

*Technické minimum*

***TERMOMECHANIKA 3***

## 3. Termokinetika

- Predmet, základné pojmy
- Prenos tepla vedením
  - Rovinná stena
  - Rovinná stena s viacerými vrstvami
  - Valcová stena
  - Valcová stena s viacerými vrstvami
- Prechod tepla cez stenu z prvého prostredia do druhého
- Výmenníky tepla

# TERMOKINETIKA

## PREDMET, ZÁKLADNÉ POJMY

---

- termokinetika sa zaoberá procesmi prenosu a výmeny energie medzi termodynamickými systémami, ktoré sa dejú pri rôznej teplote
- základ pre výpočet a konštrukciu tepelných výmenníkov ako napr. kotly, ohrievače, chladiče...
- prenos energie medzi systémami sa uskutočňuje nosičmi energie a smeruje vždy k menšej objemovej hustote energie (teplote)
- výsledný prenos energie sa uskutočňuje hustotou toku energie (merným tokom energie), čo je vektorová veličina udávajúca množstvo energie prechádzajúce jednotkou plochy povrchu za jednotku času v určitom smere
- hustota tepelného toku (merný tok energie) sa označuje „ $\dot{q}$ “ a má rozmer  $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$

# TERMOKINETIKA

## PREDMET, ZÁKLADNÉ POJMY

- prenos tepla v čase a priestore sa uskutočňuje tromi spôsobmi:
  - vedením (kondukciou)
  - prúdením (konvekciou)
  - sálaním (tepelným žiarením, radiáciou)

spôsob prenosu	fyzikálna podstata	podmienka prenosu tepla
<i>vedenie</i> – <b>kondukcia</b>	mikropohyb molekúl	tuhý materiál a teplotný rozdiel
<b>prúdenie</b> – <i>konvekcia</i>	makropohyb prúdiacej tekutiny	teplotný rozdiel medzi stenou a prúdiacou tekutinou
<i>sálanie</i> – <b>radiácia</b>	elektromagnetické vlnenie	priepustnosť (preteplivosť prostredia); šíri sa aj bez teplotného rozdielu a vo vákuu

# TERMOKINETIKA

## PRENOS TEPLA VEDENÍM

---

- v pevných telesách, ale i kvapalných a plynných látkach, ktoré sú v klúde alebo laminárnom pohybe, dochádza k prenosu energie vedením tepla, teda pomocou priameho styku mikročastíc
- pri tekutinách je možné dosiahnuť prenos tepla čisto vedením len vo veľmi tenkých vrstvách, ktoré nedovolia premiešanie tekutiny
- základný zákon vedenia tepla je Fourierov zákon

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

- tento zákon vyjadruje skutočnosť, že vektor hustoty tepelného toku „ $\dot{q}$ “ je úmerný tepelnej vodivosti „ $\lambda$ “ a gradientu teploty „ $T$ “,
- záporné znamienko znamená, že teplo sa šíri z miesta s vyššou teplotou k chladnejšiemu miestu, kým gradient má opačný smer (gradácia – stupňovanie, vzostup).

# TERMOKINETIKA

## PRENOS TEPLA VEDENÍM

---

### súčiniteľ tepelnej vodivosti „ $\lambda$ “ [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

- súčiniteľ tepelnej vodivosti sa dá charakterizovať pomocou kinetickej teórie látok
- z kinetickej teórie látok možno udať súvislosti pre tepelnú vodivosť a dynamickú viskozitu
- hlavná veličina ovplyvňujúca tepelnú vodivosť a dynamickú viskozitu je teplota
- plyny:
  - so znižovaním teploty tepelná vodivosť klesá
  - súčiniteľ tepelnej vodivosti pre plyny leží v intervale 0,006-0,6 [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

# TERMOKINETIKA

## PRENOS TEPLA VEDENÍM

---

- kvapaliny:
  - tepelná vodivosť kvapalín v porovnaní s plynmi je značne vyššia,
  - so znižovaním teploty pri väčšine kvapalín stúpa tepelná vodivosť,
  - výnimku tvorí glycerín, kde so znižovaním teploty tepelná vodivosť klesá
  - voda sa chová anomálne, po určitú hodnotu tepelná vodivosť s teplotou rastie a potom klesá (priebeh cca. parabolický)
  - súčiniteľ tepelnej vodivosti pre kvapaliny leží v intervale  $0,09-0,7 \text{ [W.m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
- tuhé látky:
  - tepelná vodivosť tuhých látok je závislá od štruktúry látky (kovy, polovodiče, izolátory, pórovité látky ...)
  - podľa štruktúry sa vedenie tepla uskutočňuje rôznymi nosičmi kmitavým pohybom častíc a ich súborov, elektrónmi, fotónmi a pod.
  - v kovoch sa proces vedenia tepla uskutočňuje predovšetkým voľnými elektrónmi

