căldură generat pentru menținerea continuității procesului de ardere.

O primă linie de rapel, la viteze mici ale aerului, dar peste viteza minimă de stingere, delimitează pentru cele două curbe de flux termic, cea de reacții exoterme și cea de pierderi prin conducție și radiație, un flux termic disponibil pentru întreținerea procesului de aprindere cu un anumit debit de combustibil.

O a doua linie de rapel, la viteze mai mari ale aerului, delimitează între cele două curbe de flux termic un flux termic disponibil mai mare decât în situația anterioară pentru întreținerea procesului de aprindere și deci un debit de combustibil mai mare va fi antrenat în procesul de ardere.

3. Determinarea vitezei masice de ardere a lemnului în strat

S-a evidențiat în cercetările experimentale că delimitare suprafețelor reci de cele calde, în regim de reacție, este foarte clară, fără zone de tranziție. Rezultă că în fiecare moment se poate urmări suprafața de reacție. Pe un interval de timp se poate determina progresiunea arderii în stratul de lemne. Masa de lemne care a intrat în reacție, raportată la intervalul de timp și la secțiunea transversală a camerei de ardere, determină viteza masică de ardere a stratului, exprimată în $\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

În tabelul 1 se prezintă datele pentru câteva regimuri care au dus la determinarea vitezei masice de ardere. Vitezele masice de ardere, respectiv de cocsificare, a masei lemnoase au fost determinate cu valorile 220 – 350 $\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Aceste valori se încadrează bine în plaja de valori de indici obținuți în determinările experimentale pe cazane industriale.

Tabel 1

Determinarea vitezei masice de ardere la arderea cu gazeificare

Determinarea vitezei masice de ardere				
camera de cocsificare - latime	m	0.1	0.1	0.1
- adancime	m	0.1	0.1	0.1
- suprafata	mp	0.01	0.01	0.01
timpul 1	s	620	930	1420
timpul 2	s	820	1130	1620
interval de timp	s	200	200	200
pozitia liniei de demarcatie a arderii - timp1	m	0.275	0.198	0.205
pozitia liniei de demarcatie a arderii - timp2	m	0.292	0.226	0.232
diferenta pe verticala	m	0.017	0.028	0.027
volum de ardere in diferenta de timp	mc	0.00017	0.00028	0.00027
densitate lemn	kg/mc	850	850	850
grad de umplere a sectiunii camerei		0.85	0.85	0.85
masa de lemn activata	kg	0.122	0.202	0.195
debit de masa de lemn activata	kg/s	0.000614	0.001012	0.000975
viteza masica de ardere a lemnului in sectiune	kg/(h·m²)	221	364	351

În fig.3 se prezintă schematic urmărirea vizuală a stratului în reacție.

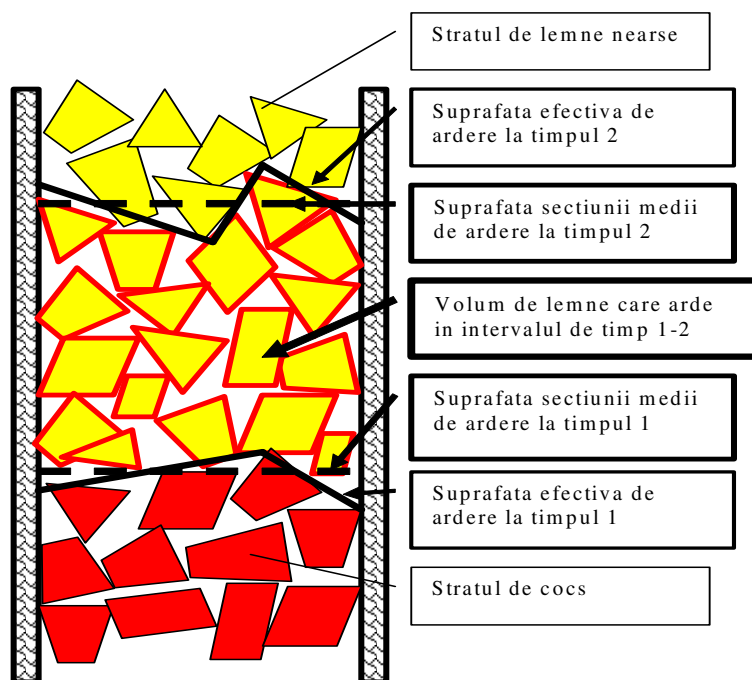


Fig.3 Urmărirea vizuală a stratului în reacție

După cum se poate urmări în tabelul 1, limita superioară a domeniului de reglaj, stabilită experimental, corespunde unui debit specific de combustibil de 300-360 $\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Dincolo de această încărcare termică, conform diagramei din fig.3, nu se mai obține o creștere a disponibilului de flux termic de aprindere deoarece variația grosimii de strat limită în transferul de masă la suprafața activă chimic a elementului scade cu o rată mult mai mică decât creșterea efectului de răcire și a debitului de gaze. Astfel, o insuflare suplimentară de aer duce numai la o mărire a excesului de aer în camera de post-ardere a gazelor de reacție.

