

4.3. Radiaţia căldurii corpurilor semi-transparente

Corpurile semi-transparente emit şi absorb căldură sub formă de radiaţii în tot volumul lor.

Anumite lichide şi solide (sticlă, plastic) pot avea un comportament semi-transparent (semi-absorbant).

În general, corpurile semi-transparente sunt gazele având molecule asimetrice (tri- şi poli-atomice) ca de exemplu: bioxidul de carbon (CO_2), vaporii de apă (H_2O), bioxidul de sulf (SO_2), amoniacul (NH_3), hidrocarburile (C_nH_m). Aceste gaze, pentru anumite porţiuni de lungimi de undă, numite benzi, sunt transparente, iar pentru altele absorbante. Poziţia şi lărgimea benzilor depind de natura, presiunea şi temperatura gazului, ca şi de forma incintei care îl conţine.

Puterea de emisie pentru fiecare bandă absorbantă este egală cu integrala intensităţii de radiaţie mono-cromatică pe intervalul respectiv:

$$E_{\Delta\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J_{\lambda} \cdot d\lambda \quad [\text{W/m}^2]$$

unde $\Delta\lambda$ este lărgimea benzii absorbante, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$.

Puterea de emisie totală a unui gaz este egală cu suma puterilor de emisie ale tuturor benzilor absorbante:

$$E_g = \sum_{j=1}^n \dot{E}_{\Delta\lambda,j} \quad [\text{W/m}^2]$$

Ea poate fi exprimată şi cu ajutorul legii lui Stefan-Boltzmann:

$$E_g = \varepsilon_g \cdot \sigma_o \cdot T_g^4 \quad [\text{W/m}^2]$$

unde ε_g este **emisivitatea gazului** care depinde de temperatura acestuia şi de produsul dintre presiune şi lungimea caracteristică a incintei:

$$\varepsilon_g = f(t_g, p \cdot l_c)$$

Lungimea caracteristică, denumită și grosimea echivalentă a gazului, poate fi determinată cu metoda Hottel, care asimilează volumul real de gaz cu o semisferă având același efect radiant.

$$l_c = 0,9 \cdot \frac{4 \cdot V}{S} = 3,6 \cdot \frac{V}{S} \quad [\text{m}]$$

Pentru determinarea emisivității gazului, ε_g , se construiesc nomograme specifice.

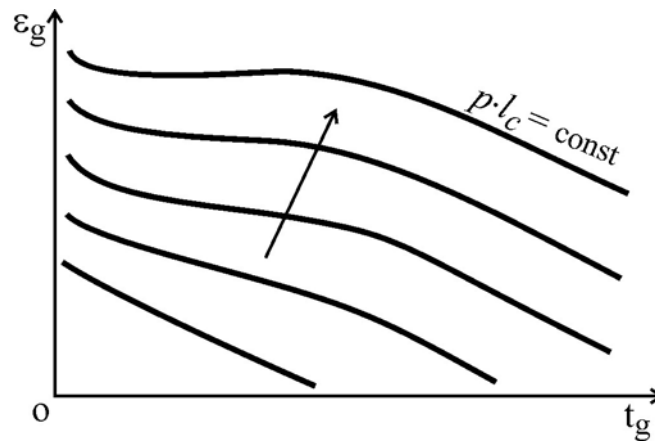


Fig. 4.13: Nomogramă pentru determinarea emisivității gazului

4.3.1. Radiația gazelor de ardere

Componentele cu aport radiant din gazele de ardere sunt în principal bioxidul de carbon (CO_2) și vaporii de apă (H_2O).

Fluxul de căldură cedat de gazele de ardere pereților incintei (focarului) se poate calcula cu expresia:

$$\dot{Q}_{gp} = \frac{\varepsilon_p + 1}{2} \cdot \sigma_o \cdot S_p \cdot (\varepsilon_g \cdot T_g^4 - \varepsilon_{gp} \cdot T_p^4) \quad [\text{W}]$$

unde ε_p , S_p și T_p reprezintă emisivitatea, suprafața și respectiv temperatura absolută a incintei (focarului), iar T_g este temperatura absolută a gazelor de ardere.