# TERMOKINETIKA

## PRENOS TEPLA VEDENÍM

---

- tuhé látky:
  - pomer tepelnej a elektrickej vodivosti je pri danej teplote u rôznych kovov konštantný
  - súčiniteľ tepelnej vodivosti pre kovy sa pohybuje v rozmedzí 2,4-420 [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]
  - u väčšiny kovov sa so stúpajúcou teplotou znižuje tepelná vodivosť a zvyšuje sa elektrický odpor
  - prísady všetkých druhov prudko znižujú tepelnú vodivosť
  - pri zliatinách stúpaním teploty tepelná vodivosť rastie
  - pri kryštalických telesách sa tepelná vodivosť uskutočňuje pružným kmitaním jednotlivých atómových súborov a pri vysokých teplotách sa k nim pridáva i sálanie, čím sa často dosiahnu hodnoty tepelnej vodivosti porovnateľné s kovmi
  - pri pórovitých materiáloch je tepelná vodivosť zložitý proces, mimo iného je ovplyvnená i tekutinou nachádzajúcou sa v póroch (vlhkosť zvyšuje tepelnú vodivosť)



# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### ROVINNÁ STENA (PLATŇA)

- uvažuje sa s homogénnou, izotropnou stenou z látky, ktorej fyzikálne parametre  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $c$  sú konštantné
- za týchto predpokladov je teplota steny  $T_s$  na jednej strane rovnaká „ $T_{s1}$ “ a teplota steny na druhej strane „ $T_{s2}$ “ je tiež rovnaká
- hrúbka steny „ $\delta$ “ (v smere osi  $x$ ) je oveľa menšia ako jej dĺžka resp. výška (rozmery platne v smere osi  $y$  a  $z$  sú nekonečne veľké)
- jedná sa o jednorozmerný tok tepla s okrajovými podmienkami prvého druhu
- zmena teploty v smere osi  $x$  je lineárna a daná rovnicou:

$$T = T_{s1} - \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\delta} \cdot x$$

- pre hustotu tepelného toku platí:

$$\dot{q} = -\lambda \nabla T = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (T_{s1} - T_{s2}) = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\delta / \lambda}$$

# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### ROVINNÁ STENA (PLATŇA)

- predchádzajúca rovnica je základným vzťahom pre výpočet prietoku tepla rovinnou stenou; obsahuje 4 veličiny,  $\lambda$ ,  $\Delta T$ ,  $\delta$ ; ak sú známe tri veličiny podľa nasledujúcich vzťahov je možné dopočítať štvrtú:

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta T \quad * \quad \Delta T = \frac{\dot{q} \cdot \delta}{\lambda} \quad * \quad \delta = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{\dot{q}} \quad * \quad \lambda = \frac{\dot{q} \cdot \delta}{\Delta T}$$

kde

$\lambda/\delta$	<i>tepelná vodivosť steny</i>	[ W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$\delta/\lambda$	<i>tepelný odpor steny</i>	[ K.m <sup>2</sup> .W <sup>-1</sup> ]

- tepelný tok „ $\dot{Q}$ “ rovinnou stenou s plochou „ $S$ “ sa vypočíta zo vzťahu:

$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot S = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta T \cdot S$$

# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### ROVINNÁ STENA (PLATŇA)

- ak koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$  nie je konštantný, ale je funkciou teploty napr. lineárnou:

$$\lambda_t = \lambda_0 \cdot (1 + C \cdot t) \quad [ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} ]$$

- potom sa stredná hodnota tepelnej vodivosti vypočíta nasledovne:

$$\lambda_{str} = \frac{1}{t_{s1} - t_{s2}} \cdot \int_{t_{s1}}^{t_{s2}} \lambda_t dt = \lambda_0 \cdot \left( 1 + C \cdot \frac{t_{s1} + t_{s2}}{2} \right)$$

- hustota tepelného toku je daná rovnicou:

$$\dot{q} = \frac{\lambda_{str}}{\delta} \cdot (t_{s1} - t_{s2})$$

- zmena teploty v smere osi x je popísaná nasledujúcou rovnicou:

$$t = \sqrt{\left( t_{s1} + \frac{1}{C} \right)^2 - \frac{2 \cdot q \cdot x}{C \cdot \lambda_0}} - \frac{1}{C}$$

# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### ROVINNÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

- vedenie stenou s viacerými vrstvami v praxi často stretávame - napr. steny kotlov, priemyselných pecí a pod. pozostávajúce z ohňovzdorného muriva, izolácie ...
- predpokladom je stena zložená z troch rôznorodých vrstiev s hrúbkami  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  s koeficientmi tepelnej vodivosti  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ktoré na seba tesne priliehajú
- okrajová podmienka je daná vonkajšou a vnútornou teplotou stien  $T_{s1}$ ,  $T_{s4}$
- vnútorné teploty  $T_{s2}$  a  $T_{s3}$  sú spravidla neznáme
- pri stacionárnom toku tepla je hustota tepelného toku „ $\dot{q}$ “ konštantná a má istú absolútnu hodnotu i smer pre všetky vrstvy
- pre každú vrstvu platí:

$$\dot{q} = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot (T_{s1} - T_{s2}) * \dot{q} = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot (T_{s2} - T_{s3}) * \dot{q} = \frac{\lambda_3}{\delta_3} \cdot (T_{s3} - T_{s4})$$

# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### ROVINNÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

- súčet čiastkových teplotných spádov v jednotlivých vrstvách dá potom celkový teplotný spád v celej stene:

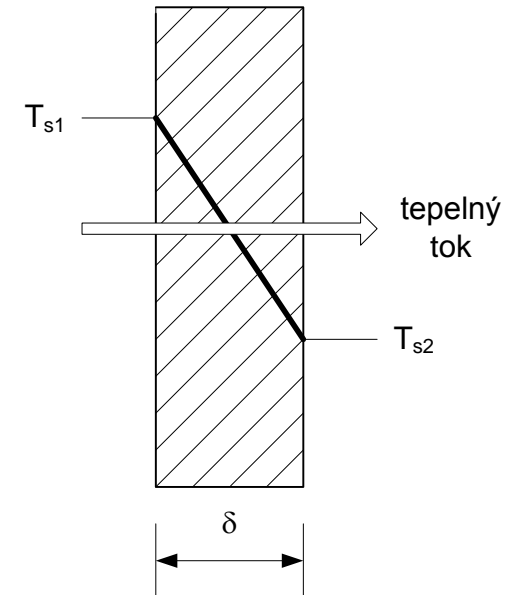
$$T_{s1} - T_{s4} = \dot{q} \cdot \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$$

- z čoho je možné vypočítať hustotu tepelného toku:

$$\dot{q} = \frac{T_{s1} - T_{s4}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

- pre hustotu tepelného toku pre stenu s „n“ vrstvami platí:

$$\dot{q} = \frac{T_{s1} - T_{s(n+1)}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$



# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### ROVINNÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

- celkový tepelný odpor zloženej steny sa rovná súčtu čiastkových (parciálnych) tepelných odporov jednotlivých stien
- pomocou tohto pravidla sa môže vzťah pre výpočet hustoty tepelného toku zloženej steny zjednodušiť zavedením pojmu „ekvivalentného koeficientu tepelnej vodivosti „ $\lambda_{ekv}$ “ a celkovej hrúbky steny:

$$\lambda_{ekv} = \frac{\delta}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}$$

- pri viacvrstvovej rovinatej stene je tepelný tok „ $\dot{Q}$ “ v stacionárnom stave rovnaký,
- tepelné odpory „ $R_i$ “

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i \cdot S_i}$$

[K.W<sup>-1</sup>]

sa zaraďujú sériovo za sebou.

# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### ROVINNÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

- tepelný tok sa počíta podľa nasledujúcej rovnice:

$$\dot{Q} = \frac{T_{s1} - T_{s(n+1)}}{\sum_{i=1}^{i\ddot{n}} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \cdot S = \frac{\Delta T_s}{\sum_{i=1}^{i\ddot{n}} R_i} \quad [\text{W}]$$

- poradie vrstiev nevplyva na veľkosť tepelného toku „ $\dot{Q}$ “, ale teploty  $T_{s2}$  až  $T_{sn}$  na rozhraní vrstiev sa menia podľa usporiadania.
- pre všetky predchádzajúce rovnice platí podmienka dokonalého styku medzi jednotlivými vrstvami, čo v praxi spravidla nie je ten prípad, preto treba pri výpočtoch brať do úvahy kvalitu dokonalosti styku vrstiev.
- pri počítaní tepelného toku „ $\dot{Q}$ “ pre paralelné steny platí analogicky ako v elektrotechnike alebo hydraulike paralelné radenie odporov:

$$\dot{Q} = \Delta T_s \cdot \sum_{i=1}^{i\ddot{n}} \frac{\lambda_i \cdot S_i}{\delta_i} = \Delta T_s \cdot \sum_{i=1}^{i\ddot{n}} \frac{1}{R_i} \quad [\text{W}]$$

# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

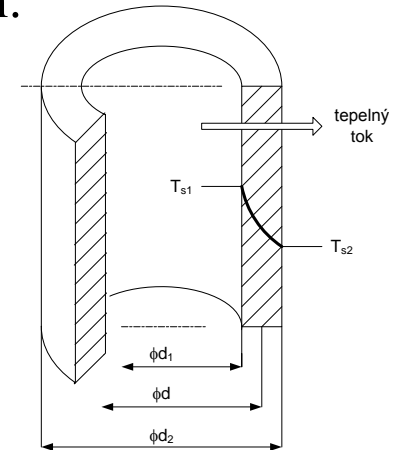
## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### VALCOVÁ STENA