4. Influența vitezei aerului în procesul de ardere difuzivă

Pentru a disocia fenomenul de aprindere radiativ-conductivă de fenomenul de aprindere convectivă, s-a utilizat o instalație experimentală pentru determinarea vitezei de ardere a lemnului care realizează o suprafață de lemn orientată de jos în sus (pentru ca gazele de ardere să nu scalde partea de lemn nearsă) și încălzită pe suprafața de reacție (de ardere) cu un curent de aer tangențial, cu o viteză reglabilă. Schema instalației experimentale este prezentată în fig. 4.

Se remarcă în primul rând posibilitatea de a ridica progresiv lemnul pe măsură ce se consumă prin ardere, astfel ca suprafața superioară să fie permanent la nivelul inferior al canalului de curgere a aerului de ardere. În al doilea rând este de remarcat posibilitatea varierii în limite largi a vitezei de circulație a aerului deasupra suprafeței de ardere, prin aceasta putându-se evidenția influența difuziei turbulente asupra vitezei de ardere superficială.

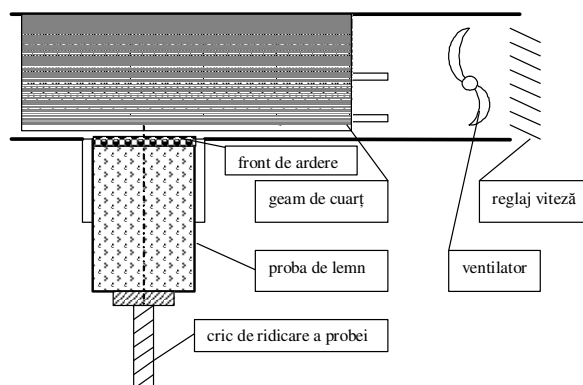


Fig.4 Instalația experimentală de determinare a vitezei de ardere a suprafeței lemnului

Ecuția curbei de dependență dintre încărcarea gravimetrică de ardere G și viteza aerului la suprafața lemnului w este:

$$G = 20,3 \cdot (w - 1,4)^{0,786} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

Cu aceste rezultate teoria aprinderii prin transfer de căldură conductiv-radiant în stratul de lemne în ardere de tip cocsificare-gazeificare este verificată.

Problema care a apărut însă cu ocazia experimentării mai multor instalații tehnice de ardere și a unor focare pilot a fost că **viteza masică reală în instalații tehnice este cu mult mai mare (de ordinul 300-360 kg/m²/h) față de 30-60 kg/m²/h din teoria aprinderii conductiv radiante**, deci există, pe lângă aprinderea conductiv radiantă și o importantă aprindere convectivă.

5. Teoria aprinderii convective a stratului de lemn în regim de cocsificare-gazeificare

Cu ajutorul instalației experimentale cu vizualizare a procesului de ardere s-a efectuat urmărirea experimentală a aprinderii stratului de lemn în regim de cocsificare-ardere.

S-a constatat astfel că aprinderea lemnului nu se face numai prin conducție-radiație, din aproape-în-aproape, pe înălțimea stratului decât în mică măsură, ceea ce explică de ce cifrele de viteză gravimetrică de ardere în regim conductiv-radiant sunt mult mai mici decât cele tehnice reale. Aprinderea principală se face printr-un fenomen de convecția a unor jeturi de gaze fierbinți. Secvențial, procesul de aprindere convectiv are mai multe faze, așa cum se ilustrează și în fig.5:

- pe un pat cvasiuniform de cocs de temperatură înaltă într-o secțiune apare un canal de rezistență aerodinamică mai mică care permite crearea unui jet ascensional de gaze de ardere fierbinți ;
- jetul de gaze fierbinți, după un parcurs pe verticală în sus, este abătut în jos de curentul principal de aer care vine de sus în jos ;
- curentul de gaze fierbinți în drumul lor, descendent acum, creiază condiții de aprindere a masivelor de lemne neaprins pe care le întâlnesc în mișcare descendentă ;
- combustia masivelor aprinse de sus în jos se desfășoară conform modelului clasic de ardere directă a lemnului.

