

Instalație multischimbător pentru utilizarea peletilor în sisteme de încălzire industrială*

Multiple-exchangers installation for industrial heating using wood pellets

Nicolae Antonescu, Laurențiu Tăcutu

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

Rezumat. *Încălzirea spațiilor industriale de tip hală, slab izolate termic și cu permeabilitate ridicată, cu convecto-radiatoare, este improprie, iar cea cu generatoare de aer cald, cu toate că se pretează mai bine aplicației, rămâne totuși energofagă. Problemele care se pun la utilizarea combustibililor biogenici (ecologici și ieftini), ca alternativă la combustibilii clasici, sunt generate de imposibilitatea de a renunța la prezența unui agent intermediar (în cazul folosirii cazanelor), de prezența traseelor de temperatură foarte înaltă (peste 750 °C) la folosirea camerelor de ardere cvasi-adiabate cuplate cu sisteme de disipare radiativă (tuburi radiante) și de imposibilitatea, în cazul folosirii unei instalații monocomponent (cazan sau sistem de radiație ori generator de aer cald), de a cupla pe aceeași cameră de ardere mai mulți consumatori de tip diferit (aer cald și radiație). Instalația prezentată rezolvă în mod integrat problemele enunțate anterior și constituie o soluție tehnico-economică optimă de utilizare a combustibilului biogenic pentru realizarea încălzirii multisistem a halelor și incintelor industriale.*

Cuvinte cheie: *ardere peleti, combustibil biogenic, încălzirea spațiilor industriale, cos preîncălzitor, tuburi radiante, eficiența energetică.*

Abstract. *Heating with convecto-radiators the industrial buildings generally poorly insulated and with high permeability, is improper, and using air generators, although more suitable for the application, still remains a great energy consumer. Problems which arise at the use of biogenic fuels (ecological and cheap), as an alternative to classic fuels, are generated by the presence of an intermediate agent (in the case of using boilers), the presence of high temperature ducts (above 750 °C) at the use of quasi-adiabatic combustion chambers coupled with radiative dissipating systems (radiant tubes) and the impossibility, in the case of using a mono-component systems (boiler or radiation system or hot air generator), to connect on the same combustion chamber different types of consumers (hot air and radiation). The installation presented solves the problems previously mentioned and represents a solution for the optimal use of biogenic fuels for the multi-system heating of halls and industrial buildings.*

Key words: *biogenic fuels, air heater, radiant heating, high efficiency, industrial heating.*

* Lucrare inclusă în programul conferinței RCEPB 2014

1. Cadrul general

În multe situații practice apare necesitatea încălzirii unor spații de tip industrial (hale, depozite, anexe etc.) care de multe ori sunt caracterizate de un grad de izolare termică a anvelopei relativ redus și de infiltrații de aer proaspăt semnificativ mai mari decât cele necesare asigurării numărului de schimburi de aer pentru confort.

Mai mult, în unele situații apar deschideri frecvente ale ușilor (care de obicei au dimensiuni semnificative pentru a permite accesul cu motostivuitoare) și imposibilitatea delimitării prin alveolare a spațiilor de lucru față de zonele menite pentru depozitare sau tranzit al producției.

În această situație, încălzirea cu convecto-radiatoare este improprie iar cea cu generatoare de aer cald, cu toate că se pretează mai bine aplicației, rămâne totuși energofagă.

Pentru a rezolva economic astfel de situații, se pot propune mai multe direcții de acțiune:

- Înlocuirea combustibilului clasic (gazos sau lichid) cu un combustibil ieftin și ecologic;
- Înlocuirea sistemului de încălzire de tip centralizat cu unul descentralizat în vederea eliminării rețelelor de transport agent termic primar (cauzatoare de pierderi);
- Înlocuirea, unde este posibil, a sistemelor de încălzire ce folosesc un agent intermediar (convecto-radiatoare sau generatoare de aer cald) cu sisteme directe de încălzire prin radiație de temperatură înaltă.

Din gama combustibililor ecologici și ieftini, cei de tip biogenic reprezintă o pondere covârșitoare, fie că aceștia se găsesc sub forma lor cea mai brută (de lemn bucăți), fie că se găsesc în forma prelucrată de peleti.

