

Prof. Ing. Milan Žmindák, CSc., Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra aplikovanej mechaniky, email: milan.zmindak@fstroj.uniza.sk

Oponentský posudok dizertačnej práce

## Výpočtová predikce tvárneho porušování

Doktorand: **Ing. Jiří Hulka**

Študijný odbor: Inženýrská mechanika

Posudok som vypracoval na základe menovania oponentom dekanom Strojníckej fakulty VUT v Brne doc. Ing. Jaroslav Katolickým, PhD. zo dňa 2.10.2014.

Na základe pokynov dekanátu VUT Strojní fakulta v Brne predkladám vyjadrenia k jednotlivým bodom posudku:

a) aktuálnosť zvolenej témy

Predložená dizertačná práca (DzP) patrí do študijného odboru Inženýrská mechanika. Ako autor uvádza problematika tvárneho porušenia sa začala využívať najmä v posledných desaťročiach a stále nie je uspokojivo prebádaná, čo prispieva k aktualite zvolenej témy a k rozvoju vedného odboru. Prepojenie moderných metód na analýzu materiálových vlastností a ich následná implementácia do komerčných programov metódy konečných prvkov (MKP) predstavuje jeden z hlavných trendov vývoja v oblasti analýzy konštrukcii. Predložené postupy merania, zostavenie jednotlivých kritérií a riešená problematika je veľmi rozsiahla a má vedecký charakter.

b) splnenie stanoveného cieľa

Ciele DzP sú stanovené reálne vzhľadom na možnosti doktoranda. Na základe preštudovania práce sa dá konštatovať, že výsledky sú veľmi užitočné pre navrhovanie mechanických skúšok (hlavne ťahových a pečovacích) pre kovové materiály a možnosť ich použitia v MKP. Získané poznatky budú veľmi užitočné pre technickú prax, menšie výskumné pracoviska a všade tam, kde je nutne pravidelne vykonávať materiálové skúšky. Získané výsledky potvrdzujú, že zvolená metodika riešenia problematiky je správna. Doktorand ukázal, že z danej problematiky má veľmi dobrý prehľad. Súhrne sa dá konštatovať, že ciele DzP boli splnené. V podkapitole 6.4 mohol byť uvedený detailnejší popis vzoriek a taktiež návrhy k vytvoreniu spoľahlivých MKP modelov. Len sporadicky sa doktorand odkazuje na podprogram VUMAT, ktorý je nosnou časťou numerických simulácií.

c) postup riešenia, výsledky dizertácie a prínos doktoranda

Doktorand na riešenie problematiky využíva analytické, experimentálne a numerické nástroje. Vzhľadom k riešenému problému je najlepšie spracovaná problematika experimentálnych meraní, avšak absentuje detailnejší popis k ostatným metódam, hlavne k MKP modelom. Popis modelov je veľmi stručný, chýbajú informácie ktoré by lepšie vysvetlili problematiku, hlavne okrajové podmienky, typy prvkov, veľkosť siete, atď. Grafy a hlavne prezentácia výsledkov je veľmi dobrá. Niektoré prezentované výsledky sú nepresvedčivé. Časť získaných výsledkov

mohla byť súčasťou príloh (podrobnejší popis experimentálnych metód, konštitutívne vzťahy a pod.). Tu by čitateľ získal prehľadnejšie vysvetlenie.

d) význam pre prax a rozvoj vedného odboru

Hlavným výsledkom predloženej práce je vývoj a odladenie postupov pre mechanické skúšky materiálov, ako aj odladenie a implementovanie piatich kritérií poškodenia, ktoré sa získali z veľkého počtu experimentov. Veľmi pozitívne hodnotím vykonanie skúšok typu NT a SPT a možnosť ich použitia v praxi. Cenná je autorova snaha zaviesť v kap.6 aj vlastne modifikované vzorky. Porovnanie experimentálnych a simulačných výsledkov je náročné a vyžaduje uskutočniť drahé experimenty. Simulácia taktiež požaduje vhodný softvér a výkonný hardvér. Do budúcnosti by bola prospešná konfrontácia s podobnými výsledkami získanými na iných pracoviskách. Veľmi prospešné by bolo vykonať testy pre širšie spektrum materiálov.

Prínos predloženej DzP vidím hlavne vo vytvorení postupov pre jednotlivé mechanické skúšky a ich následnú implementáciu do MKP softvéru. To sa dá považovať za veľmi užitočnú verifikáciu ťahovej a pechovacej skúšky. Veľmi cenné sú poznatky získané z experimentálnych meraní. Riešenie uvedenej problematiky by mohlo byť motiváciou pre návrh nových tém dizertačných prác. To by mohlo prispieť k rozvoju pokročilejších numerických metód riešenia únosnosti konštrukcií, ako aj prispieť k lepšiemu pochopeniu poškodzovania konštrukcií a analýz tykajúcich sa iniciácie a šírenia trhlin. Získané výsledky jednoznačne obohatia rozvoj vedného odboru Inženýrska mechanika.

