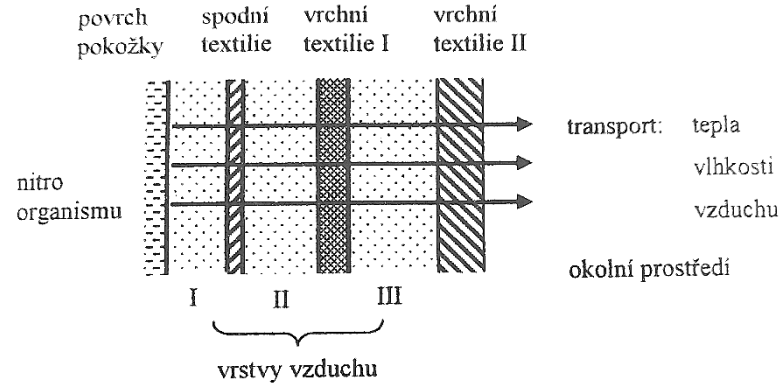




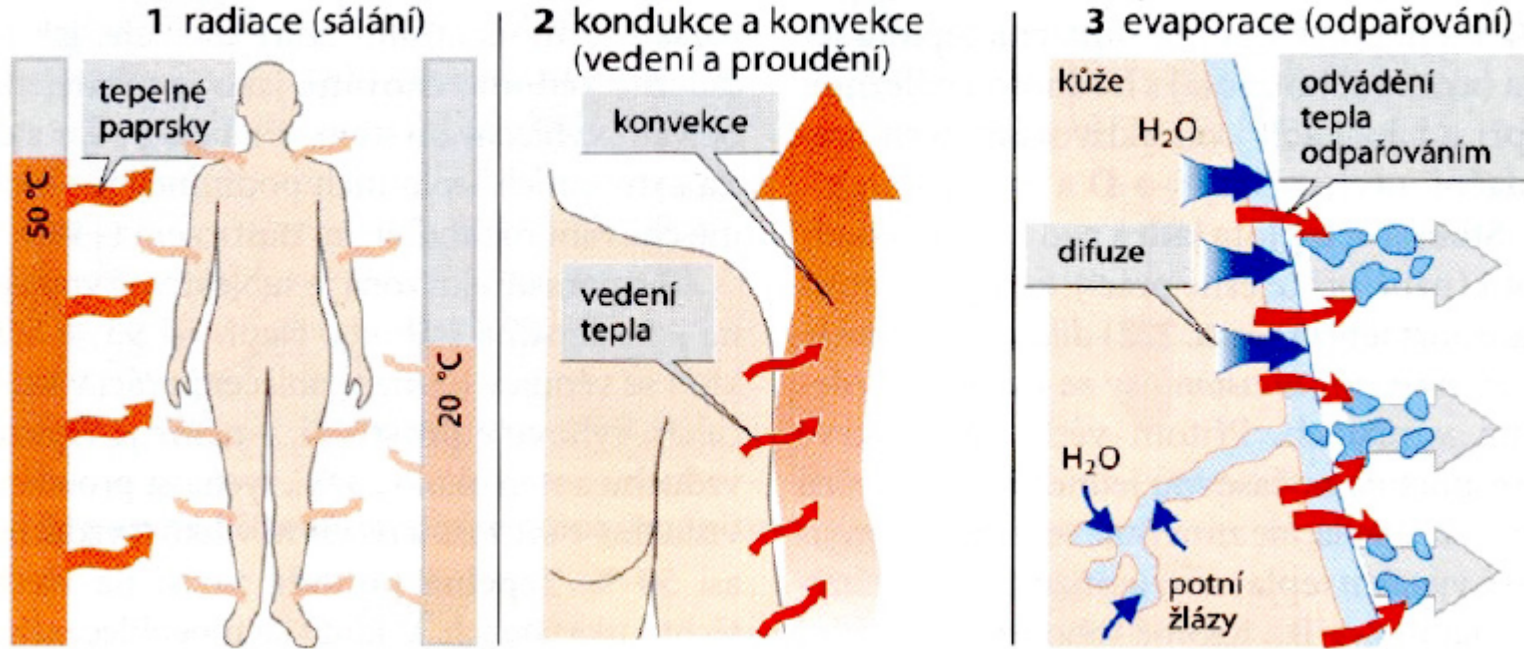
Hodnocení komfortu textilií

Přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím

- **Kondukcí**
 - **Konvekcí**
 - **Radiací**
- } Přestup Tepla
- **Evaporací** (odpařováním potu)
 - **Respirací** (dýcháním)



Přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím



Základní pojmy

Teplotní gradient - Obecně změna teploty na jednotkovou vzdálenost ve směru největších prostorových změn teploty. Například v meteorologii se užívá vertikální teplotní gradient ovzduší tj. změna teploty vzduchu na jednotku výšky.

gradT [K·m⁻¹]

Teplo = celkové množství přeneseného tepla

Q ...[J]

Tepelný tok = množství tepla [J], přenášeného za jednotku času [s].