Problemele care se pun în aceste cazuri (la utilizarea combustibililor biogenici în instalații de încălzire) și la care instalația prezentată în lucrare își propune să găsească soluții sunt:

- Imposibilitatea de renunțare la prezența unui agent intermediar în cazul folosirii cazanelor funcționând cu un material biogenic;
- Prezența traseelor de temperatură foarte înaltă (peste 750 °C) la folosirea camerelor de ardere cvasi-adiabate cuplate cu sisteme de disipare radiativă (tuburi radiante); aceste trasee apar datorită diferenței de cote (între 3 și 7 m uzual) dintre camera de ardere și tubul radiant; traseele ori sunt puternic izolate refractar aducând costuri semnificative de investiție și durabilitate redusă în funcționare, fie sunt montate în exteriorul incintei în cuști de protecție anti-atingere, generând pierderi semnificative de căldură;
- Imposibilitatea în cazul folosirii unei instalații monocomponent (cazan sau sistem de radiație sau generator de aer cald) de a cupla pe aceeași

cameră de ardere mai mulți consumatori de tipuri diferite de transmitere finală a căldurii; astfel, dacă într-o zonă de hală există sectoare de lucru ce necesită încălzire cu aer cald (de exemplu, datorită prezenței unor obstacole sau mobilier care nu permite utilizarea sistemelor de încălzire prin radiație) iar în alte sectoare este recomandată o încălzire prin radiație (de exemplu, în zona de acces mecanizat în hală cu deschideri frecvente ale ușilor și cu regim mare de înălțime), soluțiile clasice impun fie renunțarea la dualitatea sistemului de încălzire, fie impun separarea sistemelor cu efectele negative tehnico-economice și de exploatare inerente.

- În cazul imposibilității de grupare a consumatorilor de mai multe tipuri rezultă necesitatea realizării unui număr mare de subsisteme de putere mică, ceea ce va duce la creșterea semnificativă a investiției, la complicarea deosebită a logisticii de alimentare și supraveghere a arzătoarelor (camerelor de ardere) și, în final, la renunțarea utilizării unui combustibil ieftin și ecologic în favoarea unui sistem unitar clasic ce are combustibil superior și scump, o eficiență termică scăzută, dar prezintă avantajele unor costuri inițiale mai scăzute și poate fi mai ușor de exploatat.

Instalația prezentată în continuare rezolvă într-un mod integrat problemele enunțate anterior și se constituie într-o soluție tehnico-economică optimă de utilizare a combustibilului biogenic pentru realizarea încălzirii multisistem a halelor și incintelor industriale.

2. Descrierea instalației și prezentarea principalelor avantaje ale acesteia :

În figura 1 se prezintă o schemă generală a instalației propuse. Camera de ardere este prevăzută cu unul sau mai multe arzătoare de tip Stocker ori unul de tip cuvă de ardere (echivalentul pentru peletii a soluției constructive de arzător cu aer insuflat pentru combustibili superiori). Arderea se produce în prima parte a camerei de ardere iar gazele de ardere formate se deplasează către secțiunea de ieșire depășind două șicane verticale. Trecerea peste prima șicană are ca scop realizarea unei turbulențe suplimentare de amestecare între excesul de aer și elementele de ardere incompletă ce se mai găsesc în gazele de ardere, iar cea de-a doua șicană are rol de desprăfuitor inerțial grosier. Pereții șicană nu trebuie să aibă masivitate termică și structurală, ei nefiind supuși la eforturi mecanice și neavând rol de volant termic. Desigur însă, în funcționarea de regim, temperatura acestora depășește pragul de temperatură de aprindere (cca. 800 °C), constituindu-se astfel în suprafețe de stabilizare pentru procesul de ardere.

