

VERIFIKÁCIA VÝSLEDKOV V MECHANIKE KONTINUA VYUŽITÍM CAE SYSTÉMOV AKO PODPORA INŽINIERSKEHO MYSLENIA

MURČINKOVÁ Zuzana, SR

Resumé Článok sa zaoberá metódou vysokoškolskej výučby, ktorá podporuje inžinierske myslenie, a to prostredníctvom kritického hodnotenia a verifikácie vypočítaných výsledkov v mechanike kontinua s využitím CAE systémov. Metóda je aplikovaná na analýze hrubostennej rúrky zaťaženej vonkajším a/alebo vnútorným tlakom p , so zámerom zaradiť témy zrušeného predmetu Pružnosť a pevnosť II. do výučby.

Kľúčové slová: kritické hodnotenie, verifikácia, priebeh napätia, hrubostenná rúrka

VERIFICATION OF RESULTS IN CONTINUUM MECHANICS USING THE CAE SYSTEMS AS CONTRIBUTION TO ENGINEERING

Abstract The paper dealt with method of academical teaching as contribution of engineering by critical evaluation and verification of computed results in continuum mechanics using the CAE systems. The method is applied to analysis of thin-walled pipe loaded by outer and/or inner pressure p with aim to include topics of cancelled subject Elasticity and strength II. into education.

Key words: critical evaluation, verification, stress distribution, thin-walled pipe

1 Úvod

Výsledným produktom univerzitného štúdia je inžinier schopný zvládnuť základné požiadavky súčasného priemyslu fungujúcom v informačnej spoločnosti. Základným princípom inžinierskeho myslenia je vedieť používať naučené metódy (princípy), a hlavne aplikovať zaužívané metódy (princípy) na nové problémy a vedieť vytvoriť nové metódy pre nové podmienky s primárnym cieľom vyriešiť problém úspešne.

Strategickým základom existencie v súčasnej informačnej spoločnosti sa stáva "mať informácie" a existenčnou sa stáva schopnosť identifikovať a získať informácie, potom ich intelektuálne spracovať, kriticky hodnotiť a efektívne využiť.

Pre úspešnosť je nevyhnutné tvorivé myslenie, ktorého rozvoj podporuje kritické hodnotenie. Spôsobom ako naučiť študenta myslieť kriticky je tvorivo a problémovo orientovaná výučba.

2 Predmety mechaniky kontinua

K predmetom mechaniky kontinua zaradzujeme predmety: Mechanika (statika, kinematika, dynamika), Pružnosť a pevnosť, Časti strojov, Napäťové analýzy na PC a pod. Väčšina z týchto predmetov zahŕňa analytický spôsob výpočtov, pričom študenti nie sú nútení zamýšľať sa nad výsledkom, resp. nehodnotia ho kriticky. Častým dôkazom nehodnotenia výsledku je dosadenie nesprávnych jednotiek, resp. priradenie nesprávnej jednotky ku výsledku. V prípadoch, že majú k dispozícii iný analytický spôsob výpočtu na verifikáciu, obtiažnosť výpočtu je odradzujúca.

3 Výpočtová simulácia na PC

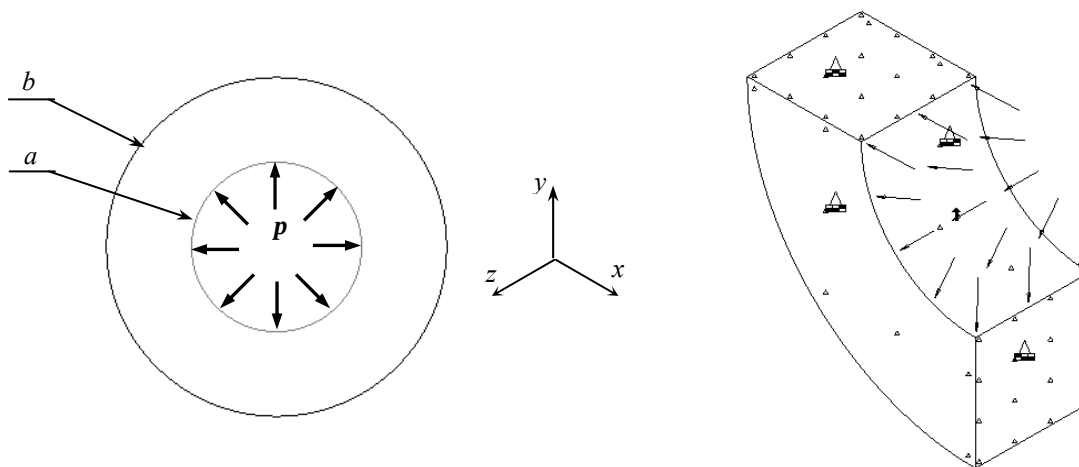
Predmet Napät'ové analýzy na PC zameraný na výpočtové simulácie na PC je veľmi vhodný na podporu práve kritického myslenia prostredníctvom verifikácie výsledkov niekoľkými možnými metódami (analytické vs. numerické riešenie), ktoré vychádzajú z rôznych princípov, ale vedú ku zhodným, resp. podobným výsledkom. Veľmi atraktívna je hlavne možnosť virtuálnej vizualizácie výsledkov s možnosťou ich animácie. Takto sa z predmetov mechaniky kontinua stávajú atraktívne predmety podporujúce tvorivé myslenie, nie naopak.