\dot{Q} ... [W = J·s⁻¹]

Plošná hustota tepelného toku = tepelný tok vztažený na jednotku povrchu.

\dot{q} ... [W·m⁻²]

Přenos tepla Kondukcí

tepelné vodivost – λ [W. m⁻¹. K⁻¹]

= množství tepla, které za jednotku času projde jednotkou délky homogenní desky, jejíž stěny mají po celé ploše stejnou teplotu, je-li mezi nimi udržován jednotkový teplotní rozdíl

Tepelná vodivost různých materiálů se značně liší. Nejvyšší mají kovy. Klidný vzduch při teplotě 20°C má tepelnou vodivost 0,026 [W. m⁻¹. K⁻¹], zatímco vodivost vody je 0,6 [W. m⁻¹. K⁻¹], t.j. je asi 25x vyšší. Proto přítomnost vody v textiliích je nežádoucí.

Přenos tepla Kondukcí II

Fouriérův zákon

Udává vztah mezi hustotou tepelného toku a teplotním gradientem.

„Homogenní neomezenou rovinnou stěnou (jejíž povrchy jsou udržovány na rozdílných teplotách) prochází dle Fouriérova zákona tepelný tok:

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad}T = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad q = \text{tok tepla}, \lambda = \text{tepelná vodivost}$$

Kondukcí ztrácíme teplo až 5% tehdy, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Jde o přenos tepla chodidly, zadní části těla při sezení, spánku, ale vedení tepla je také hlavním mechanismus přenosu tepla v tenkých vrstvách oděvních systémech.

Přenos tepla Kondukcí III

Tepelný odpor – RCT [m². K . W⁻¹]

Velmi důležitý vztah pro hodnocení komfortu textilií

$$RCT = \frac{h}{\lambda} \quad h \text{ [mm]}$$

Teplený odpor vzduchové vrstvy v oděvu dosahuje svého maxima pro $h = 5$ [mm]. U silnějších vrstev se již významně uplatňuje volná kolekce a teplený odpor klesá.

CLO

- vedlejší jednotkou tepelného odporu

$$1 \text{ CLO} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

= průměrný tepelný odpor tzv. „Business suitu“ (pánský oděv zahrnující prádlo, košili, vestu i sako), tato hodnota platí pro teplotu 21°C, aby se daný muž cítil komfortně.

CLO

Table 1. Clo values of various clothing types

Clothing type	Clo	Clothing type	Clo	Clothing type	Clo
T-shirt	0.09	Light trousers (men)	0.26	Light sweater (men)	0.20
Briefs	0.05	Heavy trousers (men)	0.32	Heavy sweater (men)	0.37
Long underwear	0.10	Light dress (women)	0.22	Sleeveless sweater	0.17
Bra and panties	0.05	Heavy dress (women)	0.70	(women)	
Light shirt (men)		Long sleeve blouse		Long sweater (women)	0.37
short sleeve	0.14	(women)		Light jacket (men)	0.22
long sleeve	0.22	light	0.20	Heavy jacket (men)	0.49
Hat and overcoat	2.00	heavy	0.29	Light jacket (women)	0.17
Heavy shirt (men)		Light slacks (women)	0.10	Heavy jacket (women)	0.37
short sleeve	0.25	Heavy slacks (women)	0.44	Socks knee high (men)	0.10
long sleeve	0.29	Sandals	0.02	Socks any length	0.01
		Boots	0.08	(women)	

Celkový tepelný odpor oděvu

Celkový tepelný odpor oděvu – RCL [m²•K•W⁻¹]

