

# NUMERICKÝ EXPERIMENT TEPELNEJ ÚLOHY V PROCESE ZVÁRANIA

## NUMERICAL EXPERIMENT OF THERMAL TASK IN THE WELDING PROCESS

Helena KRAVÁRIKOVÁ

*Autor:* **Ing. Helena Kraváriková, PhD.**  
*Pracovisko:* **Ústav výrobných systémov a aplikovanej mechaniky,  
Materiálovotechnologická fakulta STU**  
*Adresa:* **Rázusova 2, 917 24 Trnava, Slovenská republika**  
*Tel.:* **+421 33 5511 601**  
*E-mail:* **[helena.kravarikov@stuba.sk](mailto:helena.kravarikov@stuba.sk)**

### Abstract

*V príspevku je opísaný spôsob riešenia teplotných polí v procese tavného spôsobu zvarania pre vyhotovenie ľubovoľného tvaru zvaru ako aj zvaranej súčiastky numerickou simuláciou pomocou MKP (metóda konečných prvkov) v programovom súbore ANSYS. Na základe popisu spôsobu riešenia termálnej analýzy bol navrhnutý algoritmus pre riešenie daného typu úloh spolu s ilustrovanými výsledkami riešenia.*

*In the article the solution methods of thermal field in the process of fusion welding for the creation of weld joint shape and also of welded equipment by FEM (finite element method) numerical simulation in ANSYS are described. On the base of describing of solution method of thermal analysis was proposed the algorithm for the solution of the task type with the illustrated results of solution.*

### Key words

*MKP, teplotné polia, TOO, numerická simulácia, ANSYS*

*FEM, thermal field, HAZ, numerical simulation, ANSYS*

### Úvod

Všeobecné riešenie tepelnej úlohy je zamerané na oblasť technológie tavného zvarania a tepelných procesov prebiehajúcich v základnom a prídavnom materiáli počas zvarania. Nás budú hlavne zaujímať teplotné polia vznikajúce v procese zvarania v základnom materiáli. V procese zvarania je veľmi dôležitá teplom ovplyvnená oblasť (TOO), v ktorej dochádza k nataveniu zvaraného materiálu, čo má za následok zmenu štruktúry zvaraného materiálu ako aj mechanických vlastností. V príspevku je popísané všeobecné riešenie numerického experimentu tepelnej úlohy pomocou metódy konečných prvkov v programovom súbore ANSYS.

## Postup riešenia tepelnej úlohy pre proces zvárania

Pred realizáciu numerického experimentu je potrebné si zvoliť technológiu a metódu zvárania, ktorou bude simulovaný zvarový spoj. Na vytvorenie geometrického modelu pre numerickú simuláciu je potrebné zadefinovať tvar a veľkosť experimentálnej vzorky určenej na zváranie. Vytvorený geometrický model je potrebné rozdeliť na objemové elementy generovaním siete. Zváranej súčiastke je potom potrebné priradiť materiál vhodný na zváranie. Prídavný materiál sa volí podľa chemického zloženia základného materiálu tak, aby vzniknutý zvarový spoj mal také isté mechanické vlastnosti ako zváraný materiál. Ďalšou dôležitou súčasťou riešenia je potrebné poznať tepelno-fyzikálne vlastnosti základného a prídavného materiálu a ich zmeny v závislosti od zmeny teploty. Jedná sa hlavne o špecifickú tepelnú kapacitu, koeficient tepelnej vodivosti a hustotu materiálu. Na základe rozmerov a hrúbky zváraného materiálu je dôležité určiť typ zvaru.