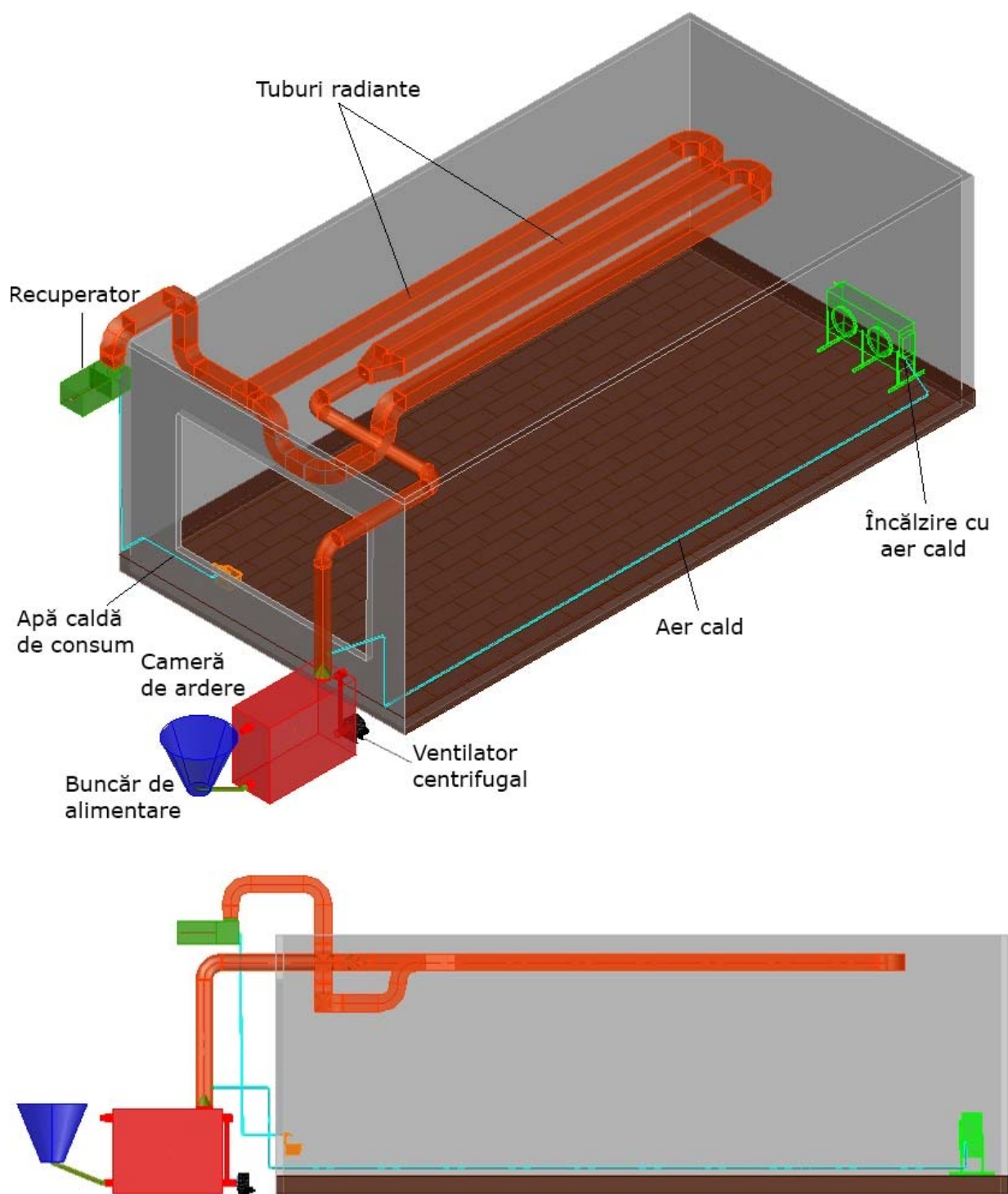


Figura 1: schema generală a instalației multischimbător pentru utilizarea peletilor în sisteme de încălzire industrială.

Camera de ardere este căptușită refractar, dar condiția de izolare se limitează la o temperatură pe suprafața exterioară de cca. 200 °C, deoarece întreaga căptușeală este

cuprinsă într-o carcasă metalică ventilată. Ventilarea spațiului format între peretele refractar al cuptorului și carcasa metalică se face cu ajutorul unui ventilator centrifugal ce refulează aer atmosferic în două colectoare longitudinale aflate de o parte și de alta a carcasei metalice. Prin reglarea secțiunii de curgere se poate realiza optimul între o bună răcire a căptușelii refractare și menținerea căderilor de presiune aeraulice într-un domeniu acceptabil. Din experiența similară a autorilor, grosimea căptușelii refractare se înscrie în domeniul 80 – 120 mm.

Aerul încălzit este colectat la partea superioară a carcasei cuptorului și este introdus în secțiunea ascendentă a “coșului preîncălzitor de aer”.

Coșul preîncălzitor de aer este prima treaptă de transfer de căldură din lanțul de trepte propus.

În mod clasic, această soluție de schimbător de căldură este utilizată la evacuarea cu recuperare energetică (în sens tehnologic) a gazelor de ardere de temperatură înaltă din procese industriale (motiv pentru care se și numește “coș”).

În cadrul instalației prezentate schimbătorul are rol de încălzitor de aer pentru utilizare în sisteme de încălzire cu aer cald. Soluția constructivă, prezentată în figura 2, este formată dintr-un canal de gaze de ardere din oțel pe exteriorul căruia se sudează nervuri longitudinale. Ansamblul este învelit într-o carcasă metalică izolată.

