

TERMIKA II

- Šíření tepla vedením, prouděním a zářením;
- Stacionární vedení s dokonalou i nedokonalou izolací;
- Nestacionární vedení tepla;
- Obecná rovnice vedení tepla;
- Přestup a prostup tepla;

Šíření tepla vedením, prouděním a zářením

!!! **Přenos tepla:** je předávání části energie (\Leftarrow I. P.T.).

!!! **Směr přenosu tepla:** teplejší \mapsto studenějšímu (\Leftarrow II. P.T.).

- ⊗ Šíření vedením (kondukcí): Přenos tepla mezi látkami které jsou v přímém kontaktu. Systémy jsou makroskopicky v klidu, nositelem jsou např. kmity krystalové mříže (**šíří se rychlostí zvuku**).
- ⊗ Šíření prouděním (konvekcí): Makroskopický pohyb látky, např. v tekutinách či plynech.
- ⊗ Šíření zářením (radiací): Není vázáno na látku, nositelem jsou elektromagnetické vlny (**šíří se rychlostí světla**).

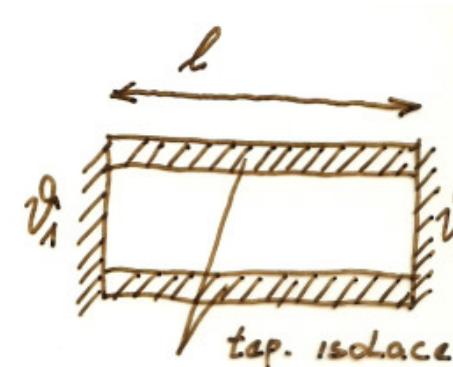
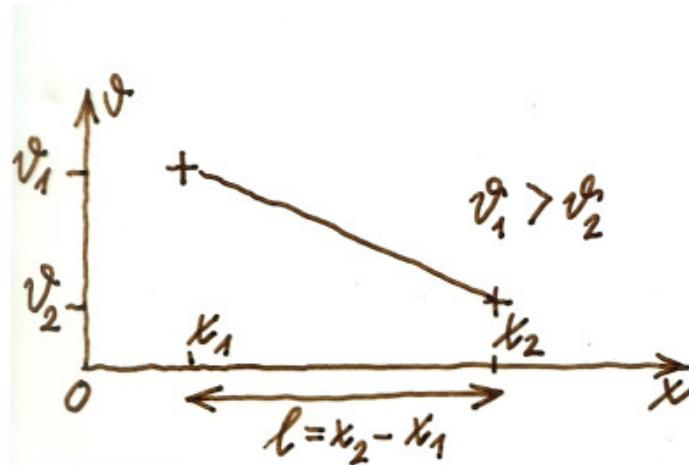
Stacionární vedení tepla s dokonalou i nedokonalou izolací

⊗ Stacionární (ustálené) vedení tepla: Teplota soustavy je funkcí místa, t.j., $\vartheta = \vartheta(x)$, ale né času.

Pozn: ⊗ Nestacionární (neustálené) vedení tepla: $\vartheta = \vartheta(x, t)$.
⊗ Tepelná rovnováha (termicky homogenní soustava): $\vartheta = \text{const.}$

A : Jednorozměrné ustálené vedení tepla v homogenním prostředí

a) Dokonalá tepelná izolace \Rightarrow lineární pokles ϑ .