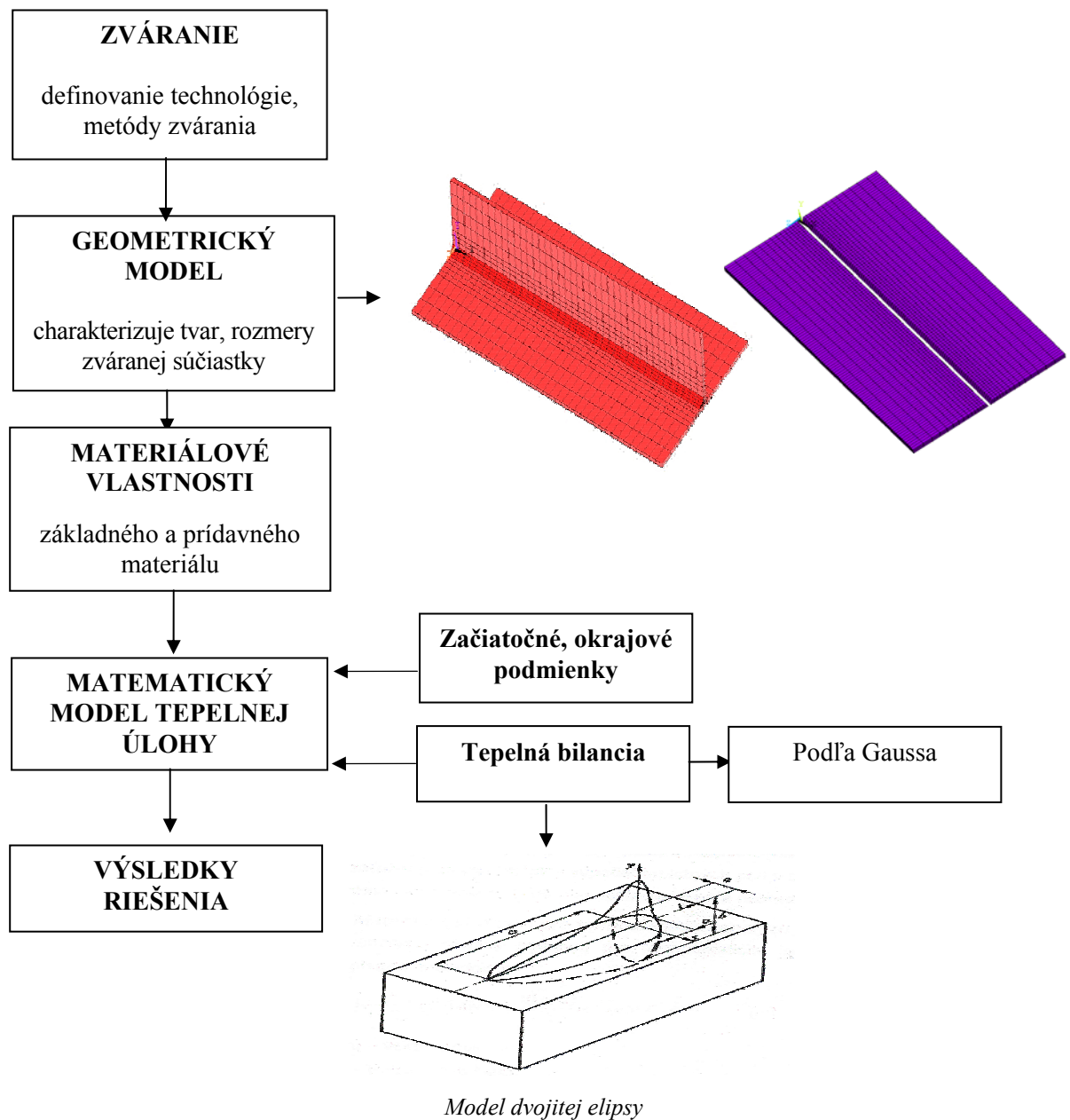
V prípade, že sú nám známe hore uvedené potrebné všetky údaje môžeme prejsť k ďalšej časti riešenia termálnej úlohy a to k určeniu matematického modelu. Matematickým modelom pri riešení tepelnej úlohy numerickou simuláciou je Fourier-Kirchhoffova diferenciálna rovnica vedenia tepla (DRVT) [1]. Začiatočné a okrajové podmienky sú nutnou a postačujúcou podmienkou na riešenie DRVT. Celková hustota tepelného toku pri zváraní je súčtom hustôt tepelných tokov konvekciou, kondukciou a radiáciou. Hustota tepelného toku pri konvekcii je vyjadrená pomocou Newtonovho ochladzovacieho zákona, ktorého hodnota závisí od koeficientu prestupu tepla  $h$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]. Ochladzovanie ohrievaného materiálu pri technologickom procese zvárania môžeme vyjadriť okrajovou podmienkou III. druhu. Teda pre matematický model (DRVT) technologického procesu zvárania platí okrajová podmienka III. druhu, ktorá v našom prípade vyjadruje prestup tepla do okolitého prostredia kondukciou, konvekciou a radiáciou.