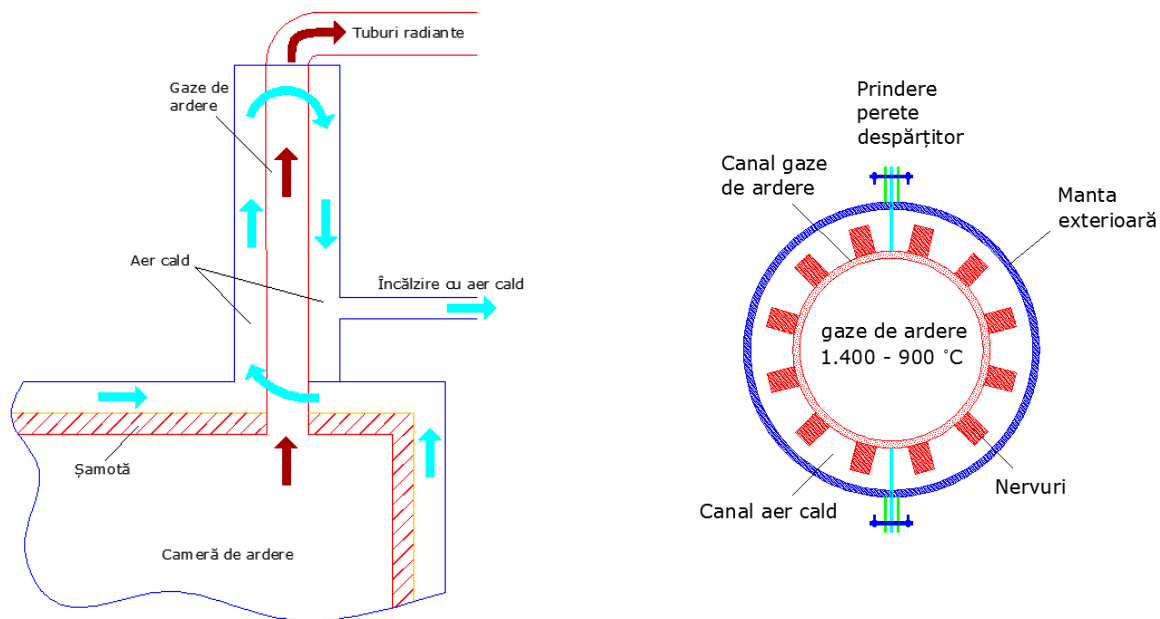


Figura 2: soluția constructivă de coș nervurat preîncălzitor de aer.

Aerul preîncălzit prelevat din carcasa cuptorului este introdus la partea inferioară a schimbătorului și parcurge ascendent lungimea acestuia încălzindu-se.

La partea superioară a schimbătorului se realizează trecerea în cea de-a doua secțiune, coborâtore, aerul încălzindu-se în continuare pe traseul descendent. Separația între cele două treceri ale schimbătorului se realizează prin intermediul unor membrane sudate pe țeava interioară și prindere cu garnituri între cele două cochilii ce

formează carcasa coșului preîncălzitor de aer. Aerul se încălzește la temperaturi între 80 °C și 200 °C în funcție de necesitățile de utilizare.

În figura 3 se prezintă în vedere 3D soluția constructivă de coș preîncălzitor nervurat cu două treceri longitudinale

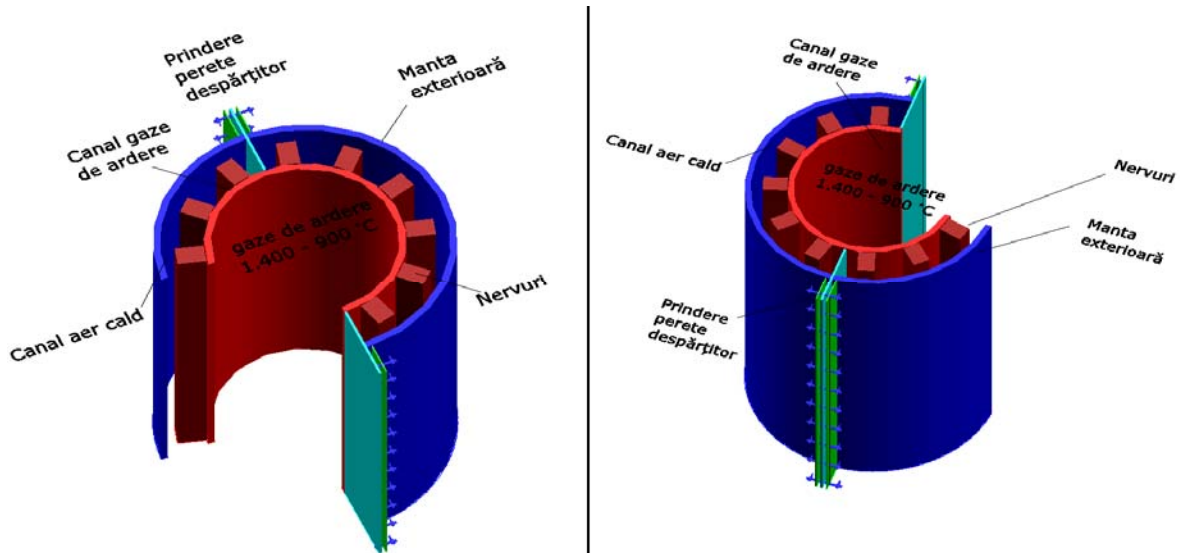


Figura 3: soluția constructivă de coș nervurat preîncălzitor de aer (model 3D)

