



8 Transportné javy

- **Ciele:**
- Vymenovať a charakterizovať transportné javy.
- Vymenovať 3 spôsoby prenosu tepla. Napísať Fourierov vzťah opisujúci prenos tepla vedením. Definovať hustotu tepelného toku.
- Definovať difúziu, priemernú a lokálnu koncentráciu ako aj hustotu difúzneho toku.
- Formulovať 1. Fickov zákon.

Transportné javy

System molekúl (pevná látka, kvapalina, plyn)

Rovnovážny stav

- kvázistatické procesy
- **teplota** je v celom systéme rovnaká
- ostatné veličiny nadobúdajú rovnovážne hodnoty

Nerovnovážny stav

- niektoré parametre systému sa líšia od rovnovážnych hodnôt
- silné polia, príliš veľký prítok energie ap.
- systém má tendenciu zaujať rovnovážny stav – **transportné (prenosové) javy**
- môže existovať aj nepretržite.

Transportné javy

Za jasných nocí je chladnejšie ako za zamračených...

- a) Aké transportné javy poznáme? K prenosu čoho pri nich dochádza?
- b) Definujte vnútornú energiu. Čo je tepelná výmena? Dokedy prebieha?
- c) Aké sú typy prenosu tepla? Charakterizujte každý typ.
- d) Napíšte Fourierov vzťah na výpočet tepla vedením. Definujte hustotu tepelného toku. Vysvetlite význam, teplotného gradientu.
- e) Charakterizujte tepelné vodiče a izolanty a uveďte k nim príklady.
- f) Prečo je za jasných nocí chladnejšie ako za zamračených nocí? Prečo sa vykurovacie zariadenia montujú pri podlahe a nie pri strome? O aký typ tepelnej výmeny v tomto prípade ide?
- g) Aký je rozdiel medzi prirodzenou a nútenou konvekciou? Uveďte príklady.

Transportné javy

- **Difúzia**
- prenos látky
- **Viskozita**
- prenos hybnosti
- **Prenos tepla**
- prenos energie
- **Prenos elektrického náboja**

Prenos tepla

Vedenie

(kondukcia)

Prúdenie

(konvekcia)

Žiarenie

(radiácia)

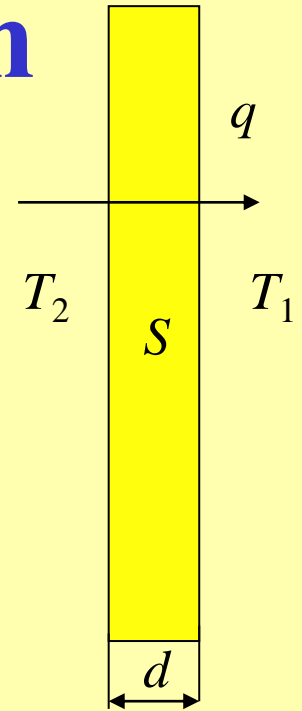


Obr. 8.1 Prúdenie, vedenie a žiarenie (orbispictus.sk, 2019).

Transport tepla vedením

- **Fouriérov vzt'ah:**

$$Q = - \lambda \cdot S \frac{T_2 - T_1}{d} t$$

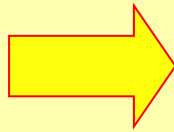


- Q odvedené teplo (J)
- λ koeficient tepelnej vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
- S plocha (m^2)
- $T_2 - T_1$ rozdiel teplôt (K)
- d dĺžka telesa (m)
- t čas (s)

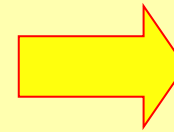
Hustota tepelného toku
($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