4 Analýza hrubostennej rúrky

Aby sme mohli realizovať uvedenú úlohu, je potrebné, aby študent:

- poznal analytické riešenie hrubostenných nádob a rúrok (stačí z prednášky),
- vedel vyhotoviť výpočtový model (čomu predchádza 3D modelovanie – povinný predmet a úvodné cvičenia z predmetu Napät'ové analýzy na PC)

Úloha: Pre hrubostennú rúrku na obr. 1 s rozmermi $a=1$ mm, $b=2$ mm, Poissonovo číslo $\mu=0,3$, Youngov modul pružnosti $E=1$ MPa a vnútorný pretlak je $p=1$ N/mm² určte priebehy tangenciálneho σ_t a radiálneho napätia σ_r po hrúbke steny rúrky. Riešenie vykonajte numericky, pomocou softvéru Pro/Mechanica, a analyticky. Oba výsledky porovnajte. Zistite, kde je maximálne σ_t a σ_r a či sa mení jeho poloha, ak na rúrku pôsobí aj/len vonkajší tlak p .



Obr. 1 Model a výpočtový model

Numerické riešenie využíva softvér Pro/Mechanica s implementovanou p-verziou metódy konečných prvkov (pMKP). Keďže model je symetrický podľa dvoch rovín možno riešenie vykonať len na štvrtine modelu.

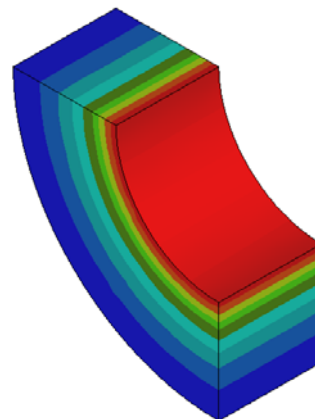
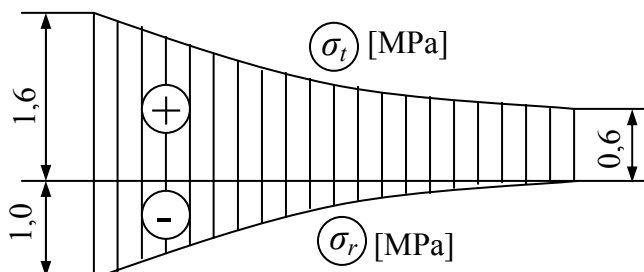
Analytické riešenie spočíva v nasledujúcom riešení. V bodoch definovaných súradnicou r , sú hlavné (tangenciálne a radiálne) napätia vyjadrené vzťahom:

$$\sigma_{t,r} = A \pm \frac{B}{r^2}, \quad (1)$$

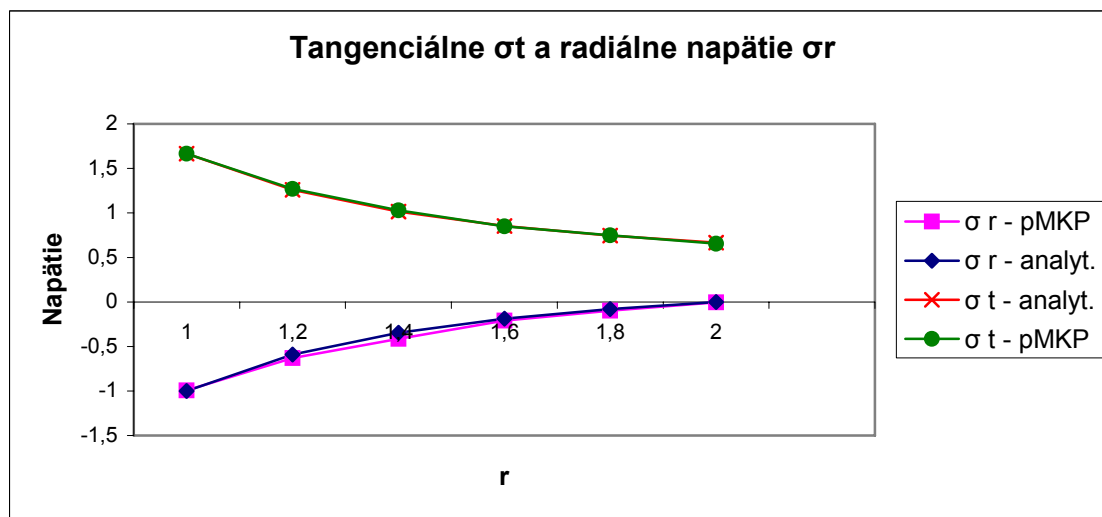
kde σ_t je napätie v tangenciálnom (obvodovom) smere, σ_r je napätie v radiálnom smere, A , B sú integračné konštanty, ktoré vypočítame z okrajových podmienok, ktoré v danom prípade sú:

$$\begin{aligned}\sigma_r(r=a) &= -p \\ \sigma_r(r=b) &= 0\end{aligned}\tag{2}$$

$$A = \frac{-pa^2}{a^2 - b^2}; \quad B = \frac{-pa^2b^2}{a^2 - b^2}$$



Obr. 2 Priebehy σ_t a σ_r (analytické riešenie) a priebeh Misesovho napätia (pMKP)



Obr. 3 Porovnanie priebehov σ_t a σ_r

Potom po dosadení do (1) dostávame vzťahy pre výpočet tangenciálneho a radiálneho napätia v mieste určenom súradnicou r :

$$\sigma_{t,r}(r) = \frac{-pa^2}{a^2 - b^2} \pm \frac{pa^2b^2}{(a^2 - b^2)r^2}\tag{3}$$

Pre radiálne posunutie v mieste určenom súradnicou r platí:

$$u_r(r) = \frac{r}{E}(\sigma_t(r) - \mu\sigma_r(r))\tag{4}$$

Na obr. 2 je vykreslený priebeh napätí získaný z analytického riešenia pre porovnanie s obr. 3, kde takmer identický priebeh je získaný numerickým riešením pomocou softvéru Pro/Mechanica. Obr. 2 zahŕňa aj priebeh Misesovho napätia získaný numerickým riešením kvôli prezentácii veľmi vhodnej a prijateľnej vizualizácie výsledkov oproti ostatným dvom.

Alternatívou tejto úlohy je hrubostenná rúrka zaťažená vonkajším tlakom, resp. aj vonkajším aj vnútorným tlakom. Úloha môže byť aj formulovaná s cieľom určiť miesto s najväčšou deformáciou v uvedených troch prípadoch, pretože výsledok riešenia je zaujímavý tým, že vo všetkých troch prípadoch najväčšia deformácia je na vnútornom priemere, paradoxne, aj v prípade, ak tlak pôsobí zvonku. Ďalšou modifikáciou je možnosť navrhnúť rozmery hrubostennej rúrky použitím zvolenej teórie pevnosti.

Uvedené môže byť kvôli rozsahu použité aj ako zadanie na domáce vypracovanie, alebo ako problematika na viac cvičení.

5 Záver

Uvedený príklad podporuje inžinierske myslenie, a to prostredníctvom kritického hodnotenia a verifikácie vypočítaných výsledkov. Takýto prístup kritického hodnotenia možno použiť aj pre iné problematiky v mechanike kontinua, ale aj označiť ho ako všeobecný prístup v súčasnej spoločnosti presýtenej množstvom informácií. Toto možno označiť ako prvý prínos.

Druhým prínosom je zaradenie problematiky hrubostenných rúrok a nádob do výučby, pretože táto téma s spolu s ostatnými, ktoré boli zahrnuté do obsahu predmetu Pružnosť pevnosť II. nie je v súčasnosti zahrnutá do výučby z dôvodu, že uvedený predmet bol zrušený pri prechode na trojstupňový systém vzdelania (bakalár – inžinier – doctor philosophy). Keďže ide o základný inžiniersky predmet je vhodné vyvinúť snahu o pretavenie obsahu predmetu, resp. jeho časti, do iných predmetov, pričom Napätové analýzy na PC sú ideálne na tento účel, avšak s upraveným rozsahom a jeho preklasifikovaním z voliteľného na povinný.

Literatúra

1. Kompiš, V.- Žmindák, M. – Kaukič, M.: Počítačové metódy v mechanike: Lineárna analýza, Žilina, ES ŽU, 1998, 152 s. ISBN 80-7100-469-3
2. Murčinková, Z. – Monková, K.: Základy modelovania konštrukcií v MKP: Programy Pro/Engineer - Pro/Mechanica. 1. vyd. Prešov : Apeiron EU, 2007. 88 s. ISBN 978-80-969763-7-9

Lektoroval: prof. Ing. Jozef Zajac, CSc.

Kontaktní adresa:

Murčinková Zuzana, Ing., PhD.,
Katedra navrhovania technologických
zariadení, Fakulta výrobných technológií TU
Košice, Štúrova 31, 080 01 Prešov, SR, tel.
00421 77 226 03-05, e-mail
murcinkova@kryha.sk