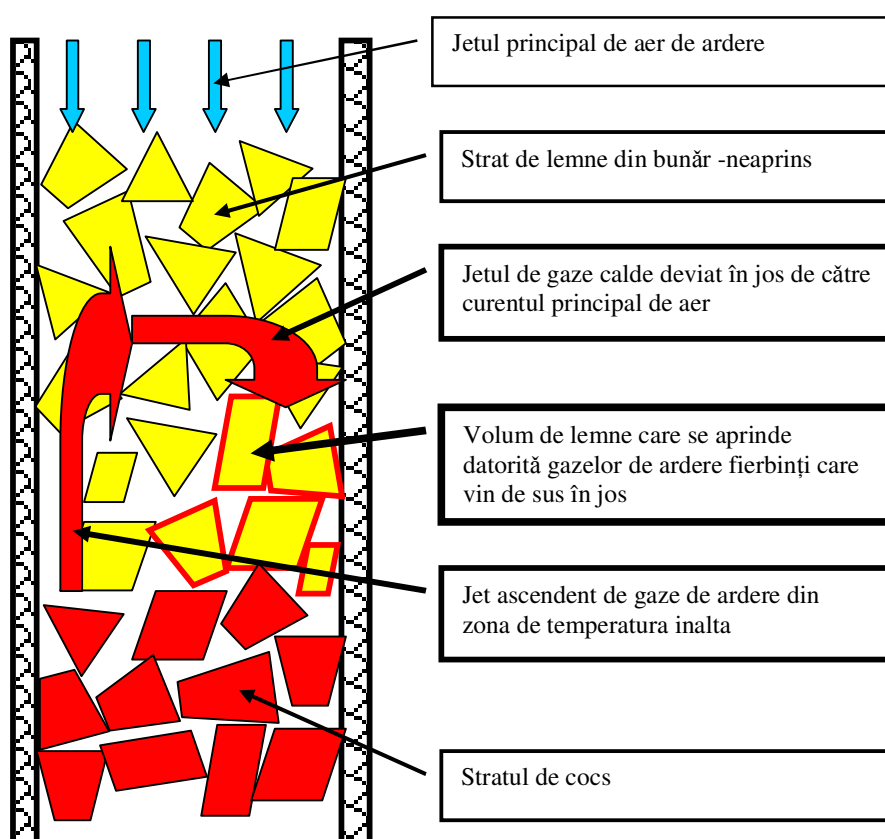


Fig.5 Procesul de aprindere convectiv în stratul cu ardere inversă

Prin analogie cu aprinderea volumului de amestec combustibil gas-aer, acest fenomen de aprindere a unor « insule » de material neaprins, depărtate de frontul principal de flacără, apare ca un model SCALKIN de aprindere.

Pe instalația pilot cu vizualizarea procesului de ardere s-a obținut o ilustrare experimentală a procesului de aprindere convectivă. Se remarcă în fig.6 tendința de ardere mai rapidă în stânga secțiunii de ardere: un curent de gaze fierbinți *care circulă în sus*, străbate stratul de lemne neaprins. Străpungerea este posibilă datorită efectului

ascensional puternic al gazelor de temperatură înaltă care dislocă curentul vertical de sus în jos de aer cu presiune dinamică mai mică.

Curentul de gaze ascensional, după parcurs în care își pierde presiunea dinamică, este deviat în jos de curentul principal descendent de aer. În drumul descendent, acest curent de gaze fierbinți aprinde *convectiv* masivele de lemn pe care nearse pe care le întâlnește pe traseu.