$$q = \frac{Q}{S \cdot t}$$

$$q = \frac{Q}{S \cdot t}$$

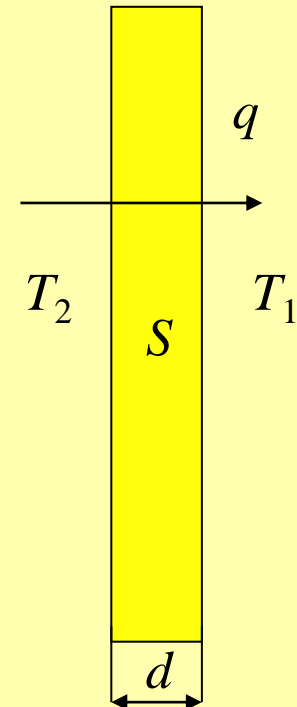


$$q = \frac{-\lambda \cdot S \frac{T_2 - T_1}{d} t}{S \cdot t}$$



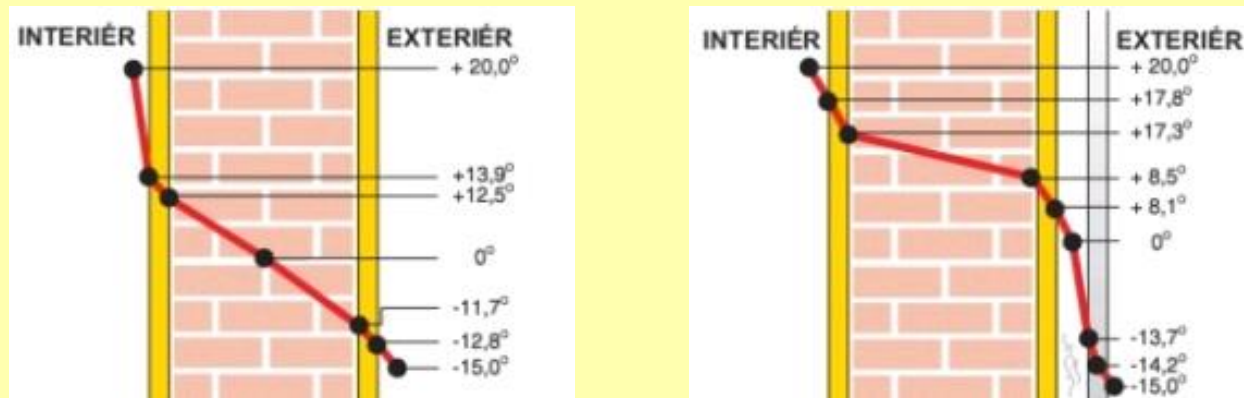
$$q = -\lambda \frac{\Delta T}{d}$$

$$Q = -\lambda \cdot S \frac{T_2 - T_1}{d} t$$



Obr. 8.2 Nulový dom (Hejhálek, 2011).

- **Koeficient tepelnej vodivosti** je materiálová konštanta
- Dobré vodiče: kovy – striebro, meď a hliník.
- Zlé vodiče (izolanty): pórovité látky, napr. slama, sklená vlna a pod.
- Voda je zlý tepelný vodič. Dobrým izolátorom tepla sú plyny.
- V kryštáloch – s výnimkou kubickej sústavy – je tepelná vodivosť závislá od smeru tepelného prúdu. Drevo vedie teplo lepšie v smere vlákien, než v smere kolmom.



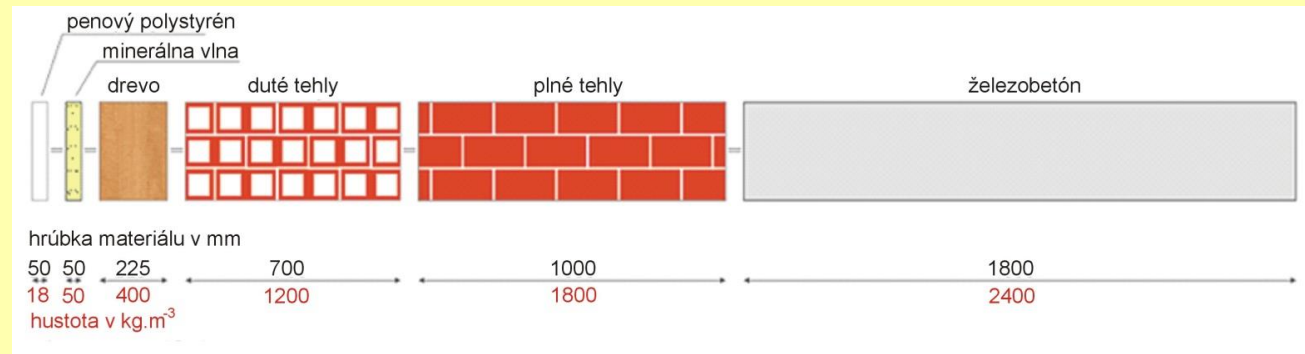
Obr. 8.3 Priebeh teploty v nezateplenej a zateplenej stene.

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \quad (\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1})$$

koeficient teplotnej vodivosti látky

Prestup tepla

$$q = \alpha \cdot (t - t')$$



α [W.m⁻².K⁻¹] Obr. 8.4 Porovnanie tepelnoizolačných vlastností materiálov (forodom.sk, 2011).

