Lesnická a dřevařská fakulta

NUMERICKÁ OPTIMALIZACE DŘEVAŘSKÉHO VÝROBKU

Jan Tippner, LDF MENDELU

Teplotní úlohy

Zdroje:

Thermal technology Guides, Documentation for ANSYS

Theory Reference for ANSYS and ANSYS Workbench, Documentation for ANSYS

http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys

Mendelova univerzita v Brně

Vedle napěťově-deformační analýzy je analýza vedení tepla patrně druhým nejrozšířenějším typem úlohy v oblasti inženýrských výpočtů využívajících MKP.

Termální analýzou nejčastěji zjišťujeme:
- distribuci teploty v daném systému
- tepelné ztráty či zisky
- teplotní gradienty
- tepelné toky

Simulace šíření tepla se uplatňují v mnoha odvětvích např. při simulaci spalovacích motorů, turbín, výměníků tepla nebo elektronických zařízení. Často se jedná i o vázané úlohy teplotně-deformační (napětí vzniká v důsledku teplotní roztažnosti materiálu).

Termální analýzu je možné řešit v programech Ansys Multiphysics, Ansys Mechanical a Ansys FLOTRAN

Principem je řešení energetické bilanční rovnice (tzv. „heat balance equation“) vycházející ze zákona zachování energie. Řešením této rovnice získáme teplotu v uzlech a z nich hodnoty dalších veličin (tepelný tok, teplotní gradient atd.)

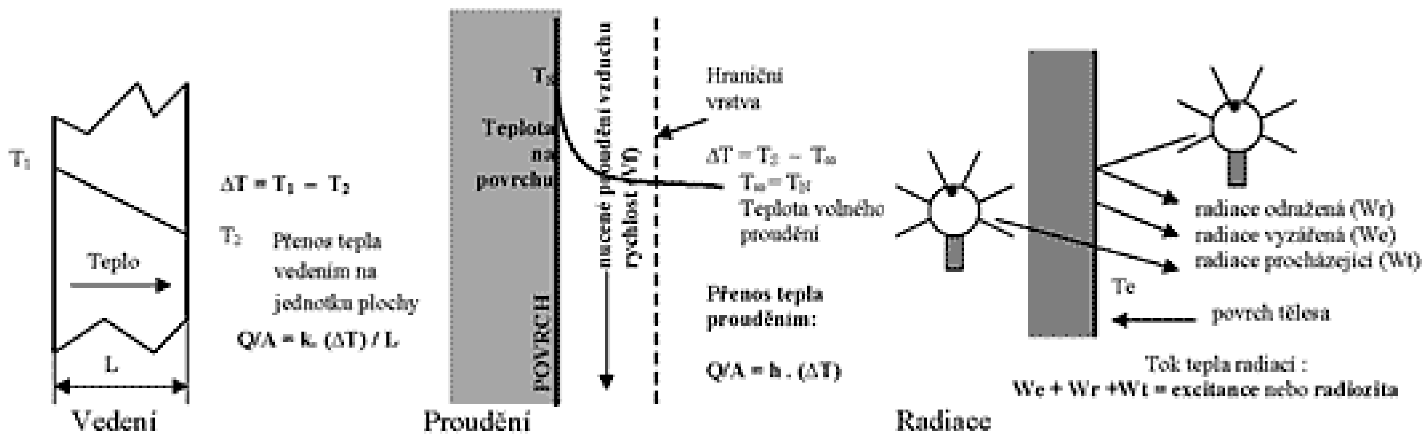
Energetická bilanční rovnice:

v daném systému je součet dodaného a odebraného tepla látkám roven nule

$$Q_D + Q_O = 0.$$

Můžeme řešit 3 základní principy šíření tepla:

- kondukci (vedení)
- konvekci (proudění)
- radiaci (sálání)



KONDUKCE

= šíření tepla v **tělesech**, při kterém částice látky v oblasti s vyšší střední kinetickou energií předávají část své pohybové energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím v oblasti s nižší střední kinetickou energií.
Částice se nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

KONVEKCE

= uplatňuje se pouze u **tekutin** (kapalin a plynů), případně u plazmatu.
Pohybem hmoty dochází k vzájemnému pohybu jednotlivých částí, které mají odlišnou teplotu a tedy různou hustotu vnitřní energie, a tím se přenáší teplo.

