Přenos tepla zářením

ENERGETICKÝ ÚSTAV
Odbor termomechaniky a techniky prostředí

Úvod

Přenos tepla radiací se uskutečňuje elektromagnetickým zářením o vlnových délkách přibližně v rozmezí od 0,1 μm do 0,1 mm. Tepelná energie je přenášena ve formě diskrétních kvant energie o velikosti

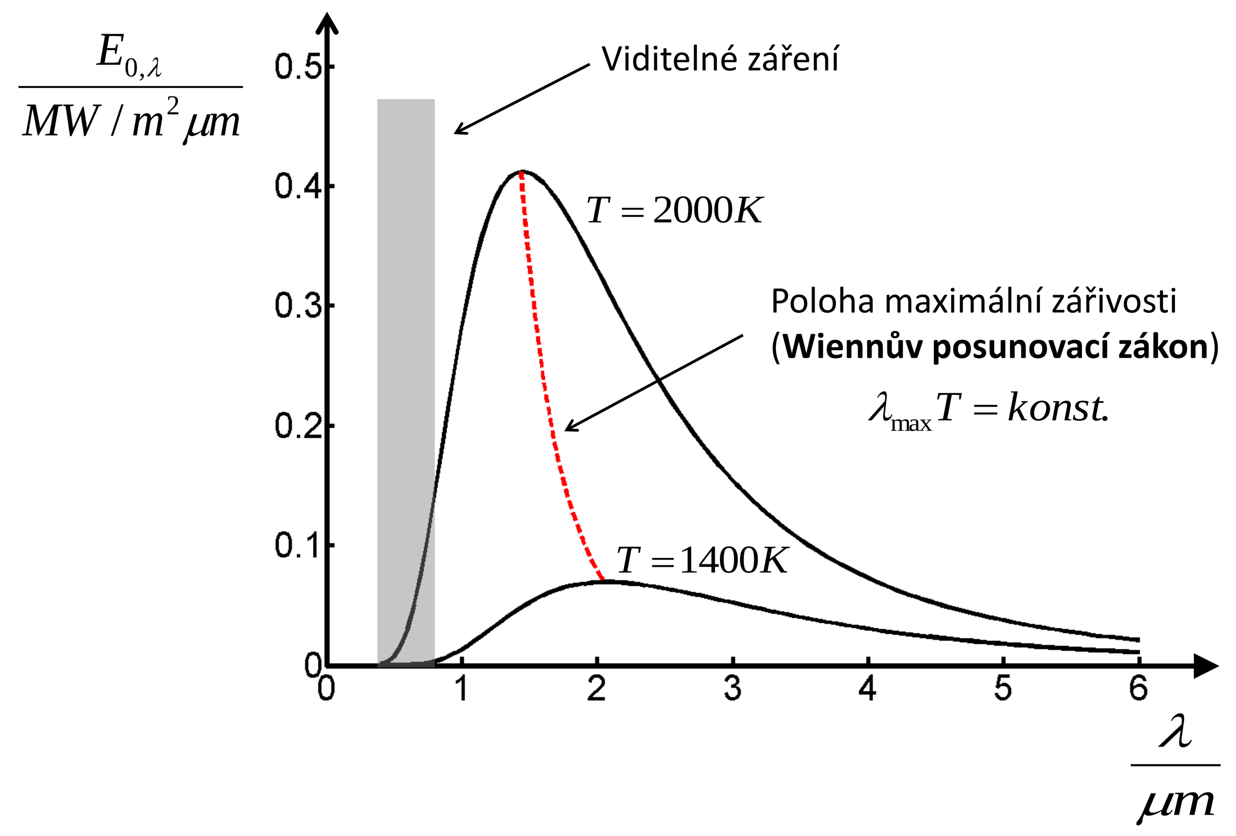
$$e = h\frac{c}{\lambda} \quad [J]$$

h … Planckova konstanta, h=6,6256·10^{-34} J·s
c … rychlost světla, c=299 792 458 m/s
λ … vlnová délka elektromagnetického záření