- uvažuje sa s homogénnou, izotropnou valcovou stenou dĺžky „L“, s vnútorným polomerom „ $r_1$ “ a vonkajším polomerom „ $r_2$ “,  $L > r_2$
- teploty povrchov sú konštantné  $T_{s1}$  (vnútorná teplota)  $>$   $T_{s2}$  (vonkajšia teplota)
- pri stacionárnom toku tepla sú plochy s rovnakou teplotou (izotermické) súosé valcové plochy so spoločnou osou „z“
- po dosadení okrajových podmienok do Fourierovho zákona platí pre hustotu tepelného toku na 1 m dĺžky valca „L“ nasledujúci vzťah:

$$\dot{q}_1 = \frac{\dot{Q}}{L} = \frac{2\pi \cdot \lambda \cdot \Delta T}{\ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

- výraz v menovateli je tepelný odpor 1 m dĺžky rúrky a  $\Delta T$  je tzv. hnacia sila procesu





# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

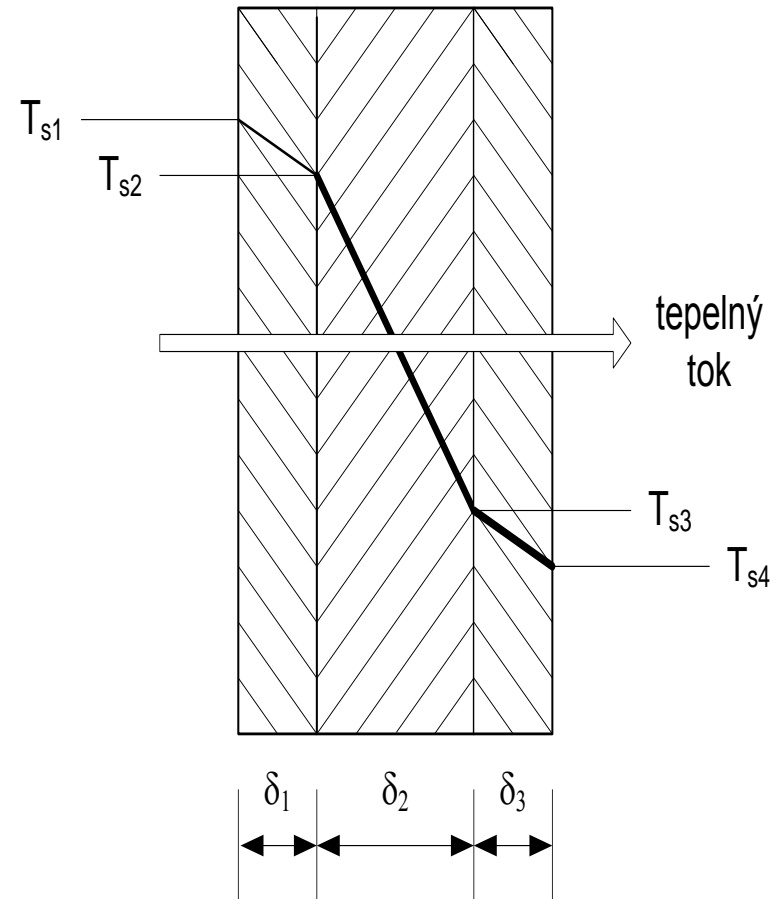
## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### VALCOVÁ STENA ZLOŽENÁ S VIACERÝCH VRSTIEV

- predpokladá sa valcová stena zložená z troch vrstiev
- známe sú okrajové podmienky teploty  $T_{s1}$  a  $T_{s4}$
- tepelný tok vzťahnutý na jednotku dĺžky valca je rovnaký v každej vrstve
- potom pre jednotlivé vrstvy platí:

$$\dot{q}_L = \frac{2\pi \cdot (T_{s1} - T_{s2})}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad \dot{q}_L = \frac{2\pi \cdot (T_{s2} - T_{s3})}{\frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}}$$

$$\dot{q}_L = \frac{2\pi \cdot (T_{s3} - T_{s4})}{\frac{1}{\lambda_3} \cdot \ln \frac{d_4}{d_3}}$$



# TERMOKINETIKA - PRENOS TEPLA VEDENÍM

## STACIONÁRNE VEDENIE TEPLA BEZ VNÚTORNÝCH ZDROJOV TEPLA

### VALCOVÁ STENA ZLOŽENÁ S VIACERÝCH VRSTIEV

- hustota tepelného toku na valci s rastúcim priemerom klesá a preto je výhodnejšie počítať dĺžkovú (lineárnu) hustotu tepelného toku „L“, čiže tepelný tok cez valec (rúrku) dlhý 1 m,
- podobným postupom ako u plochých stien t.j. elimináciou teplotných spádov a súčtom rovníc dostaneme hustotu tepelného toku na jednotku dĺžky valca:

$$\dot{q}_L = \frac{2\pi \cdot (T_{s1} - T_{s4})}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \cdot \ln \frac{d_4}{d_3}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}]$$