Emisivitatea gazelor de ardere, ε_g , se calculează cu relația:

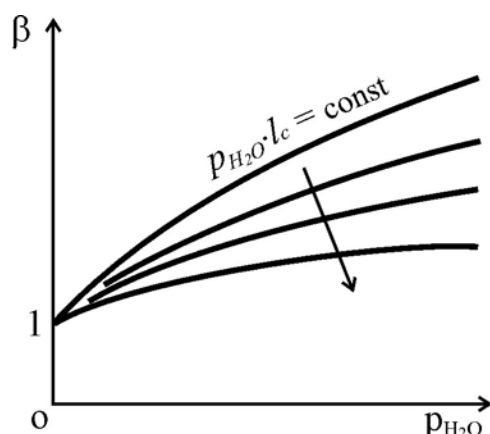
$$\varepsilon_g = \varepsilon_{CO_2} + \beta \cdot \varepsilon_{H_2O} - \Delta\varepsilon$$

unde ε_{CO_2} și ε_{H_2O} se determină la presiunile parțiale ale celor doi componenți cu ajutorul nomogramelor:

$$\varepsilon_{CO_2} = f(t, p_{CO_2} \cdot l_c) ; \quad \varepsilon_{H_2O} = f(t, p_{H_2O} \cdot l_c)$$

Coeficientul de corecție β ține seama de influența suplimentară dată de presiunea parțială a vaporilor de apă, și se determină tot cu ajutorul nomogramelor.

$$\beta = f(p_{H_2O}, p_{H_2O} \cdot l_c)$$



Termenul de corecție $\Delta\varepsilon$ ține seama de absorbția reciprocă a radiațiilor de către bioxidul de carbon și vaporii de apă datorită suprapunerii parțiale a benzilor de emisie și absorbție a celor doi componenți. Valoarea lui fiind foarte mică, în calculele ingineresti termenul $\Delta\varepsilon$ se neglijează.

$$\Delta\varepsilon \cong 0$$

Fig. 4.14: Determinarea coeficientului β

Emisivitatea gazelor de ardere la perete se calculează cu următoarea formulă:

$$\varepsilon_{gp} = \varepsilon_{CO_2, p} \cdot \left(\frac{T_p}{T_g} \right)^{0,65} + \beta \cdot \varepsilon_{H_2O, p}$$

Se definește **emisivitatea efectivă a gazelor de ardere** și se notează cu $\varepsilon_{g,ef}$ următoarea expresie:

$$\varepsilon_{g,ef} = \frac{\varepsilon_g - \varepsilon_{gp} \cdot \left(\frac{T_p}{T_g}\right)^4}{1 - \left(\frac{T_p}{T_g}\right)^4}$$

Rezultă o expresie simplificată a fluxului termic radiant sub forma:

$$\dot{Q}_{gp} = \frac{\varepsilon_p + 1}{2} \cdot \varepsilon_{g,ef} \cdot \sigma_o \cdot S_p \cdot (T_g^4 - T_p^4) \quad [\text{W}]$$

Coeficientul de radiație

Fluxul de căldură primit de o suprafață prin radiație de la un gaz poate fi exprimat printr-o relație echivalentă cu legea lui Newton de la convecție:

$$\dot{Q}_{rd} = \alpha_{rd} \cdot S_p \cdot (t_g - t_p) \quad [\text{W}]$$

unde α_{rd} este coeficientul de radiație definit ca fluxul radiant primit de unitatea de suprafață atunci când diferența dintre temperatura gazelor și cea a peretelui este de 1K:

$$\alpha_{rd} = \frac{\dot{Q}_{rd}}{S_p \cdot \Delta t} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

Ținând cont de expresia fluxului de căldură transmis de gazele de ardere către pereții incintei, coeficientul de radiație se poate calcula cu relația:

$$\alpha_{rd} = \frac{\frac{\varepsilon_p + 1}{2} \cdot \sigma_o \cdot (\varepsilon_g \cdot T_g^4 - \varepsilon_{gp} \cdot T_p^4)}{t_g - t_p} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

4.3.2. Radiația flăcărilor

Flacăra este zona incandescentă, mai mult sau mai puțin luminoasă, în care au loc reacțiile de ardere cu emiterie de radiații electromagnetice.

Proprietățile radiante ale flăcărilor depind de natura combustibilului, de coeficientul de exces de aer, de lungimea de undă, de temperatura de strălucire, de culoare (roșie, verde, albastră, etc.) și de grosimea optică a flăcării.

Fluxul de căldură cedat prin radiație de o flacăra pereților incintei (focarului) se calculează cu formula:

$$\dot{Q}_{fp} = \frac{\varepsilon_p + 1}{2} \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma_o \cdot S_p \cdot (T_f^4 - T_p^4) \quad [\text{W}]$$

unde ε_f este **emisivitatea efectivă a flăcării** care se determină pe cale experimentală pentru fiecare tip de flacăra și T_f temperatura absolută efectivă a flăcării care se calculează ca media geometrică dintre temperatura teoretică de ardere și temperatura gazelor de ardere la ieșirea din focar:

$$T_f = \sqrt{T_t \cdot T_{ge}}$$

Temperatura teoretică de ardere poate fi determinată cu următoarea formulă:

$$T_t = \frac{H_i \cdot \eta_f}{c_p} + 273,15 \quad [\text{K}]$$

unde H_i este puterea calorică inferioară a combustibilului în kJ/kg, η_f este randamentul focarului și c_p este căldura specifică a gazelor de ardere în kJ/kg·K.