RADIACE

= 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.

Řešení termální analýzy je založeno na:

- *prvním termodynamickém zákoně:*

$$\rho c\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T\{L\}T\right) + \{L\}^T\{q\} = \ddot{q}$$

ρ = hustota (příkaz MP, DENS)
c = specific heat (příkaz MP, C)
T = teplota (=T(x,y,z,t))
t = čas

kde:

$$\{L\} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{Bmatrix} = \text{vector operator}$$

$$\{v\} = \begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{Bmatrix} =$$ velocity vector for mass transport of heat (input as VX, VY, VZ on **R** command, PLANE55 and SOLID70 only).

{q} = vektor hustoty tepelného toku (TFX, TFY, TFZ)
$= \ddot{q}$ = měrný tepelný zisk (příkaz BF nebo BFE)

$$\{q\} = -[D]\{L\}T$$

- *Fourierově zákoně:*

kde:

$$[D] = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix} = \text{conductivity matrix}$$

Kxx, Kyy, Kzz = tepelná vodivost ve směrech x,y,z (příkaz MP, KXX nebo KYY nebo KZZ)

$$\longrightarrow \quad \rho c\left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x\frac{\partial T}{\partial x} + v_y\frac{\partial T}{\partial y} + v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right) =$$

$$\ddot{q} + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

Principy výpočtu- radiace

- *Stefan-Boltzmannově zákoně:*

$$\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\delta_{ji}}{\varepsilon_i} - F_{ji}\frac{1-\varepsilon_i}{\varepsilon_i}\right)\frac{1}{A_i}Q_i = \sum_{i=1}^{N}(\delta_{ji}-F_{ji})\sigma T_i^{4}$$

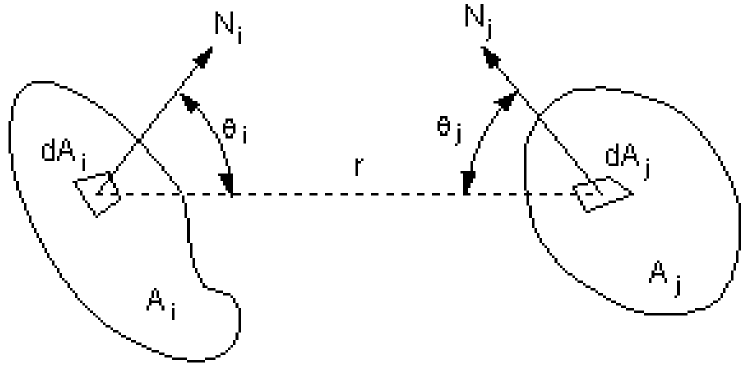
kde:

N = počet radiačních ploch
δji = Kronecker delta (0 nebo 1)
εi = emisivity povrchu (příkaz MP, EMIS)
Fji = radiační faktor (záleží na vzájemné poloze ploch)
Ai = plocha radiačního povrchu
Qi = ztráta energie povrchu
σ = Stefan-Boltzmannova konstanta (příkaz STEF nebo R)
Ti = absolutní teplota v Kelvinech

případně:

$$Q_i = \frac{1}{\left(\frac{1-\varepsilon_i}{A_i\varepsilon_i}+\frac{1}{A_iF_{ij}}+\frac{1-\varepsilon_j}{A_j\varepsilon_j}\right)}\sigma(T_i^4 - T_j^4)$$

pro dvě plochy sálající jedna na druhou



Typ analýzy

Rozlišujeme **2** typy úloh

„steady-state“
stacionární (ustálený) děj

: určujeme rozložení teploty a další veličiny při okrajových podmínkách neměnných v čase
Zanedbáváme akumulaci tepla v čase

Stacionární úloha může být lineární, s konstantními materiálovými vlastnostmi, nebo nelineární, s vlastnostmi závislými na teplotě.

„transient“
transientní děj, proměnný v čase

: určujeme rozložení teploty a další veličiny při okrajových podmínkách proměnných v čase

:

Okrajové podmínky u nestacionární úlohy jsou funkcí času a mohou být zadány pomocí rovnice či funkce popisující danou křivku.