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1})$$

koeficient prechodu tepla stenou

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{k} \quad (\text{W}^{-1}.\text{m}^2.\text{K})$$

tepelný odpor

1. Tri predmety (drevo, železo, polystyrén) boli umiestnené dlhší čas vonku. Ktorý z nich pocit'ujeme pri dotyku ako najchladnejší?
2. Tri predmety (drevo, železo, polystyrén) boli umiestnené dlhší čas vonku. Ktorý z nich má najnižšiu teplotu?
3. Tri predmety (drevo, hliník, guma) boli umiestnené dlhší čas v rúre teploty $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ktorý z nich pocit'ujeme pri dotyku ako najteplejší?
4. Tri predmety (drevo, hliník, guma) boli umiestnené dlhší čas v rúre teploty $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ktorý z nich má najvyššiu teplotu?

Na obrázku sú 3 rovnaké tyče vyrobené z rovnakého materiálu. Na každom konci sú naznačené ich teploty. Steny tyčí sú izolované.

+35 °C A +70 °C

-35 °C B +70 °C

+35 °C C -70 °C

1. Pozdĺž ktorej tyče sa vedie teplo najpomalšie?
2. Pozdĺž ktorej tyče sa vedie teplo najrýchlejšie?

Na obrázku sú 3 rovnaké tyče vyrobené z rovnakého materiálu. Na každom konci sú naznačené ich teploty. Steny tyčí sú izolované.

+15 °C A +55 °C

-20 °C B +20 °C

+40 °C C -40 °C

3. Pozdĺž ktorej tyče sa vedie teplo najpomalšie?
4. Pozdĺž ktorej tyče sa vedie teplo najrýchlejšie?

Prúdenie (konvekcia)

- V kvapalinách a plynoch
- Účinnejší a rýchlejší spôsob než vedenie tepla
- Ak sú v tekutine miesta s rozličnou teplotou, súvisia s tým aj rozdiely hustoty, ktoré porušujú rovnováhu. Dochádza k transportu tekutiny i tepla
- Hustejšia a chladnejšia tekutina klesá v tiažovom poli Zeme nadol a vytláča teplejšiu redšiu nahor
- Voľná konvekcia – Vietor, Golfský prúd. Nútená konvekcia – čerpadlá.
- V jazerách nie sú podmienky pre voľnú konvekciu, iba pre vedenie tepla. Pomalšia výmena tepla.



Obr. 8.5 Nútená a prirodzená konvekcia (asb.sk, 2014 a meteorologia.blogy, 2008).

1. Čo je difúzia, aká je jej príčina a dokedy prebieha?
2. Od čoho závisí rýchlosť difúzie?
3. Definujte priemernú a lokálnu koncentráciu. Definujte hustotu difúzneho toku
4. Formulujte 1. Fickov zákon a vysvetlite gradient koncentrácie.
5. Prečo sa cukor rozpúšťa v teplej vode rýchlejšie ako v studenej?
6. Vysvetlite miznutie dymu vo vzduchu. Prečo cítiť zápach zohriateho asfaltu zďaleka?

Difúzia

- Samovoľné prenikanie častíc jednej látky medzi častice inej látky po dosiahnutí rovnovážnej koncentrácie
- Príčinou je tepelný pohyb molekúl
- Prenos atómov (molekúl) z miesta s vyššou koncentráciou na miesto s nižšou koncentráciou

- Závisí od teploty a rozdielu koncentrácií

- **priemerná koncentrácia**

- Δn počet častíc

$$c_{\text{str}} = \frac{\Delta n}{\Delta V}$$

- ΔV objem

- **lokálna (miestna) koncentrácia c**

v danom mieste

$$c = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta n}{\Delta V} = \frac{dn}{dV} \quad (\text{m}^{-3})$$



Obr. 8.6 Difúzia (kalipedia.com, 2011).