Ďalším dôležitým krokom riešenia teplotných polí numerickou simuláciou je tepelná bilancia elektrického oblúka v procese zvárania. Dôležitým parametrom pre numerické riešenie je stanovenie skutočného tepelného príkonu  $Q_b$ . Tepelný príkon pri zváraní je množstvo tepla vznikajúce za jednotku času privedené do miesta zvaru. Je priamo úmerný veľkosti zvaracieho prúdu a napätia na oblúku a nepriamo úmerný od postupovej rýchlosti zvárania. Taktiež závisí od zvolenej metódy zvárania. Elektrický oblúk je teda zdroj tepelnej energie, ktorá má za následok roztavenie základného a prídavného materiálu a ich premiešanie počas zvárania, čím po vychladnutí vzniká zvarový spoj. Teda tvar a veľkosť zvaru okrem iných parametrov zvárania závisia od rýchlosti zvárania. Potom zdroj tepelnej energie je pri simulácii nutné zadávať aj vo forme tepelného toku vneseného do zvaru a jeho okolia do objemových elementov ako pohyblivý objemový zdroj tepla. Rozloženie tepelného toku v oblasti zvaru a TOO počas zvárania je možné realizovať viacerými metódami ako je Goldakova dvojité elipsa alebo pomocou Gaussa [5].

Ak už máme vytvorený geometrický model, ktorému sme priradili tepelno-fyzikálne vlastnosti základného a prídavného materiálu v závislosti na zmene teploty, ako aj tepelnú bilanciu elektrického oblúka a rozloženie tepelného toku, potom na základe matematického modelu a podmienok jednoznačnosti, môžeme spustiť riešenie. Riešenie tepelnej úlohy v procese zvárania v programovom súbore ANSYS prebieha Newton-Rapsonovou metódou ako nestacionárna a nelineárna úloha.

Výsledkom riešenia tepelnej úlohy numerickou simuláciou pomocou MKP sú teplotné polia, ktoré zobrazujú rozloženie (priebeh) teplôt v danom mieste a čase počas celého procesu zvárania až po vychladnutí zvárannej súčiastky, kedy dochádza k vyrovnaniu teplôt v celom objeme zvaru.

Hore uvedený postup riešenia tepelnej úlohy numerickou simuláciou je možné zhrnúť do schémy znázornenej na obr. 1.

