

**Posudok habilitačnej práce Ing. Ladislava Ecsiho na tému:
„Návrh matematického modelu na opis správania sa húževnatých materiálov
v extrémnych podmienkach“**

Predložená habilitačná práca je zameraná na riešenie viazanej multifyzikálnej úlohy mechaniky kontinua zahrňujúcej konečné pružno-visko-plastické deformácie pri konečných rýchlostiach pretvorenia, vysoké teploty a gradienty teplôt pri súčasnom poškodzovaní materiálu, fázových premenách či prechodu húževnatého chovania sa materiálu na krehké. Téma habilitačnej práce je veľmi rozsiahla, vysoko aktuálna, a patrí medzi najzložitejšie úlohy riešené vo výpočtovej nelineárnej mechanike kontinua.

Práca pozostáva z úvodu, z prehľadu súčasného stavu riešenej problematiky, troch nosných kapitol obsahujúcich vlastné originálne riešenie úlohy a jeho výsledky, záveru a rozsiahlych príloh. Toto členenie habilitačnej práce považujem za veľmi vhodné. Práca je písaná prehľadne a zrozumiteľne. Habilitant sa nevyhol niektorým pravopisným chybám a nesprávnym jazykovým formuláciám, ktoré som vyznačil v texte práce. Tieto však nijako neznižujú celkovú jej vysokú úroveň. Je použitý zložitý matematický aparát a odvodenie rovníc je natoľko zložitá a rozsiahla, že detailná kontrola správnosti odvodenia rovníc je veľmi náročná a možná len v ideovej forme. Všetky základné princípy a zákony mechaniky kontinua a termomechaniky boli dodržané. Riešenie úlohy je založené na princípoch nelineárnej mechaniky kontinua: rovníc dynamickej rovnováhy plne viazanej termomechanickej úlohy a rovnice nestacionárneho vedenia tepla s vnútornými zdrojmi tepla generovaným konečnými dynamickými pružno-plastickými deformáciami. Habilitant tieto rovnice rozšíril (vylepšil) a doplnil o vlastné originálne modely vnútorného tlmenia a prechodu húževnatého materiálu na krehký materiál. Pozoruhodné je zahrnutie vnútorného zdroja tepla aj z pružných deformácií, nakoľko obvykle sa predpokladá generovanie tepla len konečnými plastickými pretvoreniami. Do rozšírených, habilitantom zostavených originálnych rovníc, bola implementovaná metóda konečných prvkov. Po napísaní veľmi rozsiahleho počítačového programu boli vykonané numerické experimenty, ktorých výsledky ukazujú význam a možnosti praktickej aplikácie celej teoretickej práce, pričom tieto teoretické výsledky boli porovnané s výsledkami experimentálneho merania na rovnakom fyzickom modeli získanými inými autormi. Práca je spracovaná na veľmi vysokej vedeckej úrovni a vylepšené rovnice sa javia vierohodne. Niektoré výsledky numerických analýz sú porovnané s experimentálnymi výsledkami, pričom bola dosiahnutá ich veľmi dobrá zhoda.

Ku predloženej práci mám nasledovné pripomienky:

- Str. 14 a 15: v rovniciach (3), (4) a (5) nie je vysvetlený symbol horného pravého symbolu pri funkcionáli I .
- Str. 20: v rovnici (22) nie sú správne označené indexy, ak δ_{ij} je Kroneckerova delta, potom je to tenzorová rovnica v ktorej sa sčítací index i na jej pravej strane vyskytuje 3x, čo nie je prípustné.
- Str. 21: pri rovnici (28) treba uviesť, že i nie je sčítacím indexom v zmysle tenzorového počtu.
- Str. 22: v texte pod obr. 5 je výraz „zrútenia nosníka“ netechnický výraz.

