

Oponentní posudek diplomové práce

studenta **Bc. Petra Hanzlíka**

vypracované na téma

## **Parametricky tvořený model standardizovaných testů kohezivních spojů**

Práce se zaměřuje na problematiku numerického modelování kohezivních spojů zejména kompozitních materiálů a s tím spojenou problematiku získání relevantních dat pomocí experimentálních testů.

Student v práci nejprve přehledně a s rozumnou mírou detailu popisuje potřebné analytické modely a přístupy nutné pro popis porušování kohezivního rozhraní kompozitních materiálů, jako je klasická laminátová teorie, parametr kritické rychlosti uvolňování deformační energie vnitřních sil, dvou- a trojrozměrná pevnostní kritéria, nejčastěji používané modely kohezivního rozhraní a přidružené numerické postupy pro metodu konečných prvků („kontakty“) a rovněž celou řadu standardizovaných experimentálních testů pro analýzu delaminace, které je nutné použít pro volbu a kalibraci vhodného materiálového či obecně výpočtového modelu.

Stěžejní částí práce je zpracování dat z různých typů dříve provedených experimentů na několika druzích materiálů (jak spojovaných, tak i spojů) a vytvoření příslušných numerických modelů, na nichž je provedena citlivostní analýza jednotlivých parametrů zvolených materiálových modelů kohezivního rozhraní.

Práce má celkem 75 stran včetně mnoha tabulek a grafů. Je sepsána v češtině s výbornou jazykovou i grafickou úpravou jen s minimem překlepů, typografických a gramatických chyb či technických nepřesností (ve stěžejních částech). Na práci je vidět, že autor byl nucen věnovat velké množství času komplikovaným numerickým modelům, a to zejména při tvorbě automatizovaných skriptů. Velkým přínosem práce je, že na získané výsledky a logicky popsané postupy lze plynule navázat a uvedené modely dále rozšiřovat a vylepšovat.

Otázky na autora:

1. Str. 4 – Je možné, aby  $G > G^c$ , pokud uvažujeme, že platí Griffithova teorie?
2. Jak si lze představit „rozdělení“ hodnoty  $G^c$  do složek dle módů?
3. Str. 6 – Které jsou zbývající 2 klíčové parametry u B-K kritéria (2.7)?
4. Str. 14 – Co je u parametru  $\Delta$  realita a co model?
5. Obr. 5.5 – Jaký význam má oblouk ležící v rovině posuv-posuv?
6. Str. 41 – Je opravdu čelo trhliny jednoznačně určeno i v případě nejjednodušších testů?
7. Obr. 7.3 – Jaký je rozdíl mezi bloky „Analýza experimentů“ a „Experimentální“.
8. Obr. 8.10 až 8.15 – Jaké veličiny jsou vyobrazeny konturami a proč byly zvoleny právě tyto?
9. 9 – V čem by měl být lepší vlastní materiálový model?

Formální připomínky k textu práce (chronologicky):

1. Rychlost uvolňování energie  $G$  je veličina nikoliv parametr. Parametrem je např.  $G^c$ .
2. Pro ještě větší přehlednost je vhodné psát indexy, jako jsou názvy či zkratky, normálním fontem – antikvou (tedy  $G^c$  – „critical“,  $t_{mat}$  – „material“,  $t_{glue}$  – „glue“).
3. Sjednotit značení potenciální energie  $\pi$ , resp.  $\Pi$  (v literatuře častější).
4. Str. 2 – trochu neobratné napojování vět v podkap. 2.1.
5. Vztahy (2.2) a (2.3) raději přesunout až do kap. 4, ve 2.2 nejsou pochopitelné.
6. Kriterium (2.7) je patrně rozšířeno do všech tří směrů.
7. Chybí odkaz na obr. 3.2.
8. Více odkazů na literaturu lze psát dohromady např. [21, 22, 25].
9. 3.1 – Bylo by vhodné uvést princip výpočtu  $G$  u techniky VCCT v numerickém modelu.
10. 3.3 – XFEM je předmětem výzkumu mnoha prací (Google + XFEM).
11. 3.4 – Není jasné, jak tato metoda může být implementována do MKP a jak souvisí s daty z experimentu.
12. 3.5 – Místo „laminátovou teorii“ má být „lomovou mechaniku“.
13. 4 – Bylo by vhodné uvést zdroje z literatury či praxe (ASTM, NASA...).
14. 4.1 – V obrázcích 4.1 až 4.15 nejsou správně umístěné osy souřadnicového systému. V obr. 4.3 a 4.4. si délkově neodpovídají některé stejné rozměry ( $L$ ,  $a$ ). V obr. 4.5 je použit bod A, ale ten neodpovídá předchozímu textu a obr. 4.5.
15. 4.18 – Meze integrálu jsou  $-h$  až  $h$ .
16. Str. 27 – Správně je „Robert Hooke“ a poměrné prodloužení (nikoli p. deformace).
17. Str. 31 – Správně je „stav rovinné napjatosti“.
18. Str. 32 až 34 – Pozor na prohozené meze u některých integrálů a indexy  $i$ ,  $k$ ,  $l$ .
19. Str. 35 – U CLT nedochází ke krutu a tudíž ani ke zkroucení. Jedná se o ohyb a křivost.
20. (5.32) – Složitě zapsaná suma se přímo rovná tloušťce laminátu  $h_n - h_0$ .
21. 6.2 – Chybí odkaz na obr. 6.2. Interval pro úhly  $\Phi$  jsou např.  $\Phi \in (0^\circ; 90^\circ)$ .
22. 6.3 – Jak bylo usouzeno a k jaké analýze?
23. 7 – Chybí odkaz na obr. 7.1 a odkazy na použité zdroje dat z testů, např. [24].
24. Obr. 7.2 – Jednotky v textu se píšou bez závorek.
25. 8 – Bylo by vhodnější souhrnně uvést geometrické parametry vzorků/testů, nastavení konečno-prvkových modelů (velikost prvku  $a_{MKP}$ ) a označení zdrojových dat.
26. Obr. 8.2 až 8.9 – Jednotky nepsat kurzivou.

Závěrem konstatuji, že student splnil všechny body zadání diplomové práce. Doporučuji proto práci k obhajobě a hodnotím ji známkou

**výborně.**

V Plzni dne 18. srpna 2016



Ing. Robert Zemčík, Ph.D.