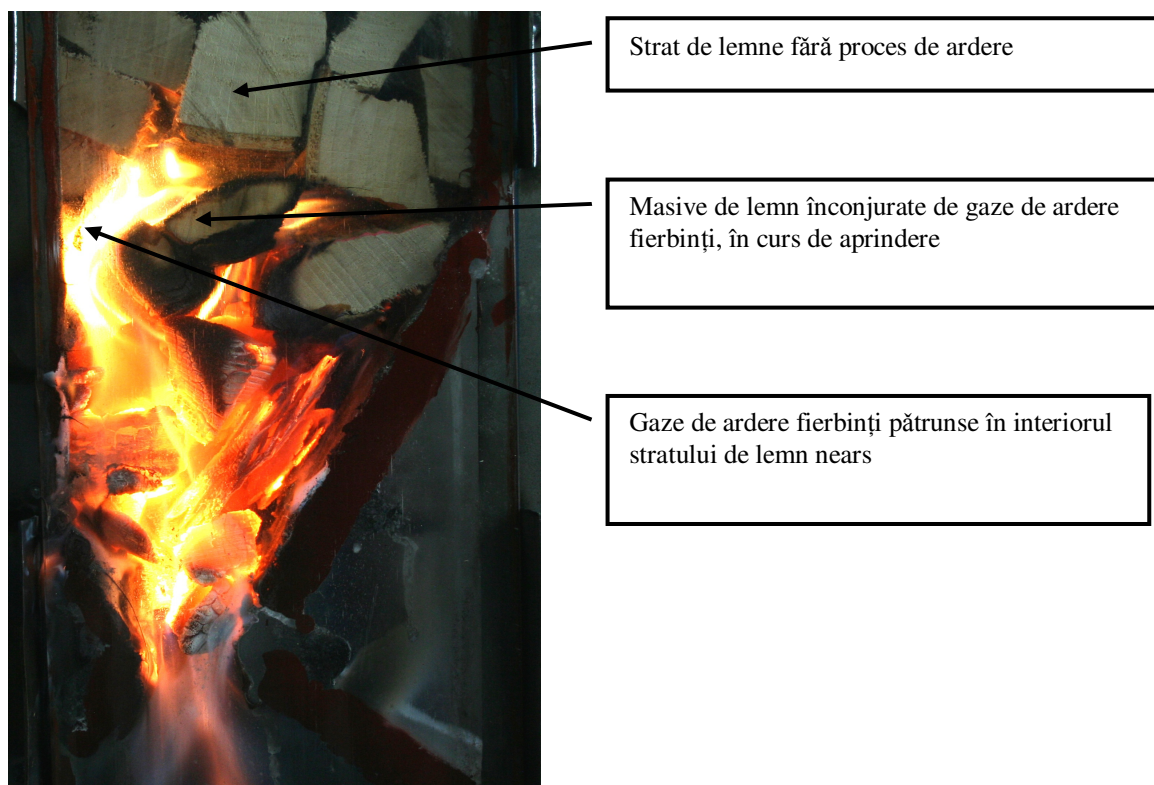


Fig.6 Apariția circulației verticale în sus a gazelor de ardere

6. Analiza evoluției masivului singular în procesul de ardere

Cu analiza separată a fenomenelor de aprindere și de ardere a stratului, prezentate anterior, se poate elabora un model de evoluție a unui masiv singular, oricare masiv din stratul de ardere. Procesul se desfășoară în câteva faze distincte, cu particularități specifice de pondere a fluxurilor de căldură :

- A. faza de încălzire fără aprindere ;
- B. faza de încălzire cu aprindere dar fără exces de flux de căldură ;
- C. faza de ardere cu exces de căldură disipat în aval cu volatilele ;
- D. faza de ardere cu exces de căldură, disipat și în amonte cu radiație și cu volatilele ;

- E. faza de ardere cu exces de căldură disipat numai în amonte cu radiație și cu volatilele, straturile inferioare având temperatura de regim de ardere ;
- F. faza finală de ardere cu disipare de căldură de aprindere, prin volatile în stare de ardere, spre straturile amonte.

A. FAZA DE INCALZIRE FARA APRINDERE

Faza este caracterizată prin primirea unui flux de căldură de către suprafața inferioară a masivului de lemn. Deoarece numai existența unui strat de cocs poate activa un proces exotermic, iar prezența statului de cocs este vizibilă experimental prin culoarea neagră (carbonizată) a suprafeței, se poate determina vizual, destul de precis momentul trecării la faza de aprindere.

În tot timpul fazei de preaprindere nu trebuie pierdut din vedere că ridicarea de temperatură și procesele din lemn se petrec pe o grosime foarte mică a feței inferioare a masivului, de ordinul 3...5 mm, așa cum s-a arătat în modelul fizic de ardere a suprafeței unui masiv, datorită în special conductivității termice foarte scăzute a lemnului. Se poate urmări astfel, în fig.7, cum atunci când suprafața lemnului este cocs în faza de ardere, la o adâncime de 3 mm începe de abea eliminarea apei din structură.



Fig.7 Desvoltarea la suprafața lemnului a stratului de cocs

În cadrul lucrărilor experimentale cu vizualizare a procesului, făcută cu înregistrarea fotografică la intervale de 10 sec. a procesului de ardere, s-a ales o bucată de lemn, din interiorul statului, care a fost urmărită pe toată desfășurarea procesului de ardere. Această bucată, cu dimensiuni medii cu a celorlate din strat, a fost marcată printr-o crăpătură pe secțiune, care o face ușor de recunoscut față de celelalte masive.

În fig.8 se prezintă masivul de lemn în strat în faza de preaprindere. Numerele atașate fotografiilor reprezintă cronometrul în secunde.

Se remarcă faptul că inițial (s 130) începe să apară un flux de radiație din straturile inferioare. În următoarele două etape (s 150 și s 160) radiația devine mai intensă datorită evoluției arderii în straturile inferioare. În s.170 atât radiația cât și convecția unor volatili în fază de ardere aduc suprafața inferioară a masivului studiat la stadiul de aprindere.