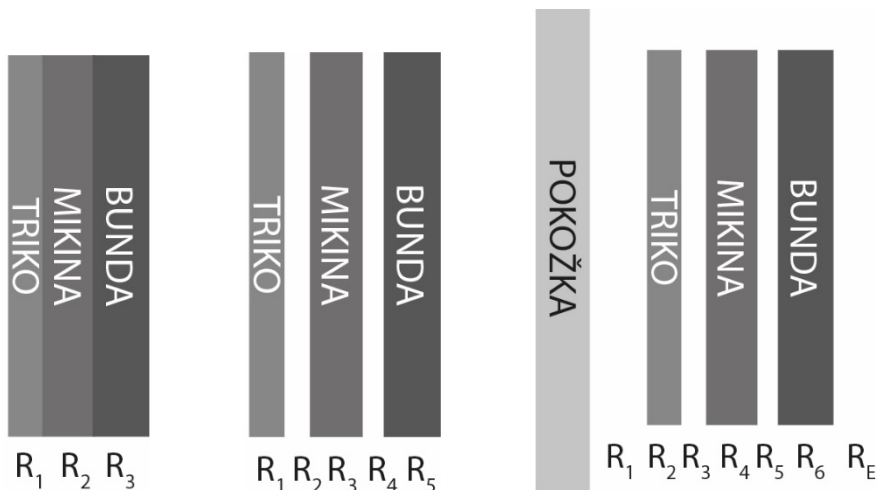
- tepelný odpor vzduchových vrstev v oděvu
- tepelný odpor oděvních vrstev

$$R_{TOT} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_E \quad RCL = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- toto však nezahrnuje tepelný odpor vnější mezní vrstvy R_E , kterou ovlivňuje konvekce

Mikroklima:

- uzavřená oblast mezi pokožkou a oděvem,
- ovlivňuje subjektivní pocity člověka,



Příklad I

Muž má na sobě mikinu a tričko. Tričko je vyrobené z polyesterového úpletu a má tloušťku 1 mm. Tepelná vodivost polyesterového úpletu byla naměřena na přístroji Alambeta a vychází $0,044 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Mikina z počesané bavlněné teplákoviny má tloušťku 2 mm a tepelnou vodivost $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Která z daných vrstev poskytne vyšší tepelnou ochranu? Pokud by mezi oběma oděvy nebyla žádná mezera, jaký by byl celkový tepelný odpor oděvního systému?

Příklad I - řešení

Muž má na sobě mikinu a tričko. Tričko je vyrobené z polyesterového úpletu a má tloušťku 1 mm. Tepelná vodivost polyesterového úpletu byla naměřena na přístroji Alambeta a vychází $0,044 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Mikina z počesané bavlněné teplákoviny má tloušťku 2 mm a tepelnou vodivost $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Která z daných vrstev poskytne vyšší tepelnou ochranu? Pokud by mezi oběma oděvy nebyla žádná mezera, jaký by byl celkový tepelný odpor oděvního systému?

$$h_1 = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0,044 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$R_1 = \frac{h}{\lambda_1} = \mathbf{0,023} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$h_2 = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$R_2 = \frac{h}{\lambda_2} = \mathbf{0,04} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{CT} = R_1 + R_2 = \mathbf{0,063} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Příklad II

Cyklista má na sobě dres z polyamidového úpletu. Jedná se o pleteninu o tloušťce 0,8 mm. Tepelná vodivost suchého dresu byla naměřena na přístroji Alambeta a vychází $0,042 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Cyklista v dresu ujel 20 km a do cíle dorazil zpocený. Tepelná vodivost vlhkého dresu se změnila na $0,063 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. O kolik % se změní tepelný komfort (tepelný odpor) vlhkého dresu oproti dresu suchému?

Příklad II - řešení

Cyklista má na sobě dres z polyamidového úpletu. Jedná se o pleteninu o tloušťce 0,8 mm. Tepelná vodivost suchého dresu byla naměřena na přístroji Alambeta a vychází 0,042 W•m⁻¹•K⁻¹. Cyklista v dresu ujel 20 km a do cíle dorazil zpocený. Tepelná vodivost vlhkého dresu se změnila na 0,063 W•m⁻¹•K⁻¹. O kolik % se změní tepelný komfort (tepelný odpor) vlhkého dresu oproti dresu suchému?

$$h_1 = 0,8 \text{ mm} = 0,0008 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0,042 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$R_1 = \frac{h}{\lambda_1} = \mathbf{0,019} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$h_2 = 0,8 \text{ mm} = 0,0008 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 0,063 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$R_2 = \frac{h}{\lambda_2} = \mathbf{0,0127} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\frac{0,019 - 0,0127}{0,019} \cdot 100 = \mathbf{33\%}$$

Příklad III

Běžec má na sobě dres z polyesterového úpletu. Jedná se o pleteninu o tloušťce 0,5 mm. Tepelná vodivost suchého dresu byla naměřena na přístroji Alambeta a vychází $32 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. muž uběhl 10 km a do cíle dorazil zpocený. Tepelná vodivost vlhkého dresu se změnila na $64 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Jaký bude tepelný odpor suchého i vlhkého dresu?

