



## Oponentský posudek doktorské dizertační práce

- Název:** Evaluation of fracture mechanical parameters for bi-piezo-material notch
- Autor práce:** Ing. Miroslav Hrstka (Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, FSI VUT v Brně)
- Oponent:** Ing. Aleš Materna, Ph.D. (Katedra materiálů, FJFI ČVUT v Praze)

### *Aktuálnost tématu, význam pro praxi a rozvoj vědního oboru*

Doktorská práce, která je předmětem tohoto posudku, rozvíjí poznatky lineární lomové mechaniky piezoelektrických materiálů. Snaží se o popis pole napětí v okolí vrubů a trhlin na rozhraní dvou anizotropních materiálů. I když je práce teoretická, její závěry najdou uplatnění například při odhadu kritického zatížení piezoelektrických aktuátorů a senzorů. Proto považuji zvolené téma práce za aktuální a potřebné.

### *Splnění stanovených cílů*

Doktorská dizertační práce splnila všechny své cíle vytyčené v kapitole 3.

### *Postup řešení problému*

Doktorand se nejdříve seznámil se základními pojmy a vztahy lineární lomové mechaniky se zaměřením na obecné koncentrátory napětí a s pojmy a vztahy piezoelektrické elasticity. Poté si vytyčil konkrétní cíl práce, který je po matematické stránce velice náročný. Vydal se asi nejschůdnější cestou a hledal řešení pomocí funkcí komplexní proměnné. Vyšel přitom z Lechnického-Eshelbyho-Strohova formalismu pro popis mechaniky anizotropního materiálu pomocí vlastních čísel a vlastních vektorů materiálu. Poté použil rozšířenou verzi téhož formalismu pro popis mechaniky piezoelektrického anizotropního materiálu. Osvojené nástroje použil pro výpočet zobecněného součinitele intenzity napětí a vše ilustroval na několika vybraných případech těles s vrubem nebo trhlinou na rozhraní dvou materiálů. Prvním krokem byl vždy výpočet exponentů singularity napětí, který byl následován výpočtem zobecněných součinitelů intenzity napětí pomocí  $\Psi$ -integrálu. Pro výpočet  $\Psi$ -integrálu nejdříve numericky stanovil napětí a posuvy ve zvolené vzdálenosti od koncentrátoru napětí s použitím programu ANSYS založeném na metodě konečných prvků. Poté provedl vlastní integraci s využitím funkcí pythonovských modulů NumPy a SciPy.

Proti zvolenému postupu řešení problému a vlastnímu provedení výpočtů nemám žádné námítky.

### *Formální úprava a jazyková úroveň*

Formální úprava a jazyková úroveň dizertační práce je excelentní a nemám v tomto ohledu žádné výtky. Dizertace je přehledně členěna do 6 kapitol a 6 dodatků. Má všechny požadované náležitosti včetně seznamu veličin a zkratk. Rovnice, obrázky i citace jsou náležitě číslovány. Všechny obrázky a grafy jsou srozumitelné a mají velmi vysokou grafickou úroveň s jednotnou úpravou. Pro čtenáře, který není blíže obeznámen se způsobem vizualizace funkce komplexní proměnné, je vše vysvětleno v dodatku A.

### Otázky k obhajobě

1. Na str. 75 i 105, kde popisujete okrajové podmínky MKP modelu bi-materiálového vrubu, konstatujete, že posuvy ve směru zatížení uzlů horní hrany tělesa jsou udržovány během zatížení stejné z důvodu minimalizace nerovnoměrnosti zatížení. Můžete rozvést, jaké zatížení okolí vrubu považujete za nejvhodnější pro Vaše parametrické studie?
2. S předchozí otázkou souvisí i rozměry řešeného tělesa. Poměr výšky a šířky tělesa 1:1 vycházel z nějaké konfigurace typické pro problematiku bi-materiálových vrubů nebo jste si ho zvolil? Např. při větší výšce by rozdíl mezi jednotlivými způsoby zatížení (konstantní napětí vs. konstantní posuv horní hrany) nebyl tak výrazný. Čtvercový tvar tělesa navíc vede ke zkrácení horní hrany již při úhlu  $\omega_1 = 135^\circ$ , což vede ke snížení celkové vnášené síly. Můžete rozměry řešeného tělesa okomentovat s ohledem na výše uvedené?
3. Rovnice  $H_k(\sigma_{\text{appl}}) < H_{k\text{crit}}$  (str. 20, r. 2.9) je vyjádřením podmínky stability obecných singulátorů napětí při mechanickém zatížení. Dá se předpokládat, že hodnota  $H_{k\text{crit}}$  je platná i pro případ elektrického zatížení piezo-elektrických materiálů s vrubem?

### Vyjádření k tezím dizertační práce

Teze dizertační práce mají všechny předepsané náležitosti a mohou být publikovány v současné podobě.

### Závěrečné hodnocení

Doktorand splnil všechny své vytyčené cíle. Výsledky své doktorské práce průběžně publikoval jako hlavní autor nebo spoluautor v celkem 4 publikacích, z toho 2 impaktovaných článcích. Shrnující článek přihlásil k publikování do prestižního časopisu *Engineering Fracture Mechanics*. Podílel se i na 8 dalších publikacích přímo nesouvisejících s tématem dizertace.

Ing. Miroslav Hrstka svou excelentní prací i publikovanými výsledky prokázal, že je schopen samostatné vědecké práce, a proto

**doporučuji udělení titulu Ph.D.**

V Praze dne 10. 06. 2019

Podpis oponenta: .....