- tepelný tok vzťahnutý na jednotku dĺžky valca zloženého z „n“ vrstiev dostaneme podobným spôsobom:

$$\dot{q}_L = \frac{[T_{s1} - T_{s(n+1)}]}{\frac{1}{2\pi} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{(i+1)}}{d_i}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}]$$

- výraz v menovateli je celkový tepelný odpor všetkých vrstiev na 1 m dĺžky

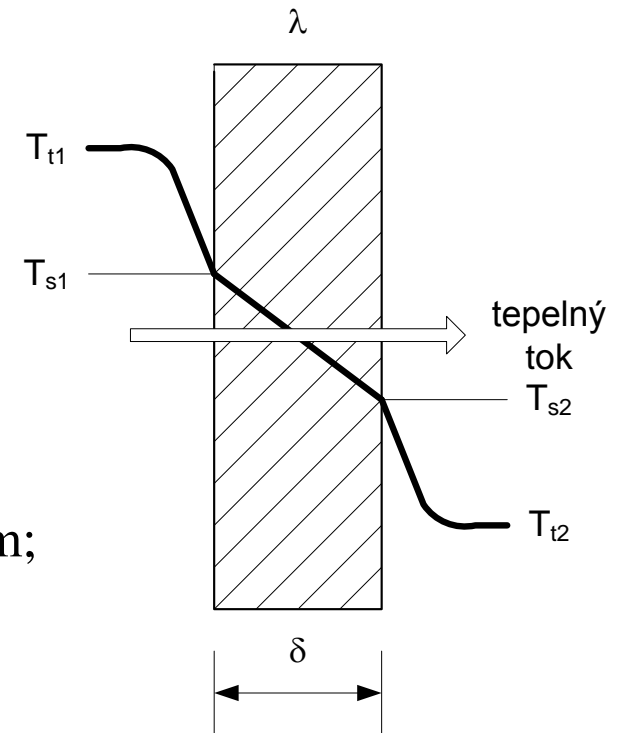
# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO ROVINNÁ STENA

- predpokladá sa, že teploty tekutín z oboch strán steny  $T_{t1}$  a  $T_{t2}$  a súčinitele prestupu tepla konvekciou sú známe,
- teploty stien  $T_{s1}$  a  $T_{s2}$  sú neznáme,
- teplo prechádza cez tri odpory:
  - z teplejšieho prostredia do steny
  - cez stenu
  - zo steny do chladnejšieho prostredia

- teplo na styku prostredí so stenami sa prenáša najmä konvekciou a žiarením, cez stenu vedením; takýto kombinovaný dej sa potom nazýva **prechod tepla**,

- *prestup tepla je všeobecný pojem na prenos tepelnej energie,*



# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO ROVINNÁ STENA

- pre prestup tepla konvekciou z oboch strán stien platí rovnica:

$$\dot{q} = \alpha_1 \cdot (T_{t1} - T_{s1}) = \frac{T_{t1} - T_{s1}}{\frac{1}{\alpha_1}} \quad [\text{W.m}^{-2}]$$
$$\dot{q} = \alpha_2 \cdot (T_{s2} - T_{t2}) = \frac{T_{s2} - T_{t2}}{\frac{1}{\alpha_2}}$$

### súčiniteľ prestupu tepla „ $\alpha$ “ [ $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ]

- zahŕňa súčiniteľa prestupu tepla konvekciou a sálaním

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s$$

# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO ROVINNÁ STENA

- výrazy  $1/\alpha_1$  a  $1/\alpha_2$  predstavujú tepelné odpory proti konvekčii (predstava odporu medznej vrstvy pri stene),
- pri podmienke ustálenosti procesu možno pre hustotu tepelného toku prechádzajúceho stenou použiť rovnicu:

$$\dot{q} = \frac{T_{t1} - T_{t2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} = \frac{\text{hnacia sila}}{\text{suma odporov}}$$

- vzťah je opäť daný pomerom hnacej sily a sumy odporov proti hustote tepelného toku, neznáme teploty stien sa vypočítajú z hustoty tepelného toku,

**súčiniteľ prechodu tepla „k“ [W]**

- suma odporov pri prechode tepla

$$k = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} \right)^{-1}$$

# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO ROVINNÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

- hustota tepelného toku cez stenu je:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S} = k \cdot (T_1 - T_2) = k \cdot \Delta T \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

