



Lesnická
a dřevařská
fakulta

CAD/CAE

ÚNOD: Jan Tippner, Václav Sebera,
Miroslav Trcala, Eva Troppová.

Termální analýza v programu ANSYS

Mendelova
univerzita
v Brně



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Podpořeno projektem Průřezová inovace studijních programů Lesnické a dřevařské fakulty MENDELU v Brně (LDF) s ohledem na discipliny společného základu (reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0021) za přispění finančních prostředků EU a státního rozpočtu České republiky.

Vedle napětově-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 FLOTTRAN

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:

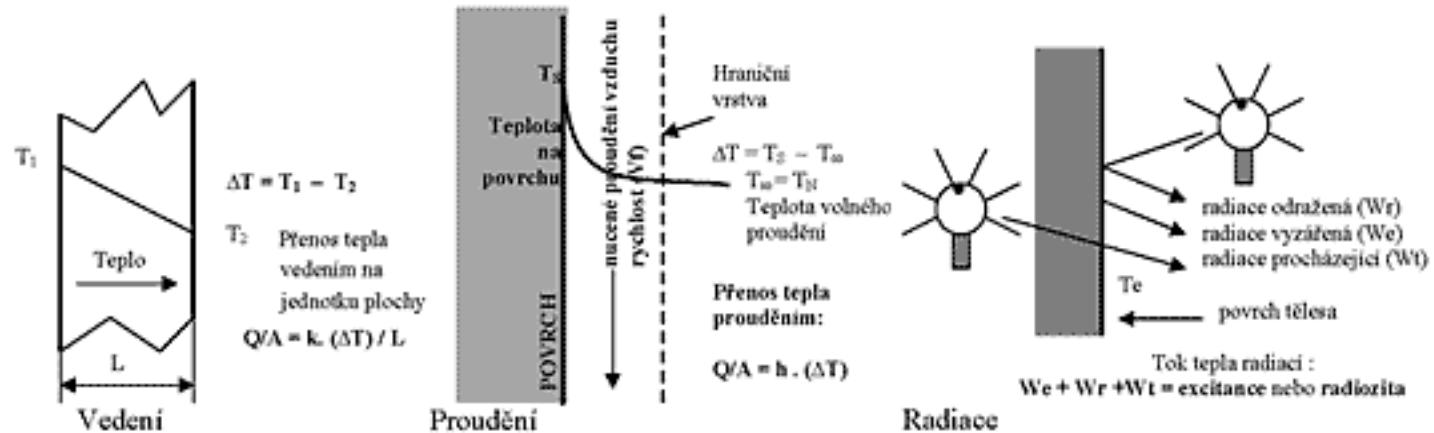
v daném systému je součet dodaného a odebraného tepla látkám roven nule

$$Q_D + Q_O = 0.$$



Můžeme řešit 3 základní principy šíření tepla:

- kondukcí (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:

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

$$\{v\} = \begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{Bmatrix} = \text{velocity vector for mass transport of heat}$$

(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)

- *Fourierově zákoně:*

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

kde:

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

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} = tepelná vodivost ve směrech x,y,z (příkaz MP, KXX nebo KYY nebo KZZ)

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

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

- 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

δ_{ji} = Kronecker delta (0 nebo 1)

ε_i = emisivity povrchu (příkaz MP, EMIS)

F_{ji} = radiační faktor (záleží na vzájemné poloze ploch)

A_i = plocha radiačního povrchu

Q_i = ztráta energie povrchu

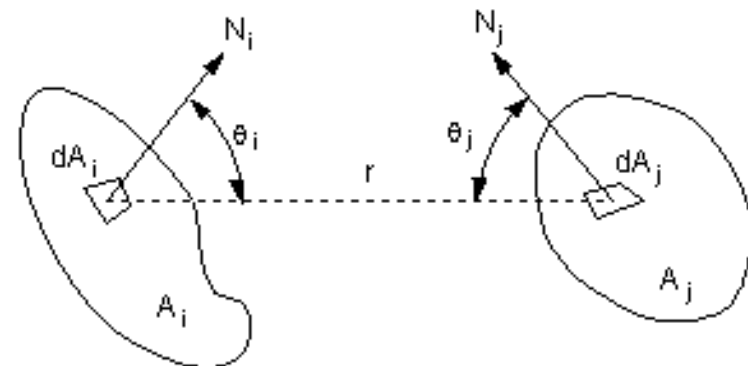
σ = Stefan-Boltzmannova konstanta (příkaz STEF nebo R)

T_i = absolutní teplota v Kelvinech

případně:

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

pro dvě plochy sálající jedna na druhou



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.