Față de utilizarea unei soluții constructive de încălzitor de aer de tip baterie de țevi lise, soluția constructivă aleasă de coș nervurat are o serie de avantaje:

- asigură menținerea temperaturii peretelui de transfer de căldură sub temperatura critică de 450 °C care ar necesita utilizarea oțelurilor refractare (inox) ce au un cost mare de procurare, ce mai prezintă și dificultăți de prelucrare și montaj;
- permite scăderea semnificativă a pierderilor de sarcină atât pe traseul gazelor de ardere cât și pe traseul aerului încălzit, astfel se poate folosi un singur ventilator pentru întregul traseu (camera de ardere - încălzitor de aer);
- rezolvă constructiv și funcțional problema aducțiunii gazelor de ardere fierbinți de la cota camerei de ardere la cota de utilizare în treapta de încălzire prin radiație (tuburi radiante) fără a mai fi necesare izolații refractare, minimizând pierderile de căldură către mediul ambiant (mai ales în cazul montării exterioare) și eliminând orice pericol de incendiu legat de acest traseu;
- la intervențiile de mentenanță este ușor de curățat atât pe partea gazelor de ardere cât și pe partea aerului cald.

Procesul de transfer de căldură este relativ complex, în figura 4 fiind prezentat modelul utilizat în calcul. Se pun astfel în evidență principalele transferuri de căldură:

- flux de căldură transmis radiativ de gazele de ardere către fața interioară a tubulaturii de gaze de ardere Q_{gr} ;
- flux de căldură cedat convectiv de gazele de ardere feței interioare a tubulaturii de gaze de ardere Q_{gc} ;
- transfer de căldură radiativ între conducta de gaze de ardere (nervurată) și cămașa metalică a schimbătorului (carcasa exterioră izolată) Q_{12} ;

Instalație multischimbător pentru utilizarea peleților în sisteme de încălzire industrială

- transfer de căldură convectiv între aerul încălzit și nervurile drumului de gaze de ardere Q_{na} ;
- transfer de căldură convectiv între aerul încălzit și peretele drumului de gaze de ardere Q_{1a} ;
- transfer de căldură convectiv între aerul încălzit și cămașa metalică a schimbătorului (carcasa exterioară izolată) Q_{2a} .

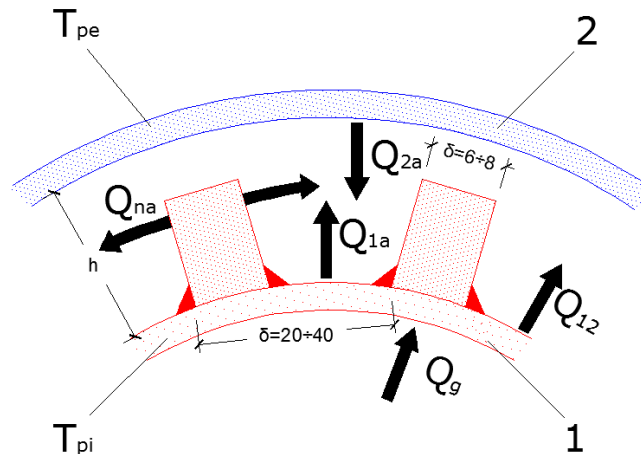


Figura 4: modelul de transfer de căldură utilizat în calcul pentru coșul nervurat.

Calculul unui astfel de schimbător de căldură se realizează pe secțiuni de discretizare având ca necunoscute temperaturile caracteristice ale componentelor și temperaturile de intrare și ieșire ale agenților termici.

Setul de ecuații care se generează are la bază următoarele bilanțuri termice:

- bilanț termic al secțiunii de conductă nervurată de gaze de ardere;
- bilanț termic al secțiunii din cămașa izolată a schimbătorului;
- bilanț termic al agenților termici (pe secțiune);

Condițiile de interconectare și de închidere a sistemului se referă atât la planurile de cuplaj între secțiuni cât și la ansamblul schimbătorului. Principala condiție de închidere este ca temperatura calculată de ieșire a aerului încălzit în traseul ascendent să fie egală (în limita unei erori admise, de exemplu 0,1 K) cu temperatura de intrare a aerului în secțiunea de trecere calculată pornind de la secțiunea de bază. Practic, sistemul de calcul pornește de la baza schimbătorului și avansează, secțiune după secțiune, generând o matrice de temperaturi care se va îmbunătăți la fiecare parcurgere a sistemului de ecuații, până când condiția de închidere este atinsă.