e) Formálna úprava

Po obsahovej stránke je práca spracovaná vcelku kvalitne, avšak členenie na kapitoly, podkapitoly, články a odseky je dosť neprehľadné. Rozsah kapitol by mal byť približne rovnaký, okrem úvodu a záveru. Kapitoly 1 a 2 sú obsiahnuté na celkovo troch stranách, čo na popis a úvod čitateľa do problematiky je nepostačujúce. Ciele DzP sú obsiahnuté celkovo na troch riadkoch, chyba obširnejší popis). Autor sa odkazuje na vlastnú literatúru, kde problematika je spracovaná detailnejšie. V práci daného charakteru by bol vhodný podrobnejší popis, aby čitateľ získal lepší prehľad o riešenej problematike. Cením si snahu autora stručne vysvetliť skúmanú problematiku, ale v niektorých častiach DzP je vysvetlenie chaotické a čitateľ stráca prehľad, resp. môže ľahko prehliadnuť dobrú myšlienku autora.

*K práci mám nasledovné pripomienky :*

- Prehľad súčasného stavu je dosť stručný vzhľadom k tomu že autor hodne cituje zahraničnú literatúru,
- str.12, chyba vysvetlenie symbolov  $T$ ,  $T_{\text{room}}$  a  $T_{\text{melt}}$ . Bolo by vhodné ich bližšie špecifikovať. Správu [10] by bolo vhodné dať ako prílohu alebo lepšie a obširnejšie popísať konštitutívne vzťahy,  $\sigma_{\text{VOCE}}$  je nedostatočne vysvetlene,
- str.14: podkapitola 3.1.2 bol by vhodný podrobnejší popis, najlepšie vo forme vývojového diagramu, alebo popis za pomoci rovníc,
- str.16: bola by vhodná grafická reprezentácia experimentu (náčrt, fotka),
- str.19-20: chyba popis ku získaním krivkám. Odkaz na ďalšiu literatúru je v danom prípade nepostačujúci,
- str.23, obrázok 4.2 je v anglickom jazyku.
- str.53, slabý popis MKP modelu. Taktiež modelovať celú zostavu ako je znázornené na obr.5.25 je zbytočné, keďže je v zaujme analyzovať vzorku,

- str.60, bolo by vhodnejšie namiesto malého výseku zvolit' rovinný model. Znížilo by to výpočtový čas. Taktiež interpretácia získaných výsledkov nie je postačujúca, žiada sa lepšie vysvetlenie grafov. Pojem „surová data“ nie je vhodný.

*K práci mám nasledovné otázky :*

1. Interpretujte výsledky získané v grafe na obr. 3.6 a v tab.5. Ako ste ich použili ďalej?
2. V článku 5.4.3 popisujete na obr.5.25 vpravo numericky simulačný model. Vysvetlite zvolenú rovinnú symetriu, výpočtový model a celkový výpočtový čas. Taktiež používate dva prístupy simulácie. V čom predpokladáte, že vznikli rozdiely vo výsledkoch v jednotlivých prístupoch ako je vidieť na obr.5.27?
3. V práci sa uvádza riešenie implicitným kódom. Prosím vysvetlite tento pojem s ohľadom na riešenie?
4. V článku 6.3.2 popisujete model pre inverzne úlohy (analýzu). Prečo bol použitý ANSYS APDL a optimalizačný program OptiSlang namiesto používaného programu ABAQUS?
5. Detailnejšie vysvetlite postup simulácie SPT s uvážením porušenia, ktoré uvádzate v podkapitole 6.5. Aký typ prvku ste použili? Koľko numerických výpočtov sa uskutočnilo na overenie postačujúcej veľkosti prvkov?
6. Str.85, na obr. 3.17 je numericky model pre SPT aj s výsledkom, kde je poukázané na miesto iniciácie poškodenia. Použitím vhodného podprogramu má softvér ABAQUS možnosť nastaviť poškodenie po dosiahnutí konkrétneho stavu napätosti (prípadne sa dá použiť deformačné kritérium). Z textu DzP nie je jasne či sa aplikovalo dané kritérium? Ako sa vyhodnotilo miesto iniciácie?

### **Vyjadrenie sa k tézam práce**

Tézy DzP sú spracované prehľadne. Členenie na podkapitoly a články nie je vhodné. Čísla článkov, t.j. napr. 3.1.1 odporúčam neuvádzať. Je potrebné doplniť prehľad súčasného stavu riešenej problematiky. Názov 4. kapitoly odporúčam uviesť v češtine.

### **Záver:**

Doktorand svojou dizertačnou prácou preukázal, že má predpoklady pre aplikovanie vedeckých metód riešenia zadaného problému. Preukázal, že ovláda numerické a experimentálne metódy v oblasti mechanických skúšok materiálov, aplikoval nove poznatky na konkrétne problémy a poukázal na ich možnosti využitia v budúcnosti. Získané teoretické výsledky dokáže aplikovať v praxi. Experimentálne a simulačné výsledky analyzoval a vyhodnotil.

Na základe uvedeného konštatujem, že dizertačná práca vyhovuje podmienkam v súlade so zákonom o vysokých školách v Českej republike a po úspešnej obhajobe

**navrhujem udeliť doktorandovi Ing. Jiřímu Hůlkovi titul PhD.**

V Žiline, 11.11.2014

---