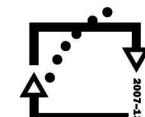




EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Technologie a procesy sušení dřeva

3. Teplotní pole ve dřevě během sušení

Způsoby sdílení tepla:

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- sálání (radiace)

Teplotní pole ve dřevě

Analogicky k pohybu vody vázané ve dřevě je i tepelný tok možno popsat jako stacionární nebo nestacionární děj.

Je-li po celou dobu vedení tepla v tělese konstantní teplotní spád, popisujeme přenos tepla stacionárním dějem, není-li teplotní spád konstantní, mluvíme o nestacionárním přenosu tepla.

Vedení tepla

Fenomenologické (makroskopické) zákony
vedení tepla popsal Fourier v roce 1822

$$\begin{pmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} & \lambda_{xz} \\ \lambda_{yx} & \lambda_{yy} & \lambda_{yz} \\ \lambda_{zx} & \lambda_{zy} & \lambda_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{pmatrix}$$

kde: λ_{kl} jsou tepelně-vodivostní koeficienty pro příslušné směry k, l
v $[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$, $q_{x,y,z}$ jsou složky hustoty tepelného toku \mathbf{q} $[\text{Wm}^{-2}]$, T
je teplota $[\text{K}]$.

Tepelná vodivost dřeva

Hodnoty λ pro ukazují, že dřevo – zvláště ve směru napříč vláken – je relativně dobrým tepelným izolátorem. Na dobrých tepelně-izolačních vlastnostech dřeva se podílí jeho značná pórovitost, a výsledkem je např. značná odolnost konstrukčních dřevěných prvků vůči ohni. Dlouhá doba potřebná ke změně teploty v objemu dřeva společně s měrným teplem činí ze dřeva ideální materiál pro tlusté obvodové zdi.

Materiál	Koeficient tepelné vodivosti λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
dřevo \perp (w=12%)	0,12-0,18
dřevo \parallel (w=12%)	0,25-0,45
dřevní substance \perp	0,44
dřevní substance \parallel	0,88
vzduch	0,024
voda	0,59
cihla	0,70
beton	0,93
sklo	1,05
kámen	1,80
ocel	20,0
hliník	202,0
měď	396,0