După parcurgerea încălzitorului de aer de tip coș nervurat, gazele de ardere sunt răcite la o temperatură cuprinsă între 500 și 1000 °C (în funcție de specificul instalației).

Aerul cald preparat se poate folosi într-o instalație de încălzire cu aer cald, fie direct, fie după diluție cu aer proaspăt, funcție de temperatura de producere a aerului

cald și de necesitățile specifice beneficiarului. În orice caz, debitul produs se poate constitui cu succes în aport de aer proaspăt pentru secții de producție cu generări masive de poluanți, cum ar fi vopsitorii, tratamente chimice și ale suprafețelor, secții de prelucrare lemn (emisii de praf) etc..

Asa cum este prezentat și în figura 1, după ieșirea gazelor de ardere din tronsonul urcător (constituit de încălzitorul de aer nervurat), acestea se află la cota necesară intrării într-un sistem de încălzire de tip radiativ.

Datorită caracterului industrial al aplicației și deoarece nu este economică realizarea unor instalații de ardere a peleților sau deșeurilor lemnoase sub 20 – 30 kW, se propune o soluție specială de tub radiant, cu lungime mare și 2 până la 4 ramuri alimentate în paralel. Tuburile sunt de tip “U” deoarece, mai ales la lungimi mari, este necesară compensarea neuniformității de radiație dintre capete prin această soluție constructivă.

Tuburile radiante se propune a fi montate jumelat, pe carcase semihexagonale înclinate, așa cum este indicat în figura 5.

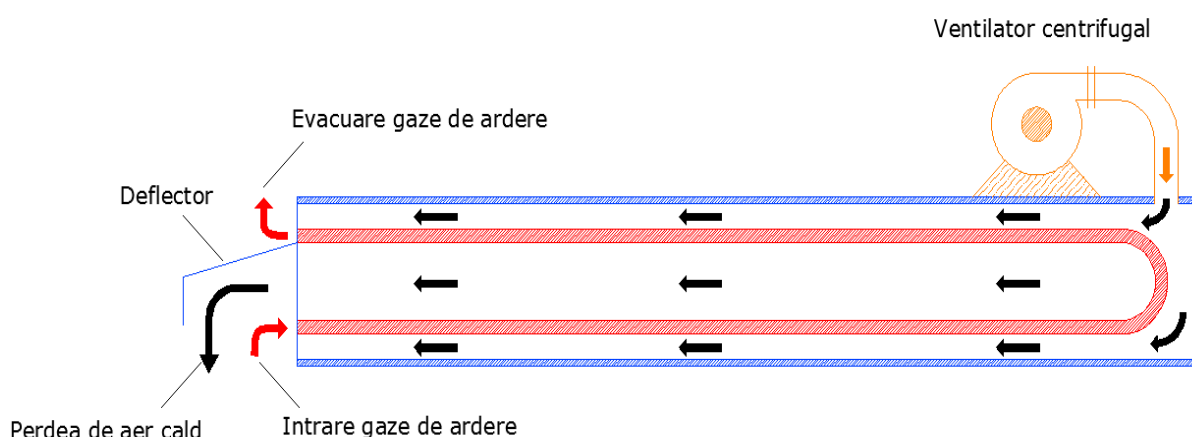


Figura 5: soluția constructivă a tuburilor radiative, vedere în profil.

Avantajul unui astfel de montaj este dat atât de aspectul unei distribuții a radiației pe o zonă mai mare (față de montajul orizontal) cât și de formarea unui canal între cele două tuburi jumelate. Prin închiderea canalului cu o tablă (subțire și minim izolată) și montarea unui ventilator de circulație, se poate realiza pe de o parte o foarte eficientă izolare termică a tuburilor radiante (cu agentul termic de joasă temperatură) și pe de altă parte se produce un agent termic util de tip aer cald ce se poate folosi la crearea unor perdele de protecție în dreptul unor uși de acces sau în dreptul unor suprafețe vitrate.

În figura 6 se prezintă în secțiune soluția constructivă propusă, cu evidențierea montajului tuburilor radiante și a formării canalului de aer cald.

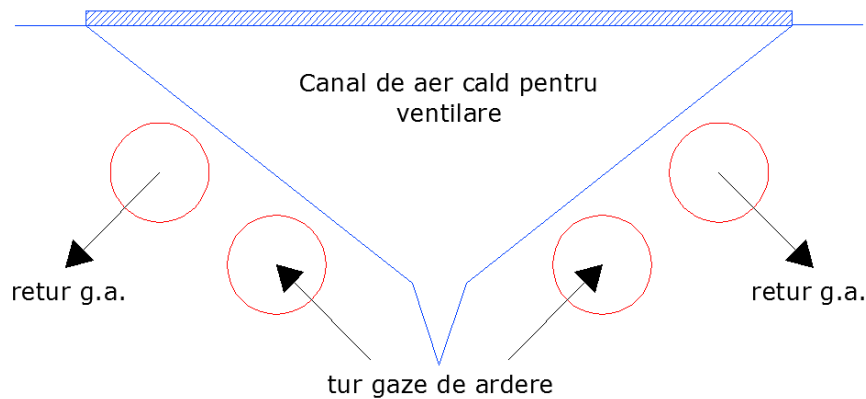


Figura 6: soluția constructivă a tuburilor radiative, secțiune.