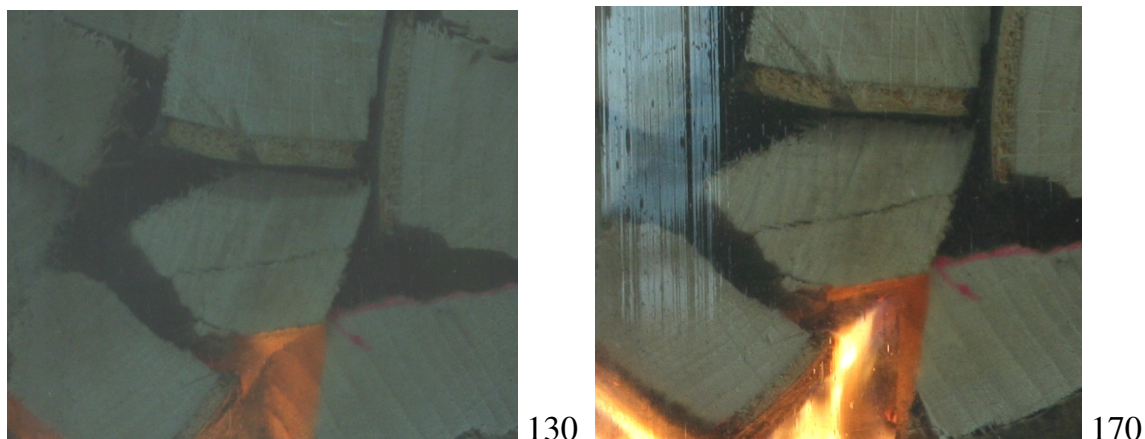


Fig.8. Masivul de lemn în strat în faza de preaprindere

B. FAZA DE INCALZIRE CU APRINDERE DAR FARA EXCES DE FLUX DE CALDURA

Este faza în care sursa de căldură pentru masiv este propria suprafață cocsată a peretelui inferior. În această fază căldura de reacție a cocsului este folosită numai pentru uscarea și degajarea volatiliilor din masiv, dar nu are loc nici-un transfer de căldură de aprindere spre straturile superioare.

În fig 9 se prezintă masivul de lemn în strat în faza de aprindere fără exces de flux de căldură. Numerele atașate fotografiilor reprezintă cronometrul în secunde.

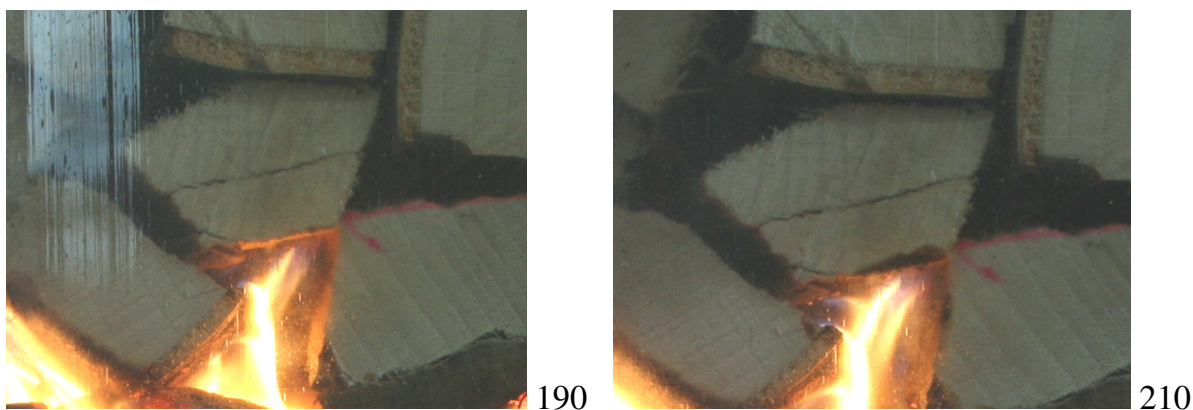


Fig.9 Masivul de lemn în strat în faza de aprindere fără exces de flux de căldură

În s.190 se observă formarea pe suprafața inferioară a unui strat de cocs, manifestat printr-o colorare neagră a suprafeței. În continuare în s.210 și s.230 stratul de cocs se îngroașă, consumând din materialul masivului. Volatilele, dirijate spre aval, s-au aprins și contribuie la înaintarea zonei de cocsare. În s.250 degajarea de volatile este intensă și consumarea masei lemnoase este cu viteză mărită. Condițiile termice și materiale sunt create pentru ca o mare parte din volatile să migreze spre aval participând la constituirea jetului de volatile al stratului (în camera de post-ardere a produselor de reacție) .

C. FAZA DE ARDERE CU EXCES DE CĂLDURĂ DISIPAT ÎN AVAL CU VOLATILELE

În această fază emisia de volatile este intensă, consumarea materialului lemnos de pe fața inferioară se face cu viteză ridicată. Viteza de degajare a volatilelor este încă în limitele în care curentul principal de aer din amonte antrenează toate gazele spre aval.

În fig.10 se prezintă masivul de lemn în strat în faza de ardere cu exces de căldură disipat în aval cu volatilele. Numerele atașate fotografiilor reprezintă cronometrul în secunde.

Se remarcă pe parcursul evoluțiilor s.260 ... s.310 consumarea, prin cocsificare și ulterior prin reacțiile de ardere ale cocsului, a suprafeței inferioare a masivului. În tot acest timp partea superioară a masivului nu suferă nici-o schimbare deoarece nu primește căldură de aprindere prin radiație sau convecție, numai un flux neglijabil de căldură prin conducție.



290



310

Fig.10 Masivul de lemn în strat în faza de ardere cu exces de căldură disipat în aval

În s.310 o mare parte din volatilele sunt antrenate în aval sub forma unui jet aprins prin efectul de stabilizare din avalul unui obstacol nearodinamic, constituit de suprafața inferioară a masivului. În același cadru se remarcă faptul că, datorită producției mari de volatile (trebuie reamintit că rezultă cca. 3 m^3_{N} de volatile pentru fiecare kg de masă lemnoasă), o parte din volatilele încep să aibă tendința de a expanda spre amonte pe lângă fața laterală stângă a masivului.