- **Hustota difúzneho toku**

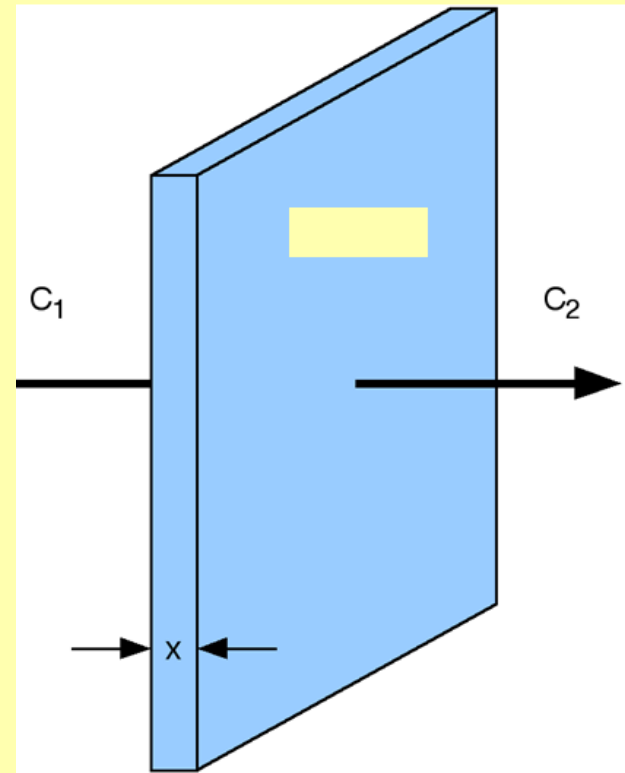
$$i = \frac{dn}{dt \cdot dS}$$

(m⁻².s⁻¹)

- **1. Fickov zákon difúzie**

$$\vec{i} = -D \frac{dc}{dx}$$

- **D je koeficient difúzie** [m².s⁻¹]
- charakterizuje podmienky, za ktorých sa difúzia uskutočňuje (chemická a fyzikálna kvalita difundujúcich častíc i prostredia, v ktorom difúzia prebieha)
- $\frac{dc}{dx}$ je gradient koncentrácie



Obr. 8.7 Difúzia a koncentračný gradient.

Tab. 8.1 Porovnanie transportných javov.

Transportný jav	Difúzia	Viskozita	Tepelná vodivosť
Prenos	látka	hybnosť	energia
Veličina, ktorej gradient spôsobuje TJ	c - koncentrácia	v - rýchlosť	T - teplota
Charakteristická veličina	D - koeficient difúzie	η - dynamická viskozita	λ - koeficient tepelnej vodivosti
Tok a hustota toku	$I = \frac{dN}{dt} \quad i = \frac{dN}{dt \cdot dS}$		$I = \frac{dQ}{dt} \quad q = \frac{dQ}{dS \cdot dt}$
Zákon pre stacionárny TJ	1. <u>Fickov</u> $i = -D \cdot \text{grad} c$	1. Newtonov $\sigma = -\eta \cdot \text{grad} v$	1. <u>Fourierov</u> $q = -\lambda \cdot \text{grad} T$
Zákon pre nestacionárny TJ - jednosmerný	2. <u>Fickov</u> $\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$	2. Newtonov $\frac{\partial v}{\partial \tau} = \nu \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$	2. <u>Fourierov</u> $\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

Zdroje obrázkov

1. asb.sk. 2014. Radiátor s riadeným zatekaním. [Online] 10. 9. 2014. [Dátum: 25. 5. 2022.]
<https://www.asb.sk/stavebnictvo/technicke-zariadenia-budov/vykurovanie/radiator-s-riadenym-zatekanim>.
2. fordom.sk. 2011. [Online] 13. 2. 2011. [Dátum: 28. 9. 2011.]
http://www.fordom.sk/sk/co_usetrite.php.
3. Hejhálek, J. Pasívny dom v číslach. [Online] 14. 3. 2011. [Dátum: 11. 4. 2022.]
<http://www.istavebnictvo.sk/clanky/pasivny-dom-v-cislach/>.
4. kalipedia.com. [Online] 3. 3. 2011. [Dátum: 21. 7. 2021.] http://www.kalipedia.com/fisica-quimica/tema/fotosdifusionpermanganatopotasio.html?x1=20070924klpcnafyq_20.Ies&x=20070924klpcnafyq_27.Kes.
5. Meteorologia. 2008. [Online] 4. 8. 2008. [Dátum: 20. 4. 2022.] <http://blogy.in-pocasi.eu/meteorologia/obrazky/tornado.jpg>.

Zdroje obrázkov

6. orbispictus.sk. 2019. Výmena tepla. [Online] 2. 4. 2019. [Dátum: 21. 4. 2022.]

<https://orbispictus.sk/wp-content/uploads/2019/04/2PL-Vymena-teplakalorimeter-riesenie.pdf>.