Příklad III - řešení

Běžec má na sobě dres z polyesterového úpletu. Jedná se o pleteninu o tloušťce 0,5 mm. Tepelná vodivost suchého dresu byla naměřena na přístroji Alambeta a vychází $32 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. muž uběhl 10 km a do cíle dorazil zpocený. Tepelná vodivost vlhkého dresu se změnila na $64 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Jaký bude tepelný odpor suchého i vlhkého dresu?

$$h_1 = 0,5 \text{ mm} = 0,0005 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 32 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 0,032 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$R_1 = \frac{h}{\lambda_1} = \mathbf{0,016} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 64 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 0,064 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$R_2 = \frac{h}{\lambda_2} = \mathbf{0,008} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Příklad IV

Jakou tloušťku bude mít textilie, která má tepelnou vodivost $40 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

A tepelný odpor $0,016 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$?

Příklad IV - řešení

Jakou tloušťku bude mít textilie, která má tepelnou vodivost $40 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

A tepelný odpor $0,016 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$?

$$R = 0,016 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\lambda_1 = 40 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 0,040 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$h = R \cdot \lambda_1 = 0,00064 \text{ m} = \mathbf{0,64 \text{ mm}}$$

Přenos tepla Konvekcí

Konvekce představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím. T

Teplo je transportováno částicemi tekutin pohybující se rychlostí v [m/s].

Mezi objektem a proudícím prostředím vzniká tzv. „**Tepelná mezní vrstva**“ o tloušťce δ .

V mezní vrstvě se realizuje tzv. „**Teplotní spád**“.

Přenos tepla Konvekcí II

Tepelný tok \dot{q} přenášený prouděním vyjadřuje **Newtonův zákon**.

$$\dot{q} = \alpha \cdot (T_1 - T_2)$$

α ... koeficient přestupu tepla [**W·m⁻²·K⁻¹**]

Volná konvekce – způsobena rozdílnými teplotami (nízká α)

Nucená konvekce – vnější činitel - vzniká pomocí ventilátoru, atd...

$$\alpha = 2,38 (T_1 - T_2)^{0,25} \quad \text{pro volnou konvekci}$$

$$\alpha = 8,3 v^{0,5} \quad \text{při vyšších rychlostech proudění}$$

Teplotní spád při přestupu tepla prouděním uvnitř tepelné mezní vrstvy je důsledkem tzv. **vnějšího tepelného**

odporu mezní vrstvy = R_E , který musí být zahrnut do **celkového tepelného odporu** R_{TOT}

$$R_E = \frac{1}{\alpha}$$

Přenos tepla Konvekcí III

Tloušťka tepelné vrstvy je vyšší při laminárním proudění tekutiny δ , a klesá v případě proudění turbulentního, kdy trajektorie drah jednotlivých částic nezachovávají svůj původní směr a vzájemně se mísí. Přejít na laminární a turbulentní proudění je definované bezrozměrným vztahem (Reynoldsovo číslo Re)

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

v ... střední rychlost proudění [$m \cdot s^{-1}$], ν ... kinematická viskozita [$m^2 \cdot s^{-1}$]

L ... charakteristický rozměr [m] (vodorovné desky = kratší strana, vodorovné trubky = průměr, pro svislé stěny a trubky = výška)

Přenos tepla Konvekcí IV

- **určující** (obsahují nezávisle proměnné veličiny - fyzikální, geom., ...)
- **určované** (obsahují jednu závisle proměnnou, např. α)

Grashofovo číslo – pro volnou konvekci $Gr = \frac{g \cdot L \cdot \beta \cdot \Delta T}{v^2}$

Reynoldosovo číslo – pro nucenou konvekci $Re = \frac{v \cdot L}{\vartheta}$

g ... gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

β teplotní objemová roztažnost [K^{-1}] (převrácená hodnota střední teploty)

λ ... součinitel tepelné vodivosti $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Příklad I

Určete režim proudění vzduchu v úzké vodorovné trubce o průměru 4 cm a délce 0,2 m. Střední rychlost proudění je $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$L = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$\vartheta = 1,532 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = 0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$Re = \frac{v \cdot L}{\vartheta} = \frac{0,7 \cdot 0,04}{1,532 \cdot 10^{-5}} = \underline{1827,68}$$

Pro vodorovné trubky platí hodnota $Re_K = 2320$. Námi spočítaná hodnota Re je nižší ($1827,7 < 2320$). Režim proudění je tedy laminární.