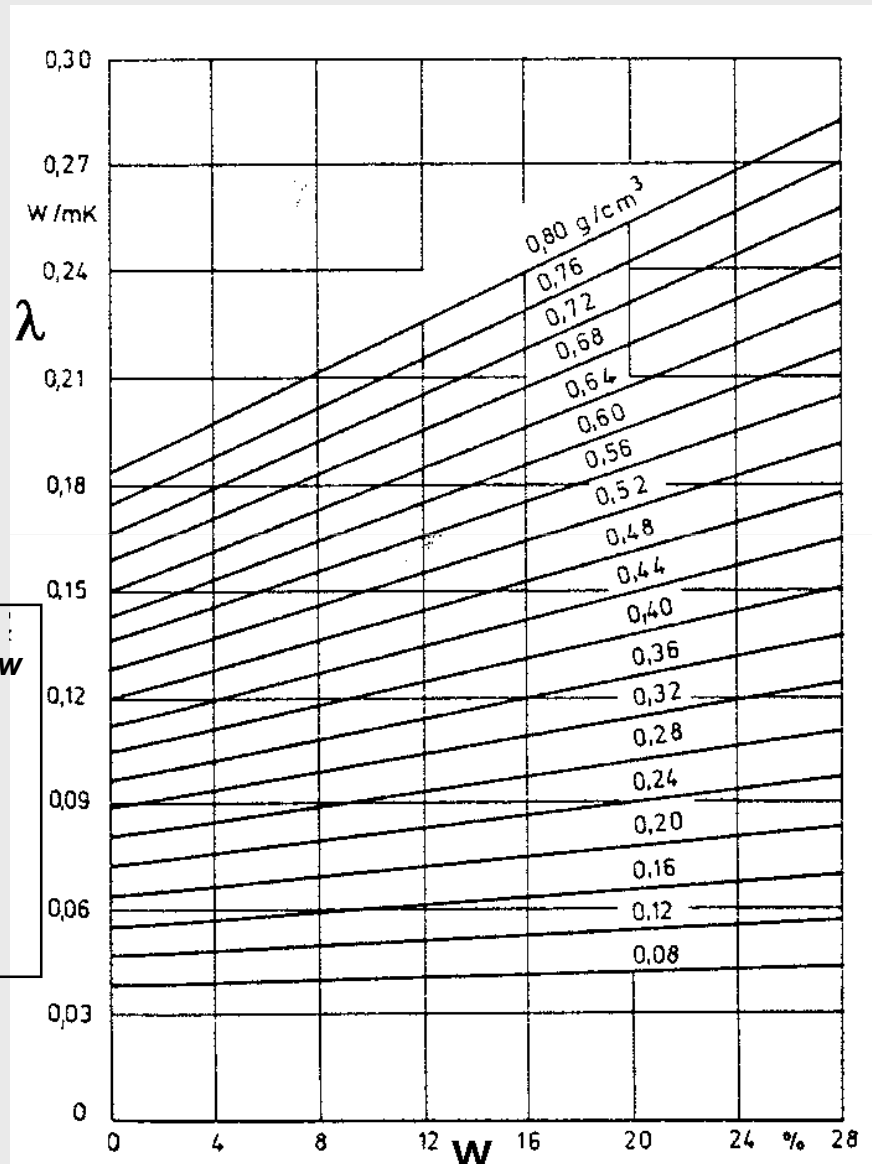
Tepelná vodivost dřeva

Vliv hustoty a vlhkosti dřeva v suchém stavu na koeficient tepelné vodivosti dřeva napříč vláken:

$$\lambda_{\perp} = \rho_k (0,217 + a w) + 0,024 P_w$$

$$\lambda_{\parallel} = 2,5 \lambda_{\perp}$$

$a=0,0040$ pro $w < 40\%$ a $a=0,0055$ pro $w > 40\%$



Tepelná vodivost dřeva

Tepelná vodivost dřeva závisí také na teplotě:

$$\lambda = \lambda_i (1 + 0.004 (temp - 30))$$

$$\lambda_i = \lambda_{\perp} \text{ nebo } \lambda_{\parallel}$$

temp = aktuální teplota ve °C

$$\lambda = f (\text{hustoty dřeva, vlhkosti, teploty, anatomického směru})$$

Tepelná vodivost dřeva

Stacionární difuzi tepla popisuje I. Fourierův zákon:

$$1 - D: \quad \frac{Q}{St} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Po dalším derivování za předpokladu stacionarity:

$$1 - D: \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0$$

$$3 - D: \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0$$

Tepelná vodivost dřeva

Nestacionární difuzi tepla popisuje II. Fourierův zákon:

$$1 - D: \textit{AkumulovaneTeplo} = \textit{DodaneTeplo} - \textit{OdvedeneTeplo}$$

Po dalším derivování za předpokladu nestacionarity:

$$1 - D: c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

$$3 - D: c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Vedení tepla

Stejnými úvahami, kterými byla odvozena PDR pro popis šíření vlhkostního pole, se sestaví PDR popisující šíření teplotního pole ve dřevě. Pozor zde je uplatňován zákon zachování energie (tepelné) a do PDR přibývají dvě další materiálové charakteristiky: měrné teplo C [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$], hustota dřeva ρ [kgm^{-3}]. Tyto charakteristiky určují množství tepla, které je potřeba dodat pro změnu teploty podle vztahu:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t \partial V} = C \rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

Vedení tepla

Dále lze schematicky (zjednodušeně) pro tok tepla do elementárního objemu ∂V psát:

$$\frac{\partial H}{\partial V} = -\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right)$$

kde H [J] je integrální veličina vyjadřující výsledné množství tepla difundujícího do elementárního objemu ∂V .

Ze zákona zachování energie vyplývá rovnost:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t \partial V} = \frac{\partial H}{\partial V}$$

Vedení tepla

Po dosazení za levou a pravou část rovnice a převedením všech členů na levou stranu se získá rovnost:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} + C\rho \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

Dosazením za složky hustoty tepelného toku $q_{x,y,z}$ [Wm⁻²] z Fourierova zákona a menší úpravou dostaneme:

$$C\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}$$

Vedení tepla

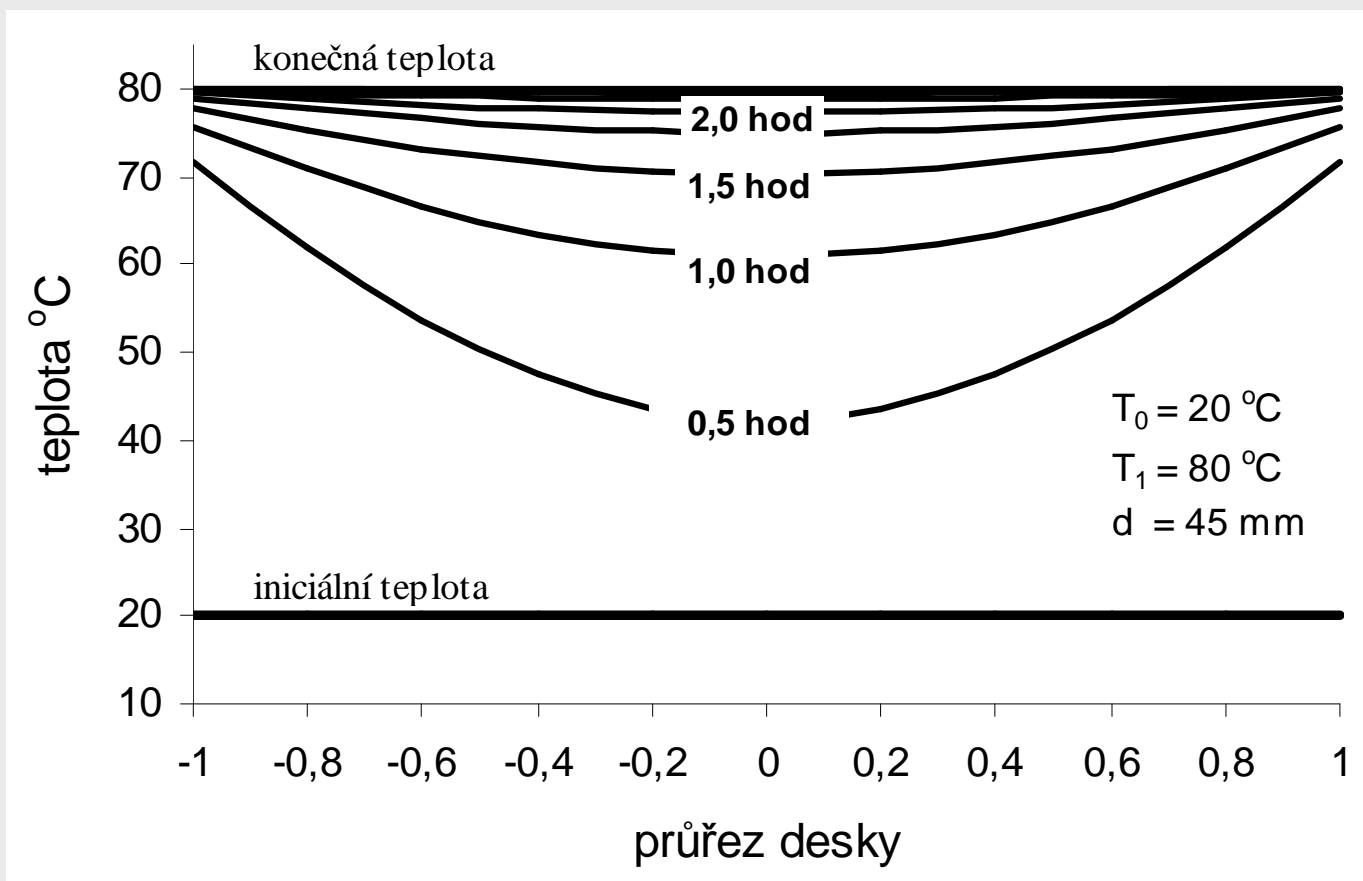
Okrajové podmínky:

Matematicky jde o lineární vztah mezi hustotou tepelného toku a rozdílem mezi povrchovou a okolní teplotou. Vztah vypadá následovně:

$$-\mathbf{n} \cdot \lambda \nabla T = \alpha_T (T_{\partial\Omega} - T_{air})$$

kde α_T je koeficient přestupu tepla [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$], $T_{\partial\Omega}$ je povrchová teplota [K], T_{air} je teplota okolního vzduchu [K].

Vedení tepla



Rozložení teploty v průřezu dřevěné desky (*Quercus sp.*) o tloušťce 45mm během ohřevu z teploty 20°C na 80°C při konstantní vlhkosti 12%.

Proudění tepla

Dochází k proudění hmoty o různé teplotě. Šíření tepla prouděním není možné u pevných látek, uplatňuje se pouze u tekutin (kapalin a plynů), případně u plazmatu. Pohybem hmoty dochází k vzájemnému pohybu jednotlivých částí, které mají odlišnou teplotu a tím se přenáší teplo. Ve srovnání s vedením tepla může být šíření tepla prouděním rychlejší. Samovolné proudění teplejších částí tekutého systému obvykle stoupá vzhůru, protože hustota kapalin a plynů s teplotou zpravidla klesá.

http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD_teplo_proud%C4%9Bn%C3%ADm

Sálání tepla

Sálání (záření, radiace) je fyzikální proces, při kterém látka emituje do prostoru energii ve formě elektromagnetického záření. Na rozdíl od přenosu tepla vedením nebo prouděním se může prostřednictvím sálání teplo přenášet i ve vakuu, tzn. bez zprostředkování přenosu látkovým prostředím.

Energie, která je sáláním vyzařována, závisí na několika faktorech:

- teplota tělesa – množství vyzářené energie je popsáno Planckovým vyzařovacím zákonem
- barva povrchu – nejmenší množství tepla je vyzařováno stříbřitě lesklými povrchy, největší černými. Toho se využívá například při konstrukci termosek, kde jsou povrchy stříbřitě lesklé pro minimalizaci předávání tepla sáláním. Jiným příkladem jsou naopak chladiče kosmických lodí, které jsou černé pro maximalizaci vyzářeného tepla. Při teplotách nad 1000 °C je ale pro většinu materiálů již rozdíl zanedbatelný a s malou chybou lze počítat s tím, že se prakticky všechna tělesa chovají jako absolutně černé těleso.
- obsah plochy – energie vyzařovaná sáláním je přímo úměrná obsahu povrchu vyzařujícího tělesa