Každý povrch o dané teplotě emituje elektromagnetické záření v celém rozsahu vlnových délek. Pro každou vlnovou délku je však emitována jiná hodnota zářivé energie. Její rozložení v závislosti na vlnové délce definuje pro tzv. černé těleso (ideální zářič) **Planckův vyzařovací zákon:**

$$E_{0,\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left[\exp\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)-1\right]} \quad \left[\frac{W}{m^3}\right]$$

$E_{0,\lambda}$ … monochromatická zářivost
T … teplota povrchu
k … Boltzmannova konstanta
k =1,3806488·10^{-23} J/K



Celkovou energii vyzářenou černým tělesem získáme integrací $E_{0,\lambda}$ přes celé spektrum vlnových délek. Výsledný vztah je známý jako **Stefanův-Boltzmannův zákon**

$$E_0 = \int_0^\infty E_{0,\lambda} d\lambda = \sigma T^4 \quad \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

E_0 … zářivost černého tělesa
σ … Stefanova-Boltzmannova konstanta, σ=5,67·10^{-8} [W/m^{2}K^4]

Pro reálné povrchy (šedé těleso) platí :

$$\dot{q} = \varepsilon\sigma T^4 \quad \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

ε … poměrná zářivost (emisivita)
– popisuje efektivitu záření z povrchu v porovnání s ideálním zářičem (0≤ε≤1)

Kirchhoffův zákon

Když na daný reálný povrch dopadá nějaká zářivá energie, část z ní může být odražena, část pohlcena a část může povrchem projít.

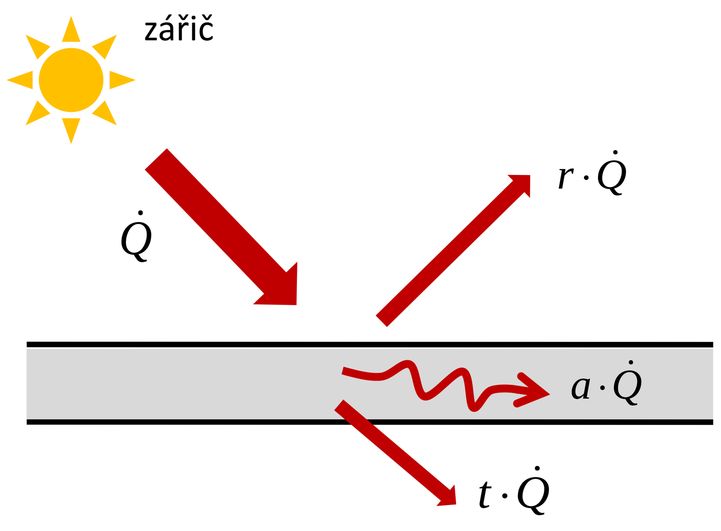
$$\dot{Q} = r\cdot\dot{Q} + a\cdot\dot{Q} + t\cdot\dot{Q}$$

$$(1 = r + a + t)$$

r … reflektance (poměrná odrazivost)
a … absorptance (poměrná pohltivost)
t … transmitance (poměrná průteplivost)

Většina pevných těles tepelné záření netransmituje; tedy platí r+a=1. U dvouatomových plynů je D=1, u víceatomových D<1. Pro **černé těleso** je a=1, tj. r=t=0. Černé těleso je tedy nejen ideální zářič, ale také ideální absorbér.
Kirchhoffův zákon definuje rovnost

$$a = \varepsilon$$



Rozdělení dopadající zářivé energie

Přenos tepla mezi černými povrchy

Pro tepelný tok přenášený mezi dvěma povrchy, které jsou obecně orientované platí vztah

$$\dot{Q}_{1-2} = S_1F_{1-2}\sigma(T_1^4 - T_2^4) = S_2F_{2-1}\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

F_{m-n} … **úhlový součinitel** - část energie, která opouští povrch m a dopadne na povrch n

$$\sum_{j=1}^{n} F_{i-j} = 1$$

Pro určení úhlových součinitelů jsou v praxi často používány grafy nebo tabulky pro různá plošná i prostorová uspořádání.