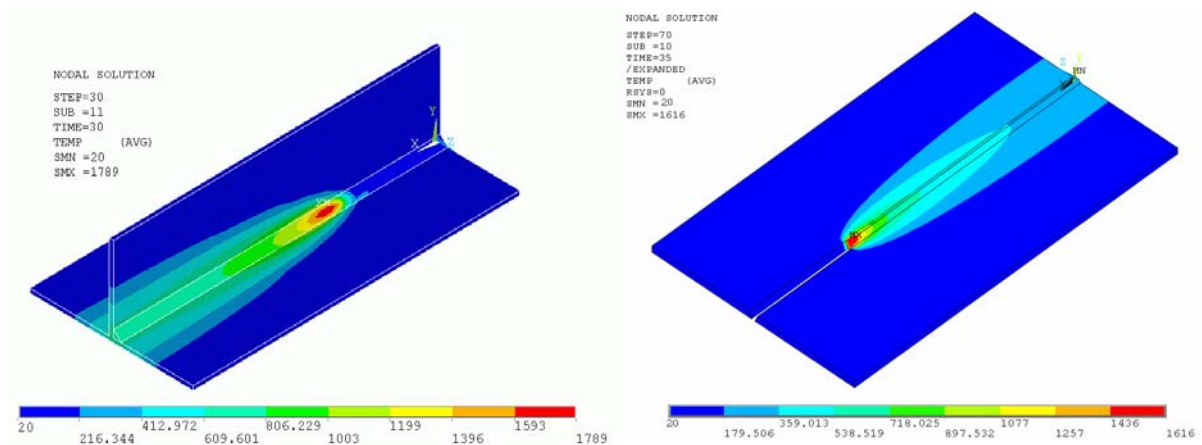


*Obr. 1. Schéma riešenia tepelnej úlohy*

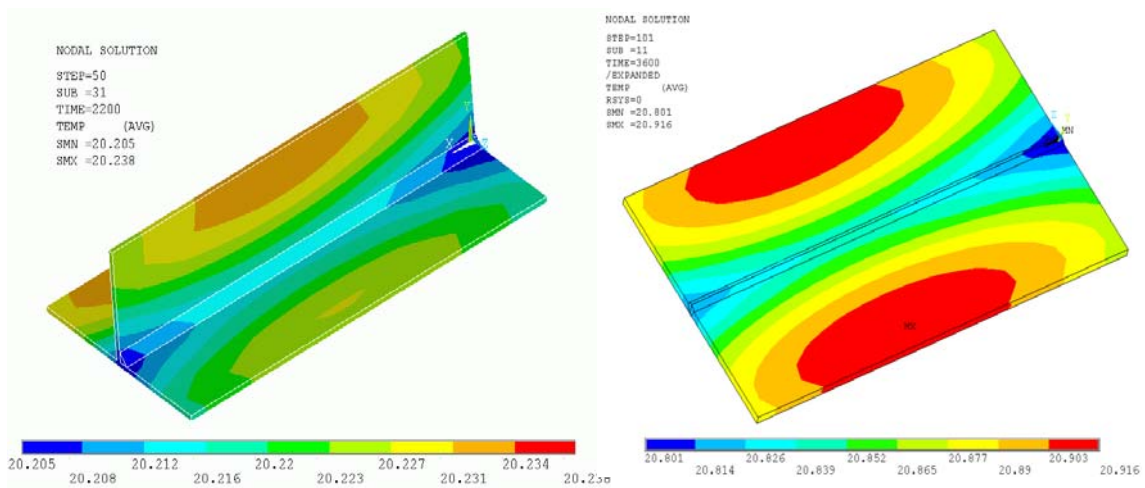
### Výsledky riešenia

Na ilustráciu dosiahnutých výsledkov riešenia pomocou MKP v programovom súbore ANSYS sú uvedené grafické výstupy riešenia jednovrstvového kútového a plochého zvaru, v našom prípade vyhotoveného metódou zvárania GMAW/GTAW [3, 4]. Výsledkami

riešenia tepelnej úlohy získame teplotné polia, ktoré zobrazujú priebeh teplôt v ľubovoľnom čase počas zvárania. Obr. 2 znázorňuje priebeh teplotných polí počas ustáleného procesu zvárania s minimálnou teplotou 20 °C a maximálnou 1789 °C u kútového zvaru a 1616 °C u tupého zvaru. Na obr. 3 sú znázornené priebehy teplotných polí po vychladnutí zvarku na teplotu okolia približne rovnú 20 °C pre zvolený kútový a tupý zvar [3, 4].



*Obr. 2. Priebeh teplotných polí počas zvárania [3, 4]*



*Obr. 3. Priebeh teplotných polí po vychladnutí na teplotu okolia [3, 4]*

## Záver

Popísaný spôsob riešenia tepelnej úlohy pomocou numerickej simulácie je možné využiť pre ľubovoľný tvar zvárannej súčiastky s využitím technológie tavného spôsobu zvárania pre vyhotovenie zvoleného typu zvaru. V príspevku sú uvedené výsledky z numerickeho riešenia kútového a tupého zvaru, podľa popísaného algoritmu riešenia termálnej analýzy pomocou MKP v programovom súbore ANSYS.

**Príspevok bol vypracovaný s podporou projektov MŠ SR VEGA 1/0832/08.**

**Zoznam bibliografických odkazov:**

- [1] TARABA, B., BEHÚLOVÁ, M., KRAVÁRIKOVÁ, H. *Mechanika tekutín, Termomechanika*. Bratislava: STU, 2004. ISBN 80-227-2041-0
- [2] RADAJ, D. *Heat effects of welding. Temperature field, residual stress, distortion*. Berlin: SPRINGER-VERLAG, 1992.
- [3] HAGARA, O. *Napät'ová a deformačná analýza zvarového spoja*. Diplomová práca. Trnava: MtF STU Trnava, 2004.
- [4] TULALA, A. *Teplom ovplyvnená oblasť a napät'ovo-deformačná analýza zvarového spoja*. Diplomová práca. Trnava: MtF STU Trnava, 2005.
- [5] ULRICH, K., HODÚLOVÁ, E. Nové poznatky z oblasti modelovania teplotných polí a štruktúrnych aspektov nanášania práškov pomocou lasera. In *Zvárač*, 2007, roč. 4, č. 4, s. 32-34. ISSN 1336-5045