Teplo prošlé libovolným kolmým průřezem S za dobu t je

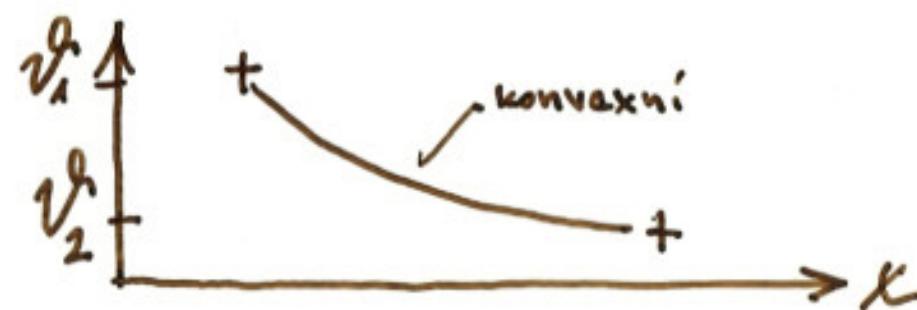
$$Q = \lambda S \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{l} t$$

S je plocha, λ je součinitel tepelné vodivosti a

$$\frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{l} = \frac{-\Delta\vartheta}{l}$$

je spád teploty

b) Nedokonalá tepelná izolace = únik tepla \Rightarrow nelineární pokles ϑ .



!!! Definujme hustotu tepelného toku $\vec{\varphi}$ tj., množství tepla které projde za $1s$ jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření tepla, tj.:

$$[\varphi] = [Q/(tS)] = [\lambda(\vartheta_1 - \vartheta_2)/l]$$

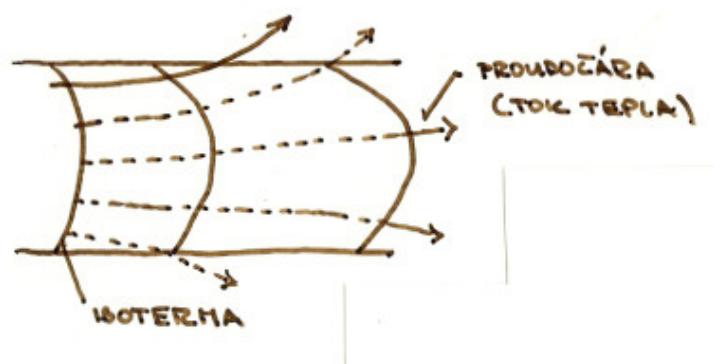
\Rightarrow Pokud tloušťku vrstvy (např. délku tyče) zmenšíme na dx , bude tepelný tok $\varphi = -\lambda \frac{d\vartheta}{dx}$

\Rightarrow Tepelný tok v obecně dim. homogenním a izotropním prostředí je

$$\vec{\varphi} \equiv \varphi = -\lambda \operatorname{grad}\vartheta = -\lambda \nabla \vartheta$$

↑ Fourierův zákon vedení tepla.

Pozn.: Srovnejte se vztahem $E = -\operatorname{grad}\varphi \Rightarrow$ ekvipotenciály \leftrightarrow izotermy; $E \leftrightarrow \varphi$



\mathcal{B} : Neustálené vedení tepla

Nyní $\vartheta = \vartheta(x, t)$. Obklopme vyšetřovaný bod malou uzavřenou ploškou S . Za dt projde elementem dS teplo

$$dQ = \varphi \cdot dS dt = -\lambda \operatorname{grad} \vartheta \cdot dS dt$$



\Rightarrow Celkem vyproudí

$$Q_1 = - \oint_{(S)} \lambda \operatorname{grad} \vartheta \cdot dS dt \stackrel{G. \equiv O.}{=} - \int_{(V)} \lambda \operatorname{div} \operatorname{grad} \vartheta dt dV = - \int_{(V)} \lambda \nabla^2 \vartheta dt dV$$

I : Uvnitř V nejsou zdroje tepla \Rightarrow jen únik tepla \Rightarrow pokles teploty $-d\vartheta$.

Označíme-li měrnou tepelnou kapacitu daného objemu jako $c \Rightarrow$ ztráta tepla díky poklesu teploty je

$$Q_2 = - \int_{(V)} c dm d\vartheta = - \int_{(V)} c \varrho d\vartheta dV$$

$$\begin{aligned}
 \text{ZZE:} \quad & \Rightarrow Q_1 = Q_2 \\
 & \Rightarrow c\varrho d\vartheta = \lambda \nabla^2 \vartheta dt \\
 & \Rightarrow \partial\vartheta(x, t)/\partial t = (\lambda/c\varrho) \Delta\vartheta \\
 & \Rightarrow a\Delta\vartheta(x, t) - \frac{\partial\vartheta(x, t)}{\partial t} = 0
 \end{aligned}$$

$a = \lambda/c\varrho$ je součinitel teplotní vodivosti.