Přenos tepla zářením mezi šedými povrchy

Problematiku přenosu tepla zářením mezi šedými povrchy komplikuje fakt, že reálné povrchy tepelnou energii jednak vyzařují, ale také ji mohou pohlcovat a odrážet a to dokonce mnohonásobně.
Odvození teoretických vztahů pro tepelný tok zářením mezi šedými tělesy usnadňují formulace dvou klíčových veličin:
Iradiace, G – celkový tok energie dopadající na jednotkový povrch
Radiozita, J – celkový tok energie opouštějící jednotkový povrch

$$J = \varepsilon\cdot E_0 + r\cdot G$$

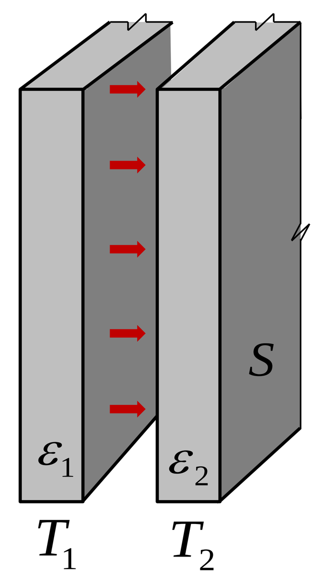
Pro přenos tepla mezi dvěma rovnoběžnými povrchy lze odvodit vztah

$$\dot{Q}_{1-2} = \frac{\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 S_1} + \frac{1}{S_1F_{1-2}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 S_2}} \qquad (1)$$

Nekonečně rozlehlé rovinné paralelní povrchy

Zde platí
S1=S2, F1-2=1
Odtud z rovnice (1) dostáváme

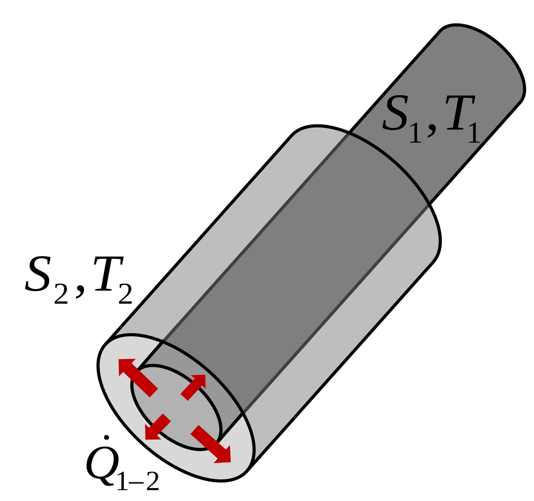
$$\dot{q}_{1-2} = \frac{\dot{Q}_{1-2}}{S} = \frac{\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$



Nekonečně dlouhé soustředné válce

Zde platí
S1≠S2, F1-2=1
Odtud z rovnice (1) dostáváme

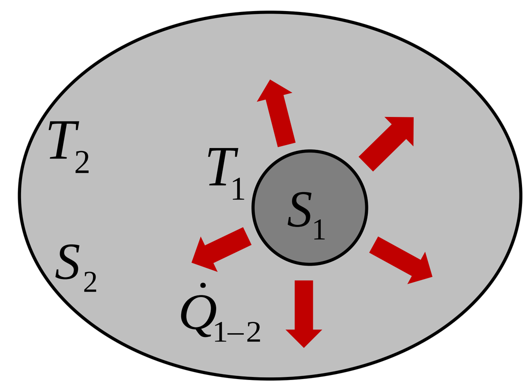
$$\dot{Q}_{1-2} = \frac{\sigma S_1\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2}\cdot\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}}$$



Jeden povrch obklopen mnohem větším povrchem

Zde platí
S1/S2→0, F1-2=1
Odtud z rovnice (1) dostáváme

$$\dot{Q}_{1-2} = S_1\varepsilon_1\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$



Autor: Ing. Stanislav Knotek

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Energetický ústav
Technická 2896/2
616 69 Brno

evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