Sugárzásos hőátadás

Emisszióképesség: $E = \dfrac{Q}{A}$, $\mathrm{W/m^2}$.

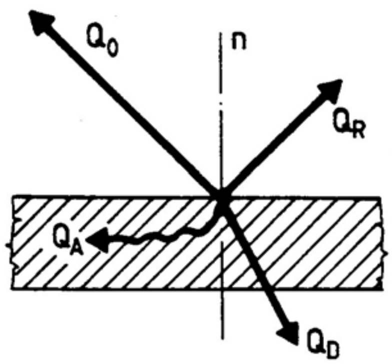
Teljes hősugárzás = elnyelt hő + visszavert hő + a testen áthaladó hő

$$Q_0 = Q_A + Q_R + Q_D$$

$$\frac{Q_A}{Q_0} + \frac{Q_R}{Q_0} + \frac{Q_D}{Q_0} = 1$$

$$A + R + D = 1$$

A = a test elnyelő képessége (abszorbció),
R = a test a visszaverő-képessége (reflexió),
D = a test az átbocsátó képességét jellemzi (diatermicitás).



Sugárzási energia megoszlásának sémája

- abszolút fekete test A = 1 (R=0; D=0)
- abszolút fehér, tükröző test R = 1 (A=0; D=0),
- abszolút átbocsátó, diatermikus test D = 1 (A=0; R=0).

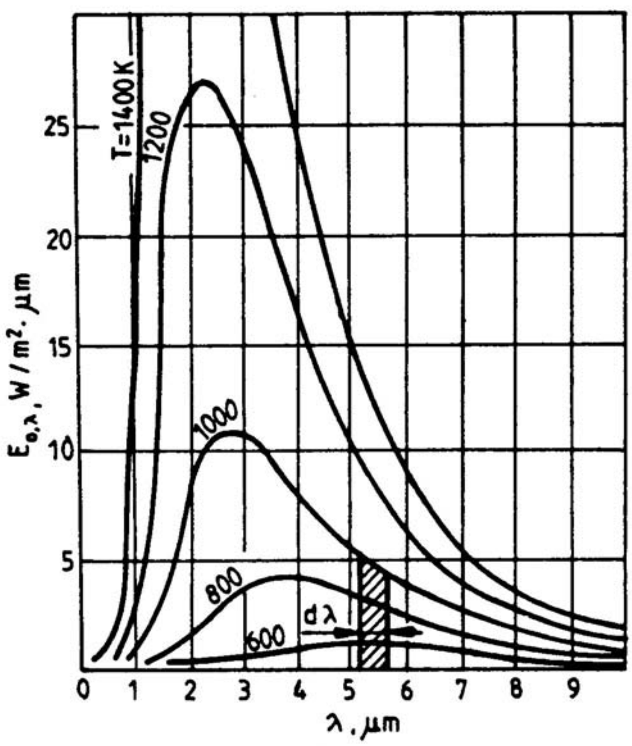
A hősugárzás alaptörvényei

1. Planck-törvény

$$E^{0}_{\lambda\cdot T} = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda\cdot T} - 1}$$

ahol

λ - hullámhossz, m;
T – abszolút hőmérséklet, K;
c_1 és c_2 – állandók: $c_1 = 0{,}374\cdot10^{-15}$, W/m^3;
$c_2 = 1{,}439\cdot10^{-2}$ m·K.



Az abszolút fekete test sugárzási intenzitásának a hullámhosszal és a hőmérséklettel való összefüggése

- A hőmérséklet növekedésével a sugárzás maximuma a rövidebb hullámok irányába tolódik el.

Sraffozott terület (T = 1000 K, dλ hullámhossz):

$$dE^0 = E^0_{\lambda,T} d\lambda.$$

Teljes energiamennyiség (az abszolút fekete test sugárzó képessége):

$$E^0_T = \int_{\lambda=0}^{\infty} E^0_{\lambda,T} \cdot d\lambda$$

2. Wien-törvény (eltolódási szabály)

$$\lambda_{Max} \cdot T = 2{,}898 \cdot 10^{-3} \quad [m \cdot K]$$

A maximális sugárzás λ_{Max} hullámhossz és a T abszolút hőmérséklet szorzata állandó.

3. Stefan-Boltzmann törvény

Az abszolút fekete test által kisugárzott teljes energia fajlagos értéke:

$$E_0 = \delta_0 \cdot T^4, \ \ W/m^2$$

δ_0 – az abszolút fekete test sugárzási állandója

$$5{,}67 \cdot 10^{-8}, \ \ W/(m^2 \cdot K^4).$$

Praktikusabb forma:

$$E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \qquad \left[\frac{W}{m^2} \right],$$

ahol

C_0 – az abszolút fekete test emissziós tényezője

$$C_0 = \delta \cdot 10^8 = 5{,}67 \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot K^4}$$

Szürke test feketeségi foka

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}$$

A Stefan-Boltzmann-törvény szürke test esetén:

$$\boxed{E = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4, \ \mathrm{W/m^2}.}$$

4. Kirchoff-törvény

Az emisszió-képesség és az abszorpció-képesség viszonya minden testnél ugyanakkora és egyenlő az abszolút fekete test ugyanazon hőmérsékletéhez tartozó emisszió-képességével, a szóban forgó viszony csupán a hőmérséklettől függ.