Modelul de calcul ce se poate folosi pentru determinarea funcționării tuburilor radiante are la bază scrierea ecuațiilor de bilanț pentru fiecare secțiune de tub, de la intrarea gazelor de ardere și până la ieșire acestora către următoarea treaptă de schimb de căldură (sau, eventual, către coș).

Calculul se realizează iterativ atât în cazul proiectării (determinarea lungimii de tub radiant când se impune temperatura de ieșire a gazelor de ardere) cât și în cazul verificării (determinarea temperaturii de ieșire a gazelor de ardere dacă se cunosc datele dimensionale ale tubului radiant).

Indiferent de situație, pentru fiecare secțiune de discretizare, se pot identifica următoarele fluxuri de căldură și temperaturi, așa cum sunt detaliate în figura 7:

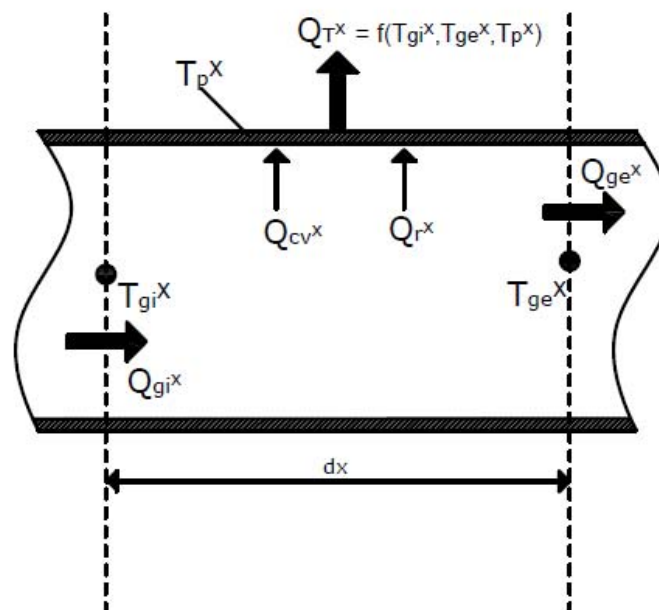


Figura 7: modelul de transfer de căldură utilizat în calcul pentru panourile radiative.

- Q_{cv} – flux de căldură transmis convectiv de la gazele de ardere la peretele tubului radiant;
- Q_r – flux de căldură transmis radiativ de la gazele de ardere la peretele tubului radiant;
- Q_{gi} / Q_{ge} – fluxuri de căldură intrat și respectiv ieșit din secțiunea de calcul cu debitul de gaze de ardere;
- Q_T – flux de căldură transmis de tubul radiant către zona de încălzire.

Bilanțurile termice :

$$Q_{cv} + Q_r = Q_{gi} - Q_{ge}$$

și

$$Q_T = Q_{cv} + Q_r$$

dertermină variația temperaturii gazelor de ardere și a peretelui tubului în lungul acestuia.

După treapta de încălzire prin radiație, gazele de ardere au un potențial termic scăzut, având temperaturi economice între 150 și 250 °C.

Totuși, dacă se consideră util (și economic rentabil), se poate propune încă o treaptă de recuperare de căldură prin producerea de apă caldă de consum într-un schimbător de căldură cu tuburi termice cuplat cu un sistem de acumulare apă caldă de consum (pentru nevoile proprii ale beneficiarului industrial).

În figura 8 se prezintă o soluție de schimbător de căldură cu tuburi termice recomandabilă pentru acest tip de aplicație.