- Str. 25: vo vete pod rovnicou (36) sa citujú premenné v predtým uvedených rovniciach. Zrejme G je modul pružnosti v šmyku a nie medza pevnosti v šmyku.
- Str. 25: piaty riadok zospodu: čo je to medza pevnosti klzu? Zrejme ide o medzu klzu.
- Str. 35: ako je definovaný bezrozmerný čas v Obr. 6? Ako boli namerané takmer nemerateľné hodnoty teploty (presnosť prístroja) uvedené v tomto obrázku?
- Str. 35: prečo sa pri plastickom ohreve uvažovalo s koeficientom 0,8 ?
- Str. 37: prečo sa v rovnici (69) uvažuje pri tlmení s rovnakou závislosťou medzi modulmi pružnosti, Poissonovou konštantou a Lamého konštantami ako je tomu pri klasickom izotropickom pružnom materiáli.
- Str. 44: Aké sa predpokladá ohraničenie zhora pre celkové generované teplo v rovnici (92)? Prečo sa uvažuje s faktorom 0.8 v tejto rovnici?
- Str. 45: Prečo sa volil koeficient prestupu tepla, zrejme voľnej konvekcie, práve 50 – vid' Tab. 1.
- Str. 45: čo je Q v Tab. 1?, prečo ste uvažovali s merným teplom $c = 500 \text{ J/kg.K}$ – je to stredné teplo v rozsahu teplôt? Je prakticky možné, aby sa aktivovala konvekcia z povrchu za tak malý čas?
- Str. 46: ako možno fyzikálne vysvetliť ochladzovanie nosníka v oblasti pružnej deformácie?
- Str. 47: ako možno vysvetliť, že maximálne ekvivalentné napätie v nosníku na konci analýzy je 237 MPa a medza klzu je 350 MPa?
- Str. 49: čím možno vysvetliť rozkmit zrýchlenia na obr. 17?
- Str. 51: tu sa zavádza pojem merného tepla pri konštantnom tlaku c_p a konštantnom objeme c_v pre látku pevnej fázy. Potom sa z nich počíta merná špecifická kapacita c (rovnica (104)). V Tab. 2 na str. 56 je táto hodnota $c = 895 \text{ J/kg.K}$. Ako bola tato konštantna (závislá aj na teplote) vypočítaná? Je táto hodnota pre celý objem nosníka rovnaká? Ako je zostavený experiment na meranie merného tepla pevnej látky pri konštantnom tlaku?
- Str. 53: ako bola počítaná emisivita povrchu σ_{EMS} , je uvedená hodnota uvedená v treťom riadku odspodu reálna?
- Str. 67 až 69: koeficient prestupu tepla konvekciou v Tab. 4 je relatívne vysoký ($500 \text{ W/m}^2\text{K}$) – prečo bola zvolená táto hodnota. Aby bolo možné posúdiť vplyv deformácie na teplotné pole spôsobené deformáciou, bolo by výhodnejšie vykonať nestacionárnu analýzu s nulovou konvekciou. Aká teplota okolia bola zvolená? Vzorka sa zhruba za 20 sekúnd ochladí v priemere o viac ako $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Je takýto rýchly dej ochladzovania reálny? Uvažovalo sa s počiatočnými podmienkami tak, že pri maximálnej teplote je v nosníku termomechanické napätie nulové, alebo zodpovedalo teplotnému namáhaniu staticky neurčitého nosníka?

Napriek týmto pripomienkam považujem predloženú prácu za výnimočnú v oblasti výpočtovej mechaniky kontinua. Aplikácia originálnych predpokladov a matematických modelov prináša nové výsledky, ktoré môžu byť do určitej miery prekvapivé a nepravdepodobné, avšak boli získané bez porušenia základných princípov a zákonov mechaniky kontinua. Dosiagnuté výsledky však bude treba v budúcnosti v každom prípade verifikovať na vhodnom fyzickom experimente, keďže súčasné komerčné softvéry neumožňujú komplexné riešenie takýchto úloh. Po takejto verifikácii bude navrhnutý matematický model patriť medzi najsofistikovanejšie modely vo výpočtovej mechanike, ktorý bude možné použiť na skúmanie odozvy mechanických prvkov a sústav na extrémne prípady mechanického a termomechanického zaťažovania.

Habilitant musel vynaložiť na riešenie úlohy strašne veľa námahy nielen z hľadiska odvodenia veľmi komplikovaných tenzorových rovníc, ale aj ich implementácie do počítačového programu.

Preto hodnotím predloženú prácu vysoko pozitívne a doporučujem ju ku habilitačnému konaniu v odbore Aplikovaná mechanika. Taktiež doporučujem, aby habilitant zväžil spracovať riešenú problematiku do vedeckej práce na získanie vedeckého titulu DrSc. v odbore Aplikovaná mechanika.

V Bratislave, 25.1.2013

.....