D. FAZA DE ARDERE CU EXCES DE CĂLDURĂ DISIPAT ȘI ÎN AMONTE PRIN RADIATIE ȘI CU VOLATILELE

Este faza în care excesul mare de flux de căldură, degajat prin radiația suprafețelor active și prin volatilele care s-au aprins, expandează parțial și spre amonte, pregătind intrarea în reacție a feței laterale a masivului și a feței superioare. În această fază căldura eliberată de reacția cocsului și a volatilelor este folosită parțial și pentru uscare și degajarea volatilelor din masiv, dar, din cauza fenomenului de circulație naturală inversă, un debit important de căldură de aprindere se dirijează spre straturile superioare.

În fig.11 se prezintă masivul de lemn în strat în faza de ardere cu exces de căldură disipat și în amonte cu radiație și cu volatilele.

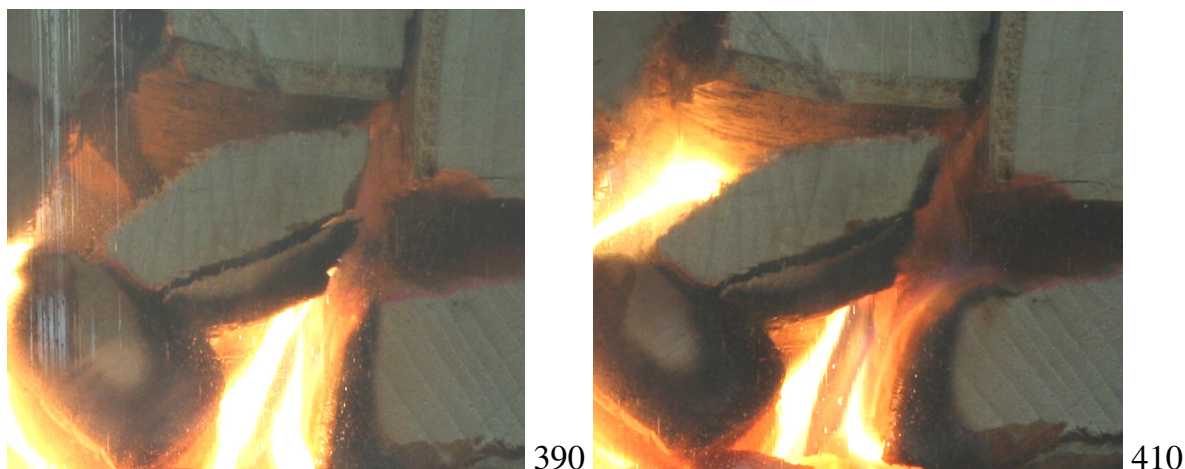


Fig.11 Masivul de lemn în strat în faza de ardere cu exces de căldură disipat și în amonte prin radiație și cu volatilele

Se poate urmări cum în secvența s.380 - s.390 volatilele își creează un drum ascendent pe lângă fața din stânga a masivului, apoi, în secvențele s.400 și s.410 volatilele încep să se deplaseze amonte și pe latura dreaptă a masivului, astfel încât la timpul s.410 masivul este înconjurat de volatile în stare de ardere și întreaga suprafață a masivului are condiții de aprindere și de ardere. În același timp, suprafața superioară a masivului devenind o suprafață de cocs în reacție, suprafețele inferioare ale

masivelor din amonte capătă un flux de aprindere atât prin aportul convectiv de căldură al volatilelor care ard cât și prin radiație de la suprafețele active ale masivului analizat. Această fază corespunde etapei de apariție a unor noi suprafețe de reacție pe baza disponibilului de flux termic rezultat din generarea prin reacții a unui flux termic mai mare decât fluxul de căldură necesar aprinderii și gazeificării masivului de lemn (diagrama fig.3). Corelarea condițiilor de transfer intens de masă (oxigen) la suprafețele active chimic cu cele privind existența unor condiții gazodinamice de curgere care să permită circulația amonte a unui debit de gaze fierbinți și radiația la temperatură înaltă a suprafețelor în proces de ardere către suprafețele în fază de încălzire, este tocmai situația de extindere a suprafeței de reacție a frontului de flacără, dacă nu apare concomitent și o răcire convectivă majoră. Această corelație funcțională generează, pentru un domeniu de curgere limitat, creșterea sarcinii termice pe măsura creșterii debitului de aer ce alimentează stratul.

E. FAZA DE ARDERE CU EXCES DE CĂLDURĂ DISIPAT NUMAI IN AMONTE PRIN RADIATIE ȘI CU VOLATILELE

Faza este caracterizată prin aceea că în aval de masivul studiat toate masivele și gazele au o temperatură de echilibru de proces, astfel încât un flux de căldură din amonte spre aval nu este posibil. În consecință, excesul de căldură al masivului analizat este disipat numai în amonte prin radiație și prin volatilele în fază de ardere.