- súčiniteľ prechodu tepla rovinatej steny zloženej z „n“ vrstiev:

$$k = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

- jeho recipročná hodnota je celkový tepelný odpor steny

$$R_T = \frac{1}{k} = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

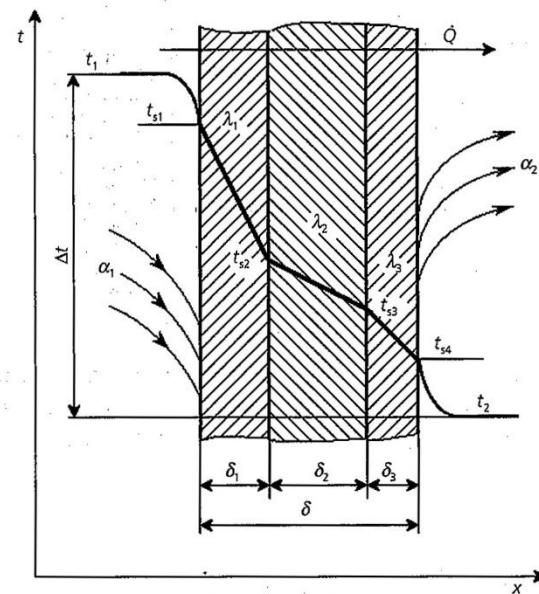
# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO ROVINNÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

- povrchové teploty steny sa môžu určiť z týchto rovníc

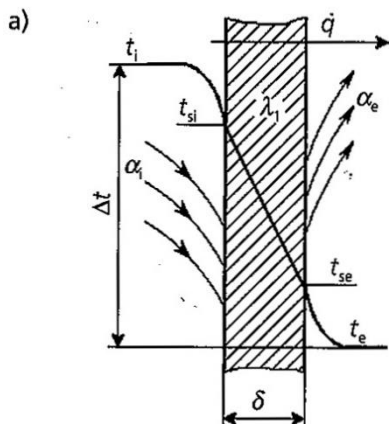
$$T_{s1} = T_1 - \frac{\dot{Q}}{\alpha_1 \cdot S} = T_1 - \frac{\dot{q}}{\alpha_1} = T_1 - \frac{k}{\alpha_1} (T_1 - T_2)$$

$$T_{s2} = T_2 + \frac{\dot{Q}}{\alpha_2 \cdot S} = T_2 + \frac{\dot{q}}{\alpha_2} = T_2 + \frac{k}{\alpha_2} (T_1 - T_2)$$

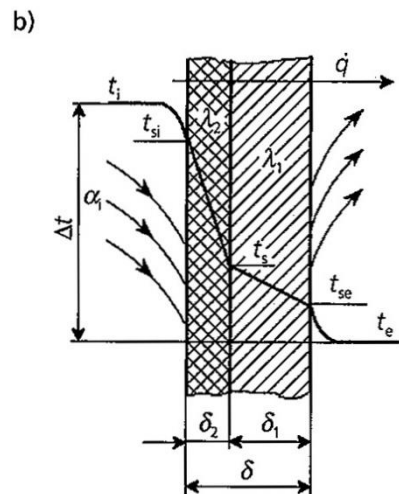


# TERMOKINETIKA

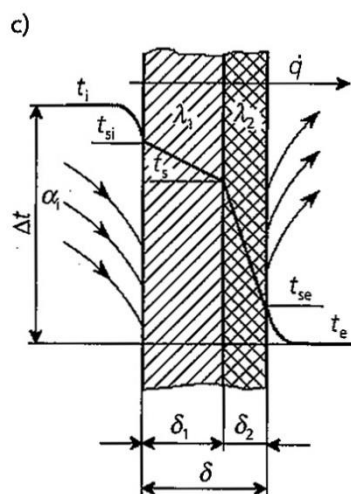
## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO ROVINNÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI



a) priebeh teploty v tepelne neizolovanej stene



b) priebeh teploty pri umiestnení izolácie z vnútornej steny



c) priebeh teploty pri umiestnení izolácie z vonkajšej steny budovy



# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO VALCOVÁ STENA

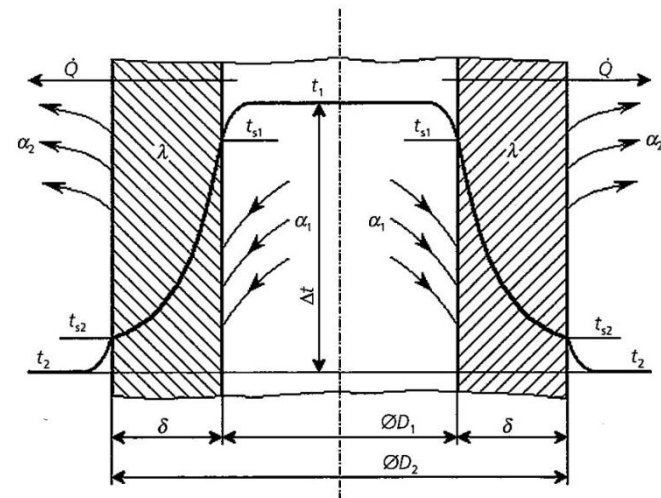
- pri ustálenom prechode tepla cez valcovú stenu s tepelnou vodivosťou  $\lambda$  sú všetky koncentrické valcové plochy v stene s plochou  $S = \pi \cdot d \cdot L$  izotermické
- tepelný tok cez stenu, na ktorej povrchoch sú súčinitele  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  vyjadruje rovnica

$$\dot{Q} = \pi \cdot k_l \cdot L \cdot (T_1 - T_2)$$

lineárny súčiniteľ prechodu tepla „ $k_l$ “ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$$k_l = \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2} \right)^{-1}$$