Poslední rovnice vyjadřuje zákon nestacionárního vedení tepla v homogenním izotropním prostředí bez tepelných zdrojů -

rovnice vedení tepla nebo také difuzní rovnice

II : Uvnitř V jsou zdroje tepla \Rightarrow produkce tepla Q_p

Jestliže produkované teplo má jistý měrný tepelný výkon P_ϑ (tj., energii produkovanou v objemu $V = 1\text{m}^3$ za 1s) \Rightarrow

$$Q_p = \int_{(V)} P_\vartheta \, dt \, dV = Q_V + Q_\vartheta$$

$$Q_V = - \int_{(V)} \lambda \nabla^2 \vartheta \, dt \, dV; \quad Q_\vartheta = \int_{(V)} c \varrho \, d\vartheta \, dV$$

Q_V odpovídá teplu které opustí V (tj., < 0);

Q_ϑ odpovídá teplu které je zodpovědné za zvýšení teploty ve V (tj., > 0)

\Rightarrow

$$a \Delta \vartheta(x, t) - \frac{\partial \vartheta(x, t)}{\partial t} + \frac{P_\vartheta}{c \varrho} = 0$$

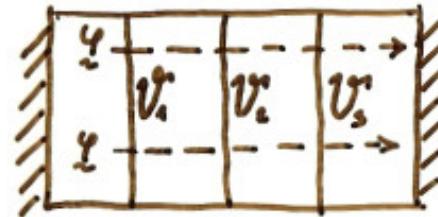
Toto je obecná rovnice vedení tepla v homogenním izotropním prostředí.

Pozn.I: Není-li teplota funkcí času $\Rightarrow \nabla^2\vartheta = const.$ (= **Poissonova rovnice**) je analogem rovnice pro výpočet elektrostatického potenciálu v přítomnosti el. nábojů $\nabla^2\varphi = -\rho_e/\epsilon_0$

Není-li ani zdroj tepelné energie $\Rightarrow \nabla^2\vartheta = 0$ (= **Laplaceova rovnice**), opět analogie s elektrostatikou

Pozn.II: Pro lineární funkci: $\vartheta(x, t) = k \cdot x \Rightarrow$ stacionární případ s dokončalou izolací $\Rightarrow dQ_1 = -\lambda(\nabla\vartheta) \cdot dS dt = -\lambda k \cdot dS dt \Rightarrow \varphi = -\lambda k = const.$

$$\vartheta(x, t) = kx_1 \Rightarrow$$



Pozn.III: Pokud prostředí není izotropní (tj., směrově nezávislé) λ není obecně skalár, ale tenzor $\Rightarrow \lambda(\nabla\vartheta) \cdot dS \mapsto \lambda^{ij}(\nabla\vartheta)_i \cdot dS_j$

Pokud λ není konstantní, ale mění se skokem \Rightarrow **přestup tepla**, např. přestup tepla vrstvou.

Šíření tepla prouděním

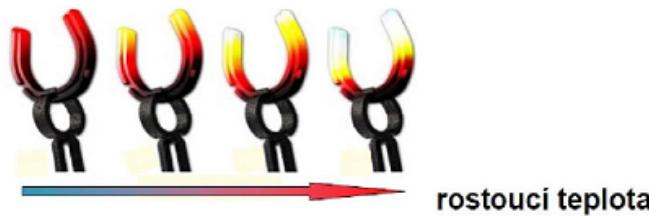
Probíhá v tekutinách a plynech či plazmatu a odpovídá makroskopickému transportu látky \Rightarrow hustota látky se mění v závislosti na lokálních teplotních gradientech. **Nedá se popsat rovnící pro vedení tepla !!!**