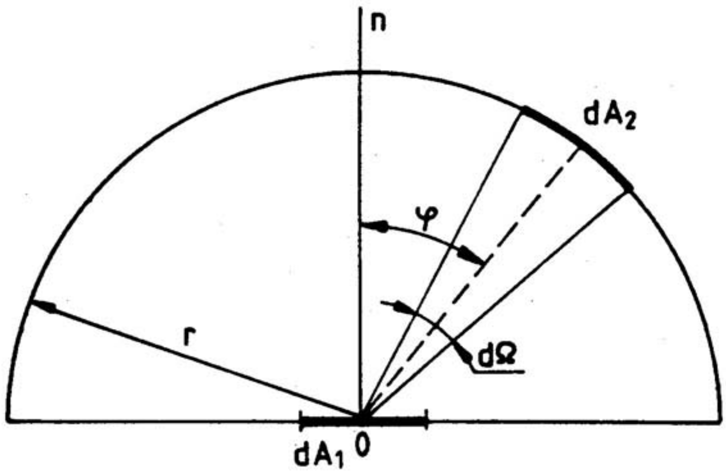
$$E = A \cdot E_0 \quad \text{vagy} \quad \frac{E}{A} = E_0 = f(T).$$

$$\frac{E}{\varepsilon} = E_0 \quad \text{vagy} \quad \frac{E}{A} = E_0 = f(T).$$

$\Rightarrow$ minél nagyobb a test sugárzó képessége, annál nagyobb annak elnyelőképessége is és fordítva.

5. Lambert-törvény

$$d\phi_\varphi = E_n \cdot d\Omega \cdot \cos\varphi \cdot dA_1 \quad W.$$



A DA1 elem kisugárzása a dA2 irányban

- Maximális az energiamennyiség, ha $\varphi = 0^o$
- Zérus, ha $\varphi = 90^o$

Behelyettesítés után:

$$d\phi_\varphi = \frac{\varepsilon}{\pi} C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4 \cdot d\Omega \cdot dA_1 \cdot \cos\varphi, \quad W$$

6. Keppler-törvény

A pontszerű energiaforrás besugárzó képessége fordítva arányos a távolság négyzetével:

$$d\phi = \frac{E}{4 \cdot \pi \cdot r^2} dA \cdot \cos\varphi$$

E a sugárzó forrásból a tér minden irányában kisugárzott energiamennyiség, W;
r a forrástól a d_A felületig mért távolság, m;
φ az *r* iránya és a besugárzott terület közötti szög, fok.

Sugárzásos hőátadás, két nem átlátszó szürke test között

A Stefan-Boltzmann-törvény alapján:

$$\phi = \varepsilon_n \cdot C_0 \cdot \varphi \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot A, \quad W;$$

Két párhuzamos felület közötti hőcsere esetén:

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

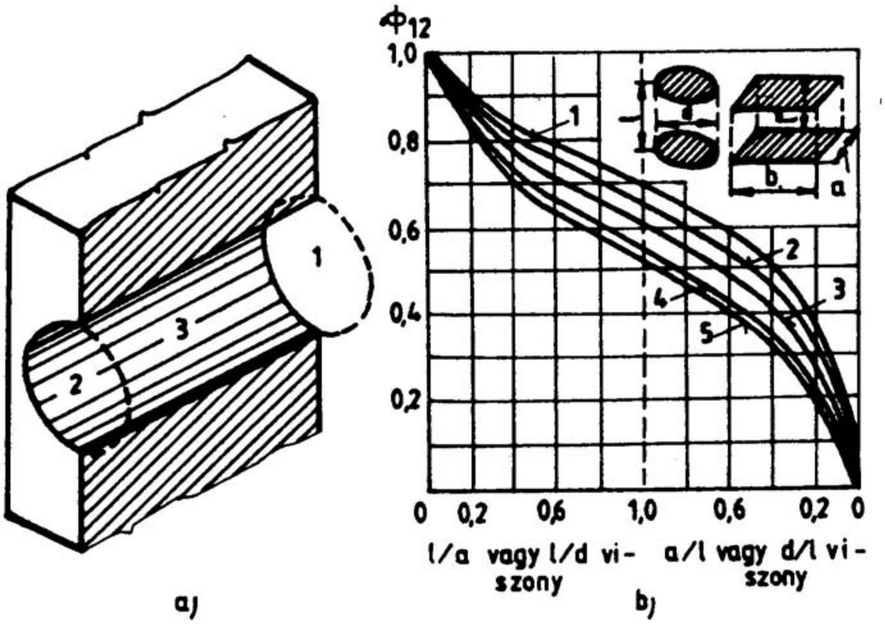
Két felület között zárt térben (amikor az egyik felület a másikat beborítja) létrejövő hőcsere esetén:

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

Kemencenyílásokon kisugárzott hőmennyiség

$$\phi = C_0 \varepsilon \cdot \phi \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] A_{ny}, W$$

ϕ az eredő szögtényező (diafragma tényező):



Kemencefal nyílásán keresztül történő sugárzás: a – a nyílás sematikus ábrázolása; b – diafragma tényező értéke ha 1. a nyílás mérete; a/b = 0; 2. derékszög a/b = 0,2; 3. ugyanaz a/b = 0,5; 4. négyzet a/b = 1; 5. körszelvény

Sugárzásos hőátadás lángkemence munkaterében

- homogén és állandó falhőmérséklet és feketeségi fok
- az egyes falrészek közötti eredő hőáram értéke nulla
- betét: állandó ε_b feketeségi fok és a T_b hőmérséklet
- munkatér: állandó ε_g, T_g gázközeg.

A betétre irányuló eredő hőáram:

$$\varphi_{eredo} = \varepsilon_b \frac{\omega + 1 - \varepsilon_g}{\left[\varepsilon_b + \varepsilon_g (1 - \varepsilon_b) \frac{1 - \varepsilon_g}{\varepsilon_g} + \omega\right]} \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_g}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_b}{100}\right)^4\right] =$$

$$= C_{gwb} \left[\left(\frac{T_g}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_b}{100}\right)^4\right], \ \mathrm{W/m^2}$$

ahol

C_{gwb} a gáz-fal-betét rendszerben a gázból és a falazatról a betétre irányuló sugárzás együtthatója, $\mathrm{W/m^2 \cdot K^4}$.

A fal hőmérséklete:

$$T_w = \sqrt{T_b^4 + \frac{\omega + 1 - \beta}{\beta \frac{1 - \varepsilon_g}{\varepsilon_g} + \omega} \left(T_g^4 - T_b^4\right)}, \ \mathrm{K}$$

ahol

$$\beta = \varepsilon_b + \varepsilon_g \cdot (1 - \varepsilon_b)$$

Gázok emissziója

Csak a kettőnél többatomos gázok sugárzásával számolunk!

$$\varepsilon_g = f(T_g, p, s)$$

Rétegvastagság:

$$s_{eff} = \eta \frac{4V}{A}, \ \mathrm{m}$$

ahol

η – együttható, amely 0,9-re vehető fel;
V – a gázzal töltött munkatér térfogata, m^3;
A – a gázzal borított munkatér felülete, m^2.

Széndioxid és vízgőz emissziós tényezője

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

$$\varphi_g = \varepsilon_g C_0 \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 \quad \mathrm{W/m^2}.$$

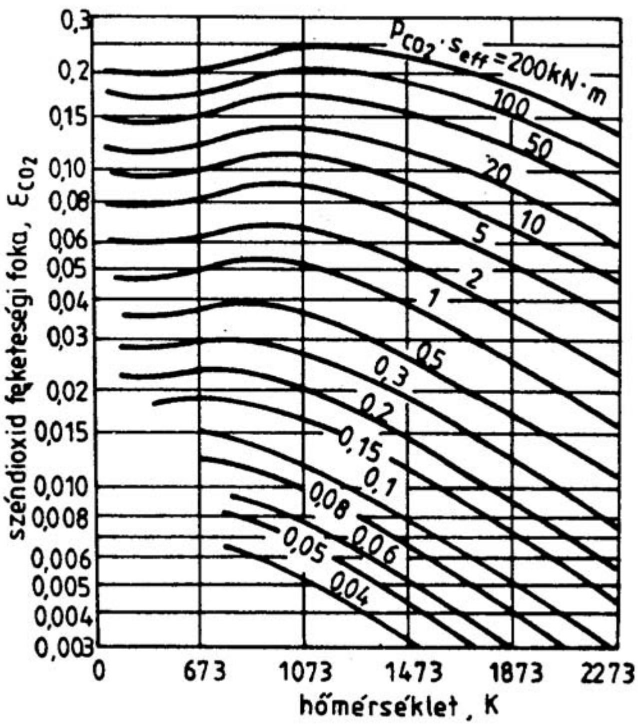
A sugárzó gázról a falra irányuló hőáram intenzitása:

$$\phi = \frac{C_0 \left[\varepsilon_g \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - A_g^w \left(\frac{T_b}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} \ \mathrm{W/m^2}$$