În fig. 12 se prezintă masivul de lemn în strat în faza de ardere cu exces de căldură disipat numai în amonte prin radiație și cu volatilele. Numerele atașate fotografiilor reprezintă cronometrul în secunde.

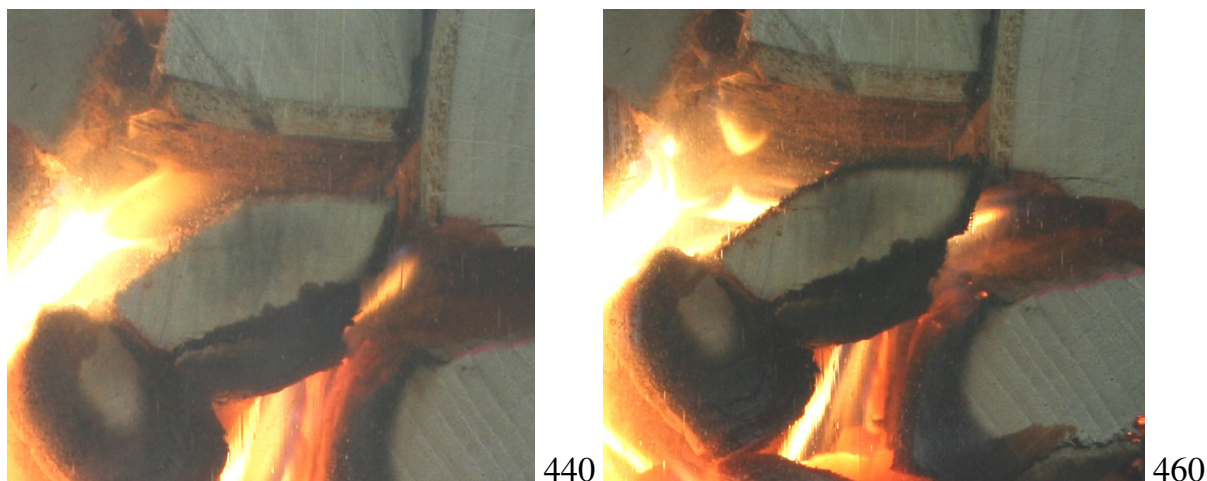


Fig.12. Masivul de lemn în strat în faza de ardere cu exces de căldură disipat numai în amonte prin radiație și cu volatilele

În secvențele prezentate se remarcă aprinderea straturilor superioare de lemne de la s.430 până la s.460. Este evidențiată o dezvoltare rapidă pe masivul din amonte a

stratului de cocs în reacție, ca urmare a aprinderii inferioare realizate de masivul în fază de puternică de degajare de căldură, existent în aval.

F. FAZA FINALĂ DE ARDERE

În această fază suprafața de reacție înconjoară complet masivul și procesul se apropie rapid de finalul în care toată masa este cocsificată și, pe măsură ce va primi aer de gazeificare, cocsul se va transforma în CO. Ultimul interval de timp de difuzie este relativ lung, de ordinul 600 s, deoarece mediul este relativ sărac în oxigen datorită suprafețelor amonte active termo-chimic, iar procesele de difuzie la suprafața de carbon sunt lente. Volatilele degajate prin gazeificarea cocsului în această fază sunt dirijate în aval spre secțiune de ieșire a gazelor spre camera de ardere.

În fig. 13 se prezintă masivul de lemn în strat în faza finală de ardere cu disipare de căldură de aprindere spre straturile amonte și generare de CO la temperatură înaltă ce va reacționa în camera de post-ardere cu oxigenul ne consumat din debitul de aer ce străbate stratul.

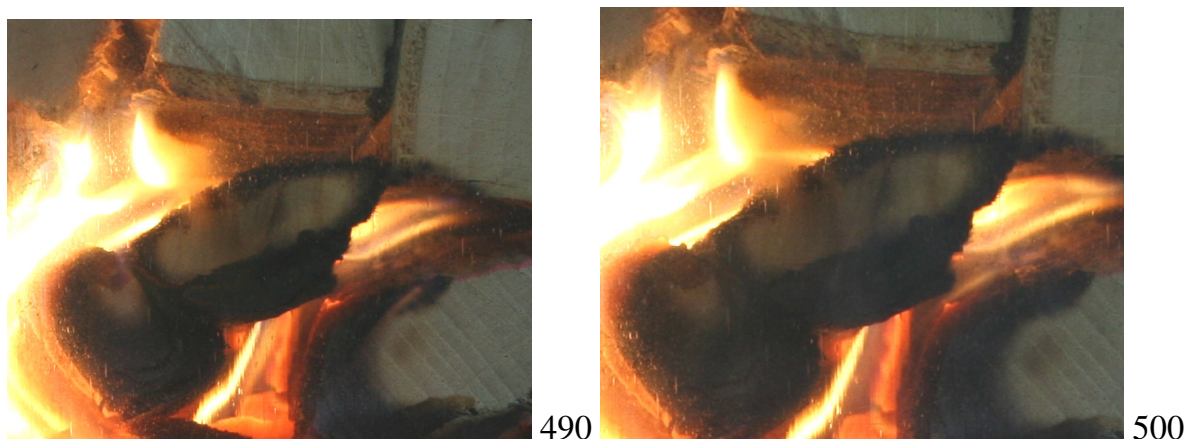


Fig.13. Masivul de lemn în strat în faza finală de ardere cu disipare de căldură de aprindere spre straturile amonte

