

z ktorej vyplýva, že hustota tepelného toku je :

$$i = \frac{t_0 - t_n}{\sum \frac{d_k}{\lambda_k}}$$

takže celkový tepelný tok je :

$$I = iS = \frac{t_0 - t_n}{\frac{1}{S} \sum \frac{d_k}{\lambda_k}} = \frac{t_0 - t_n}{\sum \frac{1}{\lambda_k} \frac{d_k}{S}}$$

Teploty na rozhraní jednotlivých vrstiev možno vypočítať postupne pomocou rovníc (a). Pre teplotu t_1 vychádza napríklad :

$$t_1 = t_0 - i \frac{d_1}{\lambda_1} = t_0 - (t_0 - t_n) \frac{d_1/\lambda_1}{\sum d_k/\lambda_k}$$

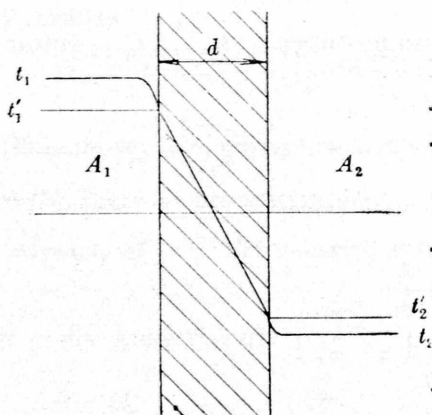
Veličina $\sum \frac{1}{\lambda_k} \frac{d_k}{S}$ sa nazýva *tepelným odporom vrstvy*.

11.4. Prenos tepla prúdením, prestup tepla. V predchádzajúcom článku sme sa zaoberali vedením tepla v telesách rôznych skupenstiev, pričom o kvapalinách a plynoch sme predpokladali, že ich objemové elementy pri vedení tepla ostávajú v pokoji. V skutočnosti, ak teplota v kvapaline alebo plyne nie je všade rovnaká, v dôsledku závislosti ich mernej hmotnosti od teploty, môže byť v nich porušená aj mechanická rovnováha. Tak dochádza v kvapalinách alebo v plynoch, ktoré ohrievame zdola, k *prúdeniu*, pri ktorom dolné teplejšie, a preto aj špecificky ľahšie časti si ustavične vymieňajú miesto s vyššie položenými chladnejšími, a preto špecificky ťažšími. Je zrejmé, že pri takomto pohybe, ktorý — keď treba — môže byť pomocou miešačiek, čerpadiel alebo

ventilátorov aj *umele* udržiavaný, prechádza teplo z miest teplejších na miesta chladnejšie vo väčšej miere než v prípade, keď teplo je len vedené a nie aj prenášané.

Na prenose tepla prúdením sa zakladá ústredné vykurovanie budov, pri ktorom sa teplo prenáša teplou vodou, prehriatou vodnou parou alebo horúcim vzduchom.

Prenos tepla prúdením sa uplatňuje aj pri tzv. prestupe tepla cez rozhranie, ktoré oddeľuje pevnú látku od kvapaliny alebo plynu. Majme na mysli prechod tepla cez pevnú stenu hrúbky d a špecifickej tepelnej vodivosti λ , ktorá od-



Obr. 11.5

deluje napríklad dva rôzne plyny A_1 a A_2 s teplotami t_1 a t_2 , $t_1 > t_2$ (obr. 11.5). Pretože v plynoch (a podobne aj v kvapalinách) sa teploty rýchle vyrovnávajú prúdením, môžeme predpokladať, že teploty v obidvoch plynoch aj v malých vzdialenostiach od steny sú všade rovnaké. Na povrchu pevného telesa je však tenká vrstva stlačeného plynu, vytvorená tam adsorpciou. Okrem toho v dôsledku vnútorného trenia prúdenie plynu v malej vzdialenosti od pevnej steny je laminárne, pri ktorom prúdnice sú so stenou rovnobežné. Pretože v obidvoch týchto vrstvách — v nepohyblivej vrstve adsorbovanej aj vo vrstve, v ktorej prúdenie plynu je laminárne — prechod tepla sa uskutočňuje len vedením, je v týchto vrstvách pomerne veľký spád teploty, takže sa teplota pozdĺž priamky, ktorá je na stenu kolmá, mení spôsobom vyznačeným na obr. 11.5.