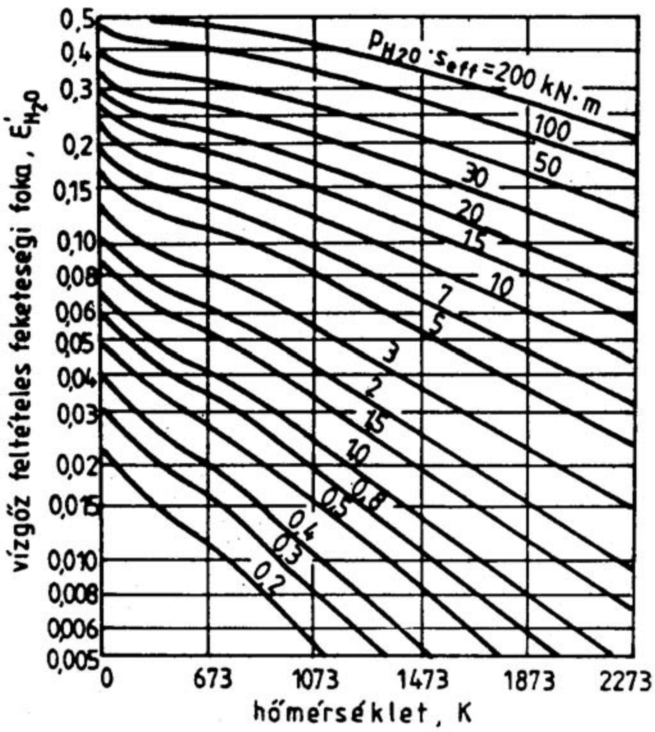
$\varepsilon_g = \varepsilon_{CO_2} + \beta \cdot \varepsilon_{H_2O}$ - a T_g hőmérséklethez tartozó gáz emissziója;

A_g^w - a gáz abszorpció képessége T_w - hőmérsékleten;

$$A_g^w = A_{CO_2} + A_{H_2O}$$



Nomogram a széndioxid feketeségi fokának meghatározásához



Nomogram a vízgőz feketeségi fokának meghatározásához

Az $s_e = \delta \cdot D$ egyenértékű rétegvastagság számítása

A gáztér alakja	**A besugárzott felület**	**A D jellemző méret**	**A δ együttható**
gömb	a teljes felület	az átmérő	0,63
végtelen hosszú henger	a palást elemi felület az alap középpontjában alaplap	az átmérő	0,94 0,9 0,65
henger, h = D	elemi felület az alap középpontjában alaplap	az átmérő	0,71 0,6
henger, h = 0,5·D	alaplap a palást a teljes felület	az átmérő	0,43 0,46 0,45
henger, h = 2·D	mindkét alaplap a palást a teljes felület	az átmérő	0,6 0,76 0,73
félkör alapú, végtelen hosszú henger	elemi szélességű felület a sík lap középvonalán	a félkör sugara	1,26
kocka	a teljes felület	az élhosszúság	0,6
hasáb, 1x1x4 méretű élekkel	az 1x4 méretű lap az 1x1 méretű lap a teljes felület	a legrövidebb él	0,82 0,71 0,81
hasáb, 1 x 2 x 6 méretű élekkel	bármelyik oldallap a teljes felület	a legrövidebb él	1,06 1,06
végtelen, párhuzamos síkok közötti rés	a teljes felület	a résvastagság	1,76
csőköteg, d átmérőjű, 60°-os hálózatban kiosztott csövekből, ha a csövek közötti rés a) d b) 2d	a csövek külső felülete	a csövek közötti (legkisebb) távolság	2,8 3,8
csőköteg, négyzetes csőkiosztással, résméret = d	a csövek külső felülete	a csövek közötti (legkisebb) távolság	3,5

$$A_{CO_2} = \varepsilon_{CO_2} \left(\frac{T_g}{T_w} \right)^{0,65}$$

A sugárzásos hőátadási együttható:

$$\alpha_s = C_0 \cdot \varepsilon_{eff} \frac{\left[\varepsilon_g \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - A_g^w \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right]}{T_g - T_w} \quad W/m^2, K$$

ahol

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1 + \varepsilon_w}{2}$$

Felhasználás: rekuperátorokban, sugárzó csövekben, stb.

A csőrendszerben a gáz sugár tényleges vastagsága:

$$s_{eff} = 1{,}08 \cdot d \cdot \left(\frac{S_1 \cdot S_2}{d^2} - 0{,}785 \right)$$

ahol

- d – a cső külső átmérője, m;
- S_1 – a rekuperátorban a gáz haladási irányára merőleges cső távolság, m;
- S_2 – a rekuperátor mélysége szerinti cső távolság, m.