Musí se používat rovnice pro proudění kontinua (např. **Navier–Stokesova rovnice** v tekutinách) či různé transportní rovnice (např. **Vlasovova** či **Balescuova** rovnice ve fyzice plazmatu)

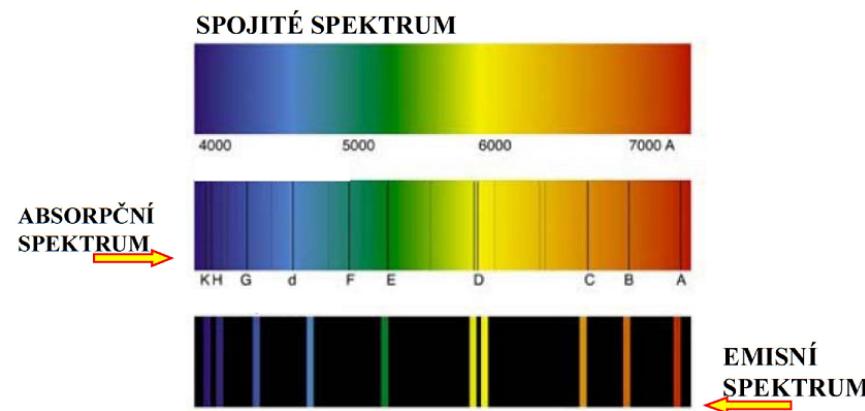
Šíření tepla zářením

- ⊗ Energie se šíří ve formě **elektromagnetického záření (fotony)**.
- ⊗ Přenos tepla probíhá i ve **vakuu**.
- ⊗ **Všechny** zahřáté látky vyzařují elektromagnetické záření (důsledkem oscilací elektronů v atomech)

- ⊗ Při nižších teplotách (cca do 500°C) je toto záření **infračervené** ($\lambda = 10^{-4} - 10^{-6} m$)
- ⊗ Vyzařování je **závislé na teplotě** tělesa



- ⊗ Každé těleso také **pohlcuje** elektromagnetické záření
- ⊗ **Spektrum** teplotního záření pevných látek a kapalných látek je **spojité**



Přestup a prostup tepla

- ⊗ Přestup tepla: přenos tepla mezi dvěma navzájem sousedícími prostředími.
- ⊗ Prostup tepla: přenos tepla mezi dvěma prostředími která jsou oddělena dělící vrstvou z jiného materiálu.

Základní veličiny:

- a) Koeficient přestupu tepla: α je definován jako:

$$\alpha = \frac{\varphi}{\vartheta_1 - \vartheta'_1}$$

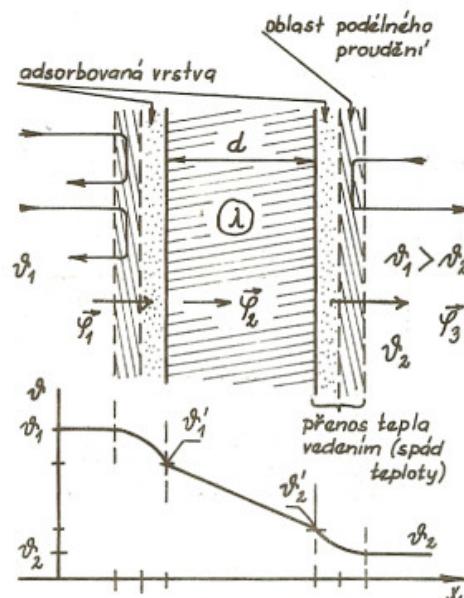
φ je hustota tepelného toku jdoucího rozhraním,
 ϑ_1 je teplota na rozhraní a ϑ'_1 je teplota uvnitř. $\vartheta_1 > \vartheta'_1$

a) Koeficient prostupu tepla: k je definován jako:

$$k = \frac{\varphi}{\vartheta_1 - \vartheta_2}$$

φ je hustota tepelného toku jdoucího rozhraním,
 ϑ_1 je teplota před vstupem do oddělujícího materiálu
 ϑ_2 je teplota po výstupu z oddělujícího materiálu. $\vartheta_1 > \vartheta_2$