Este important de precizat că, datorită suprafeței de reacție limitată de echilibrele termice de aprindere, și datorită vitezei finite de consum a oxigenului atât în zonele de reactivitate ale cocsului cât și în zonele de ardere cinetică a volatilelor, va rămâne un disponibil de oxigen în amestecul gazos din camera de post-ardere, disponibil ce va fi consumat pentru completarea arderii produselor de gazeificare rezultate din strat. Acest fapt stă la baza observației că arderea inversă este singura tehnică de ardere în strat care permite furnizarea concomitentă, printr-o insuflare unică, atât a aerului primar de reacție în strat cât și a aerului secundar de post-ardere.

În secvențele s.550 - s.600 se remarcă deplasarea frontului de ardere pe rândul superior de lemne, masivul studiat intrând în zona de ardere a masivelor de cocs și ne

mai având schimburi termice cu straturile superioare care, după ce au primit tot fluxul de căldură necesar aprinderii, sunt independente din punct de vedere al desfășurării arderii.

În fig. 14 se prezintă masivul de lemn în strat în faza finală de ardere, înglobat în masa de cocs.

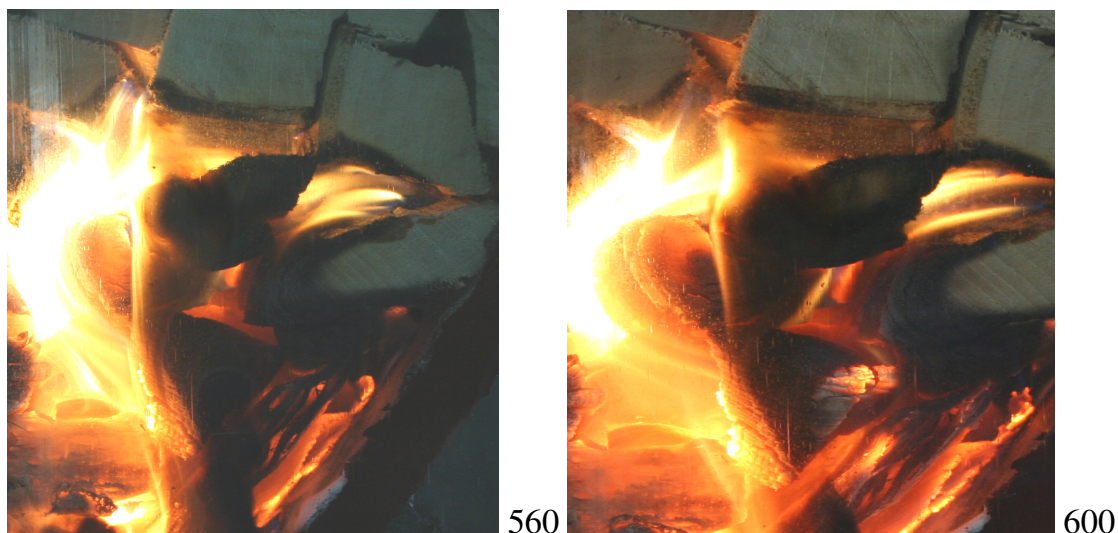


Fig. 14 Masivul de lemn în strat în faza finală de ardere fără legătură cu straturile amonte, înglobat în masa de cocs.

7. Concluzii

Pentru arderea lemnului în instalații mici, soluție cu exploatare mai dificilă și, mai ales, cu poluare însemnată cu CO, s-au efectuat în ultimii 15 ani cercetări de mare amploare la Laboratorul de Încercare de Cazane și Instalații de Ardere al Facultății de Instalații- București. Cercetările au vizat în primul rând îmbunătățirea, în cadrul lucrărilor de certificare a cazanelor, a performanțelor energetice și ecologie.

Paralel, un amplu program de cercetare științifică s-a desfășurat cu obiectivul de a cunoaște prin modele fizico-matematice procesul de ardere al lemnului și de a optimiza instalația de ardere.

În prezenta lucrare s-au expus rezumativ unele rezultate importante de cercetare, în special legate de realizarea unui model fizic conform cu realitatea, a arderii cu gazeificare, atât a stratului în ansamblu cât și a masivului singular de lemn.

În final, trebuie trasă și concluzia că în realizarea cazanelor moderne, cu combustibil biomasă, de eficiență ridicată, un rol important îl are cercetarea de laborator și atât producătorii de cazane cât și cei ce se ocupă de exploatarea lor au nevoie permanentă de consultare atât la nivel fenomenologic cât și la nivel funcțional.