Ak je teplota plynu alebo kvapaliny t a teplota povrchu pevnej steny t' , pre hustotu tepelného toku vstupujúceho do steny podľa skúseností môžeme písať:

$$i = \alpha(t - t') \quad (1)$$

Konštanta úmernosti α sa v tomto vzťahu volá *súčiniteľ prestupu tepla*. Nie je to však látková konštanta v pravom slova zmysle, lebo jej hodnota závisí nielen od kvality stykajúcich sa látok, ale aj od drsnosti povrchu pevnej steny a od toho, či plyn alebo kvapalina je v pokoji alebo či sa pohybuje.

Podľa toho, čo sme práve povedali, hustota i ustáleného prechodu tepla cez pevnú stenu, keď teploty na povrchu steny sú t'_1 a t'_2 , spĺňa rovnice

$$i = \alpha_1(t_1 - t'_1) = \lambda \frac{t'_1 - t'_2}{d} = \alpha_2(t'_2 - t_2)$$

z ktorých vyplývajú rovnice

$$t_1 - t'_1 = i \frac{1}{\alpha_1}$$

$$t'_1 - t'_2 = i \frac{d}{\lambda}$$

$$t'_2 - t_2 = i \frac{1}{\alpha_2}$$

Ich sčítaním dostávame :

$$t_1 - t_2 = i \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

takže hustota prúdenia tepla cez stenu je :

$$i = k(t_1 - t_2) \quad (2)$$

pričom konštantu úmernosti k je určená vzorcom

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3)$$

a nazýva sa koeficient prechodu tepla stenou.

Je zrejmé, že keby sa stena skladala z niekoľkých pevných vrstiev, bol by správny vzorec

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (4)$$

V sústave SI sa koeficient prechodu tepla vyjadruje v $\text{cal/m}^2 \text{ s} \cdot \text{deg}$, avšak v technickej praxi obyčajne v $\text{kcal/m}^2\text{h} \cdot \text{deg} = \frac{1}{3,6} \text{cal/m}^2 \text{ s} \cdot \text{deg}$.

Úloha 1. Vypočítame hustotu tepelného toku znútra miestnosti, kde je teplota $t_1 = 20^\circ\text{C}$, do vonkajšieho priestoru s teplotou -20°C , cez tehlovú stenu hrúbky $d_1 = 36 \text{ cm}$, s betónovým obložením hrúbky $d_2 = 13 \text{ cm}$, keď priemerná tepelná vodivosť tehál je $\lambda_1 = 0,4$, betónu $\lambda_2 = 0,95 \text{ kcal/mh} \cdot \text{deg}$ a koeficienty prestupu tepla sú: vo vnútri miestnosti $\alpha_1 = 5$ a na vonkajšej strane (v dôsledku voľného prúdenia vzduchu) $\alpha_2 = 15 \text{ kcal/m}^2\text{h} \cdot \text{deg}$.

Riešenie: Koeficient prechodu k je určený rovnicou

$$\frac{1}{k} = \left(\frac{1}{5} + \frac{0,36}{0,4} + \frac{0,13}{0,95} + \frac{1}{15} \right) = 1,304 \frac{\text{m}^2\text{h} \cdot \text{deg}}{\text{kcal}}$$

takže

$$k = \frac{1}{1,304} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h} \cdot \text{deg}} = 0,767 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h} \cdot \text{deg}}$$

Pre hustotu prechodu tepla dostávame teda:

$$i = k(t_1 - t_2) = 0,767 \cdot 40 = 30,7 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$$

11.5. Zdroje tepla. Prirodzeným a veľmi mohutným zdrojom skoro všetkej energie, ktorá udržuje teplotu zemského povrchu na jej dnešnej priemernej výške, je Slnko. Slnko zo svojho povrchu vysiela stále ohromnú energiu v podobe žiarenia. Intenzita tohto žiarenia v priemernej vzdialenosti Zeme od Slnka je tzv. *solárna konštantu*, pre ktorú Abbot a Fowle (1912) podľa svojich meraní našli hodnotu $s = 1,93 \text{ cal/min} \cdot \text{cm}^2$. Teplo, ktoré v skutočnosti dopadá na zemský povrch, je však asi o 40 % menšie v dôsledku absorpcie v ovzduší. Podľa toho celý povrch Zeme prijíma od Slnka za každú minútu asi $2,5 \cdot 10^{18} \text{ cal}$, pričom je to — vzhľadom na veľkú vzdialenosť Zeme od Slnka — len veľmi malé percento slnečného žiarenia, vysiellaného na všetky strany do svetového priestoru.