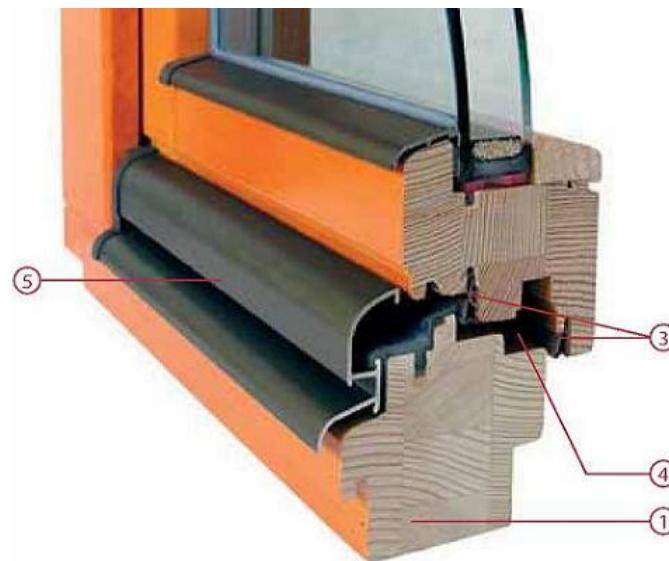
DÚ: Dokažte že při ustáleném proudění s dokonalou izolací platí



$$\Rightarrow \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Note: Koeficient prostupu tepla se také běžne značí jako U .

Note: Protože U uvádí kolik tepelné energie (ve Wattech) za sekundu unikne při teplotním rozdílu $1C$ na obou stranách materiálu jedním m^2 , je tím méně tepelných ztrát, čím je tato hodnota nižší \Rightarrow úspora financí.



DÚ: Identifikujte prostupy a přestupy tepla.

EUROOKNA IV 78



- 1) materiál: lepený eurohranol délkově napojený -**CINK** (SMRK) / bez délkového napojení - FIX (smrk, Meranti)
- 2) zasklení izolačním dvojsklem 6-20-4 mm s tepelným plastovým rámečkem TGI
 - součinitel prostupu tepla skla $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
 - tepelná prostupnost celého okna $U_w = 1,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
 - vzduchová neprozvučnost $Rw = 36 \text{ dB}$
- 3) dvojí těsnění (středové přítlačné těsnění, přídavné protihlukové a protiprachové těsnění 2/3 těsnění)
- 4) celoobvodové kování **MACO MULTI TREND** s mikroventilací
- 5) Termookapnice **ISAR** z eloxovaného hliníku s PVC pro zamezení vzniku tepelných mostů
 - příčky: meziskelní, oboustranně nalepovací a sklodělící
- 6) povrchová úprava tří a čtyř vrstvé (akrylátové, vodou ředitelné ekologické krycí laky)
 - u tohoto profilu je možná varianta s trojsklem!!!
 - vhodné pro nízkoenergetické objekty

Profil	Součinitel prostupu tepla sklem. Dle typu izolačního skla	Tepelná prostupnost celého okna
IV 78	6 - 20 - 4 mm Izolační dvojsklo Argon, $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	součinitel prostupu tepla $U_w = 1,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
	4 - 12 - 4 - 12 - 4 mm Izolační trojsklo Argon, $U_g = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	součinitel prostupu tepla $U_w = 1,02 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
	4 - 10 - 4 - 10 - 4 mm Izolační trojsklo Argon, $U_g = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	součinitel prostupu tepla $U_w = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

DÚ: Jsou uvedené 3 hodnoty pro U_g vzájemně konzistentní ?