- vyjadruje tepelný tok, ktorý prechádza cez stenu dutého valca s dĺžkou 1 m pri rozdiel teplot tekutín 1 K



# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO VALCOVÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

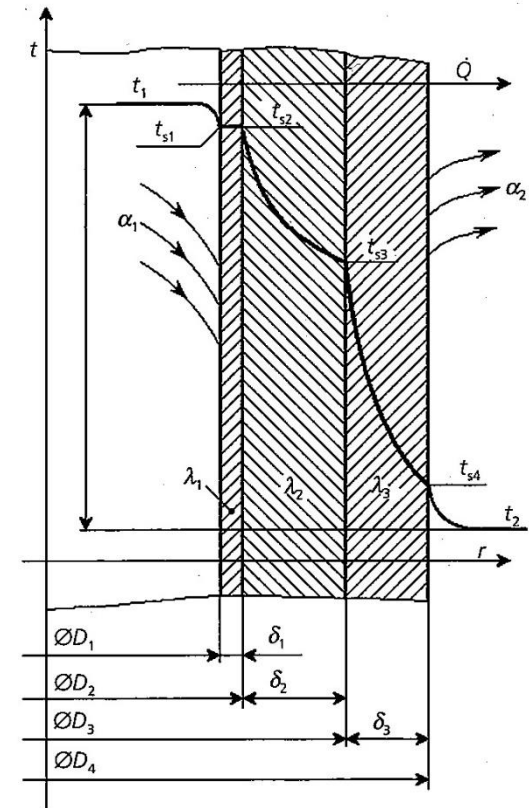
- pri stene zloženej z „n“ vrstiev je lineárny súčiniteľ prechodu tepla popísaný rovnicou

$$k_l = \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}} \right)^{-1}$$

celkový lineárny tepelný odpor valcovej steny

$$R_{Tl} = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}}$$

[m.K.W<sup>-1</sup>]



# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO VALCOVÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

---

- lineárna hustota tepelného toku je tepelný tok ktorý prechádza cez koncentrickú valcovú stenu s dĺžkou 1 m:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{L} = \pi \cdot k_l \cdot (T_1 - T_2) = \frac{\pi \cdot (T_1 - T_2)}{R_{Tl}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}]$$

- hustoty tepelného toku na vnútornom a vonkajšom povrchu valcovej steny:

$$\dot{q}_1 = \frac{\dot{Q}}{\pi \cdot d_1 \cdot L} = \frac{k_l}{d_1} \cdot (T_1 - T_2) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$\dot{q}_2 = \frac{\dot{Q}}{\pi \cdot d_2 \cdot L} = \frac{k_l}{d_2} \cdot (T_1 - T_2)$$

# TERMOKINETIKA

## PRECHOD TEPLA CEZ STENU Z PRVÉHO PROSTREDIA DO DRUHÉHO VALCOVÁ STENA S VIACERÝMI VRSTVAMI

- teplotné rozdiely medzi tekutinami a príslušnými povrchmi steny, teploty vnútorného a vonkajšieho povrchu steny a teploty v styku jednotlivých vrstiev možno vyjadriť vzťahmi

$$\Delta T_1 = \frac{\dot{Q}}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot L} = \frac{\dot{q}_l}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1} = \frac{\dot{q}_1}{\alpha_1} = \frac{k_l}{\alpha_1 \cdot d_1} \cdot (T_1 - T_2) \quad [\text{K}]$$

$$\Delta T_2 = \frac{\dot{Q}}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_{n+1} \cdot L} = \frac{\dot{q}_l}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_{n+1}} = \frac{\dot{q}_2}{\alpha_2} = \frac{k_l}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}} \cdot (T_1 - T_2)$$

$$T_{s1} = T_1 - \Delta T_1 \quad T_{s2} = T_{s1} - \frac{\dot{q}_l}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}$$

$$T_{s3} = T_{s2} - \frac{\dot{q}_l}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_{21}} \quad T_{s(i+1)} = T_1 - \frac{\dot{q}_l}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right)$$

# TERMOKINETIKA

## VÝMENNÍKY TEPLA

---

- zariadenia slúžiace na sprostredkovanie prestupu tepla medzi dvoma, prípade i viac látkami sa nazývajú **výmenníky tepla**,
- sú základnými jednotkami rozmanitých variantov teplo-výmenných systémov, využívaných vo výrobnnej i nevýrobnej sfére,
- rozlišujú sa podľa:
  - účelu použitia sa rozlišujú (napr. ohrievač, kondenzátor, výparník),
  - hlavnej pracovnej látky (napr. chladič oleja, ...)
  - teplo-výmenného povrchu alebo spôsobu konštrukčného riešenia (napr. rúrkový ohrievač, lamelový chladič),
  - charakteru prestupu tepla (napr. zmiešavací kondenzátor, radiačný rekuperátor).