Příklad II

Určete režim proudění vzduchu v úzké vodorovné trubce o průměru 4 cm a délce 0,2 m. Střední rychlost proudění je $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$L = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$\vartheta = 1,532 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = 0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

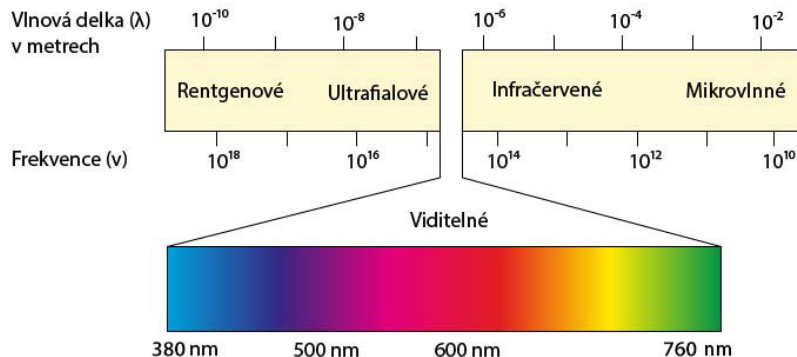
$$Re = \frac{v \cdot L}{\vartheta} = \frac{0,7 \cdot 0,04}{1,532 \cdot 10^{-5}} = \underline{1827,68}$$

Pro vodorovné trubky platí hodnota $Re_K = 2320$. Námi spočítaná hodnota Re je nižší ($1827,7 < 2320$). Režim proudění je tedy laminární.

Přenos tepla radiací

- v oděvních systémech se část tepla přenáší i zářením.
- záření představuje elektromagnetické vlnění šířící se prostorem o rychlosti $c = 300\,000\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s frekvencí záření f [s^{-1}]

$$f = \frac{c}{\lambda}$$



- přenos tepla se uskutečňuje prostřednictvím elektromagnetického vlnění, které vzniká v důsledku tepelného stavu těles. Při dopadu nebo při průchodu jinými tělesy se mění zpět část zářivé energie na energii tepelnou.

Přenos tepla radiací II

- na povrch země dopadá ultrafialové záření UVA (320 – 400 nm) a UVB (280 – 320 nm), infračervené paprsky a viditelné světlo.
- nejškodlivější záření o vlnové délce pod 240 nm je absorbováno kyslíkem, ozon absorbuje záření v rozmezí 230 – 290 nm.

Při dopadu záření na povrch může dojít k ODRAZU, POHLCENÍ
či PRŮCHODU záření skrz objekt.
(reflektance, absorbtance a transmitance)

Energetická bilance: $E = E_{\rho} + E_{\alpha} + E_{\tau}$

$E_{\rho, \alpha, \tau}$... hustota zářivého toku

$\rho = 1$... dokonale lesklé těleso - vše odrazí

$\alpha = 1$... dokonale černé těleso - vše pohltí

$\tau = 1$... dokonale průhledné těleso - vše propouští

Přenos tepla radiací III

1. Kirhoffův zákon: jednotlivé složky udávají poměry záření

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Dokonale černé těleso = těleso, které dokonale pohlcuje i dokonale vyzařuje záření.

2. Kirhoffův zákon:

„Objekt je tak dokonalým zářičem, jak dovede záření pohlcovat a proto $\epsilon = \alpha$.“

Emisivita = absorbanace

<https://www.youtube.com/watch?v=FCilegKS8Dw>

Přenos tepla radiací IV

Emisivita reálného černého tělesa je vždy nižší než emisivita absolutně černého tělesa

Obvykle se pohybuje v rozmezí 0.95 až 0.99

Emisivita = poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa se stejnou teplotou

- určuje schopnost tělesa vyzařovat teplo
- je to bezrozměrná veličina
- je závislá na vlnové délce



Děkuji za pozornost

Jméno Příjmení

Pozice

+420 000 000 000

jmeno.prijmeni@tul.cz