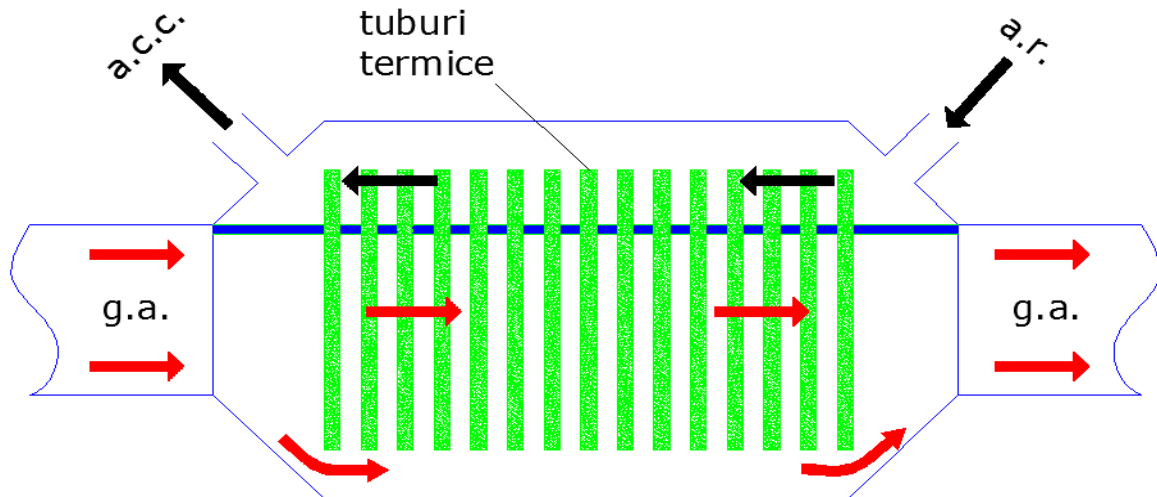


Figura 8: soluția constructivă a recuperatorului cu tuburi termice.

Utilizarea acestei soluții constructive se impune deoarece oferă o serie de avantaje funcționale:

- minimizarea pierderilor de sarcină pe traseul gazelor de ardere;
- echilibrarea raportului dintre suprafața de transfer în gaze de ardere și cea de transfer în apă fără a fi necesară utilizarea extinderilor de suprafață;

- minimizarea diferenței de temperatură minime economice între cei doi agenți termici;
- construcție simplă (industrială) și curățire facilă a suprafeței de transfer de căldură (pe ambele părți);
- cost de construcție redus datorită scăderii semnificative a prețului tuburilor termice în ultimii ani (mai ales la tuburile termice din domeniul de temperaturi specific acestei aplicații).

După parcurgerea schimbătorului de căldură cu tuburi termice, gazele de ardere sunt evacuate la un coș de dispersie.

3. Concluzii și perspective:

Instalația prezentată rezolvă într-un mod integrat problemele specifice (numeroase și complexe) generate de utilizarea peletilor, lemnului și în general a combustibililor biogenici la încălzirea spațiilor industriale și se constituie într-o soluție tehnico-economică optimă, sigură și aplicabilă în orice situație, indiferent de particularitățile beneficiarului industrial.

Autorii își propun pentru viitor realizarea unor modele și programe de calcul complexe pentru proiectarea fiecărei componente din instalația propusă și pentru evaluarea funcțională a instalației complete, în vederea generării unor familii de instalații care să răspundă unei cât mai variate tipologii de beneficiari de încălzire industrială.

Validarea sistemelor de calcul prin realizarea de instalații pilot și măsurarea complexă a acestora, precum și completarea calculelor de proiectare cu calcule economice, vor întări modelele de calcul și rezultatele acestora și se vor constitui în repere de proiectare în domeniu.

Bibliografie

- *ANTONESCU N., CALUIANU V., STANESCU D., ANTONESCU N.N.* – Echipamente termice pentru instalații de habitat și industriale – Editura BLACK SEA – București 2003 – 246 pag.
- *CALUIANU V., STANESCU D., ANTONESCU N.N.* – Aparat termice – Schimbătoare de căldură - îndrumător de proiectare – Editura U.T.C.B.- –București ISBN 973-8165-85-7 dec. 2003 - 174 pag.
- *STANESCU P.D., ANTONESCU N.N., s.a.* – Indrumător de proiectare cazane - Editura MATRIX ROM - ISBN 973-755-087-0 - Bucuresti 2006 - 265 pag.
- *ANTONESCU N.N.* - Instalații de ardere și cazane cu eficiență energetică ridicată și poluare redusă – Complemente de curs - Editura MATRIX ROM – Bucuresti 2011-ISBN 978-973-755-699-8 – 269 pag.
- *ANTONESCU N., ANTONESCU N.N.*- Metode analitice de determinare a fluxului termic al tuburilor radiante pe suprafețe cu obiecte verticale – Conferința a XXI-a „Știința modernă și energia” - Universitatea Tehnică Cluj-Napoca – mai 2002 - - volumul: „Producerea, Transportul și Utilizarea Energiei” - pg.83-90 – ISBN 973-656-224 -7 ;
- *ANTONESCU N.N. , STANESCU P.D.* – Aparat Termice - Curs - Editura MATRIX ROM – Bucuresti 2013-ISBN 978-973-755-878-7 – 432 pag.