# TERMOKINETIKA

## VÝMENNÍKY TEPLA

---

- výmenníky tepla sa rozdeľujú na:
  - **kontaktné výmenníky**, pri ktorých prestup tepla prebieha pri bezprostrednom styku teplo-výmenných látok,
  - **povrchové výmenníky** (rekuperátory), vyznačujúce sa tým, že pracovné látky, medzi ktorými sa odovzdáva teplo, oddeľuje pevná stena elementov tvoriacich teplo-výmenný povrch,
  - **regeneračné výmenníky** (regenerátory), pri ktorých je prestup tepla medzi dvoma hlavnými látkami sprostredkovaný treťou teplonosnou látkou (prostredníkom), ktorá akumuluje teplo prijaté od teplejšej látky a odovzdáva ho chladnejšej
- z hľadiska prívodu tepla z ohrievajúcej látky na ohrievanú sa rozlišuje ohrev:
  - priamy,
  - nepriamy

# TERMOKINETIKA

## VÝMENNÍKY TEPLA – NEPRIAMY OHREV

- v prípade nepriameho ohrevu sú obe tekutiny od seba oddelené tuhú stenou (teplo-výmennou plochou) výmenníka,
- v krátkom prehľade sú uvedené základné vzťahy pre výpočet takých zariadení na výmenu tepla, kde je sledovaná kvapalina ohrievaná alebo chladená bez toho, aby menila svoje skupenstvo, pričom prestup tepla je ustálený (stacionárny),
- zvyčajným cieľom výpočtu výmenníkov tepla je určenie teplo-výmennej plochy (počtu rúrok, dosák a pod), tento údaj ďalej slúži ako podklad pre konštrukčné usporiadanie výmenníka,
- plocha sa vypočíta zo vzťahu:

$$A = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T_s}$$

$A$	teplo-výmenná plocha	$[\text{m}^2]$
$\dot{Q}$	tepelný tok	$[\text{W}]$
$k$	súčiniteľ prestupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$\Delta T_s$	stredná teplotná diferencia	$[\text{W}]$

# TERMOKINETIKA

## VÝMENNÍKY TEPLA – NEPRIAMY OHREV

---

- tepelný tok „ $Q$ “ pre výmenník so známou teplo-výmennou plochou „ $A$ “ sa vypočíta zo vzťahu

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

- stredná teplotná diferencia v rovnici „ $\Delta T_s$ “ môže byť definovaná niekoľkými spôsobmi, najpoužívanejšia je aritmetická teplotná diferencia „ $T_{ar}$ “ a logaritmická teplotná diferencia „ $T_{ln}$ “
- na obr. je znázornený priebeh teplôt pozdĺž teplovýmennej plochy jednoduchého výmenníka,
- prúdenie po oboch stranách plochy výmenníka pri suprúdnom usporiadaní so vstupnými teplotami  $T_1$  ;  $T_1'$  a výstupnými teplotami  $T_2$  ;  $T_2'$ ,



# TERMOKINETIKA

## VÝMENNÍKY TEPLA – NEPRIAMY OHREV

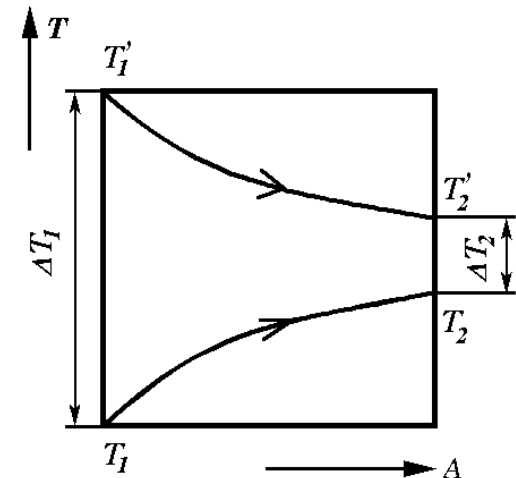
- stredná aritmetická teplotná diferencia  $\Delta T_{ar}$  je definovaná vzťahom

$$\Delta T_{ar} = \frac{1}{2} \cdot (\Delta T_1 + \Delta T_2)$$

- stredná logaritmická teplotná diferencia  $\Delta T_{ln}$  je definovaná vzťahom

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

- súčiniteľ prechodu tepla „k“ sa vypočíta napr. podľa rovníc pre rovinnú stenu



# ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

---

- [1] Székyová, Ferstl, Nový: Vetranie a klimatizácia, JAGA, Bratislava, 2004
- [2] Procesné strojníctvo II