

Oponentský posudek diplomové práce

Název práce: Metoda konečných prvků a její použití v úlohách kmitání elastického tělesa

Autor: Prokop Pučejdl

Předložená práce se zabývá matematickou formulací a následným numerickým řešením statické a dynamické deformace elastického tělesa. Je zde odvozen matematický popis jak lineárního modelu vhodného pro problémy s malými deformacemi, tak i model (geometricky) nelineární vhodný pro úlohy s velkými deformacemi, rotacemi či předpětím. Numerické řešení je založeno na metodě konečných prvků (MKP) a Newmarkově metodě pro prostorovou a časovou diskretizaci. Autor práce sám implementoval MKP pro 3D úlohy v jazyce C. Vytvořený program následně využil k řešení problémů deformace nosníku, vyšetřování vlastních frekvencí a tvarů kmitání modelu křídla. Na závěr je analyzováno kmitání modelu lidské hlasivky včetně vlivu předpětí na vlastní frekvence.

Zadání a provedení této práce bylo náročné, neboť bylo potřeba se seznámit s nelineární mechanikou kontinua, odvodit její správnou slabou formulaci a tu realizovat v MKP včetně správné linearizace. Rád bych vyzdvihl i vlastní realizaci programu řešícího 3D úlohy včetně možnosti volby ortotropních materiálových vlastností. Zvolený postup řešení pomocí MKP považuji za správný a naprosto vhodný.

Diplomová práce se řadí ke stručnějším, ale rozsah je dostatečný. Je dobře členěná i čitelná, akorát na několika místech bych doporučil lepší vysvětlení postupu. Počet gramatických chyb (především čárky) není vysoký. Dovolím si pár komentářů, často jako komentářů ke zlepšení (OP = okrajové podmínky):

- str 5: je vhodné rozlišit dva typy nelinearity - popsána geometrická a navíc existuje ještě materiálová (mez pevnosti, hystereze, atd.)
- některé věty by bylo vhodné rozdělit do dvou (str 12: a deformací, daným => Ty jsou dány.; chování, pro který ; str 25: vytvořenou funkci, implementující)
- česky je správně Greenův-Lagrangeův tenzor deformace; Hookův zákon
- (33) chybí zde index f_i ; (21,24, atd) napravo má být vektorová nula; (36) F tučně
- str 9: takto není jasné, jak je to v bodech na povrchu tělesa - Je σ je definováno doopravdy pouze skrze t ?
- (41-44) není na první pohled jasná závislost W na F , E , e , u , x .
- str 14: odkaz na (25) není vhodný (je stacionární); JAKOU Rovnici vynásobíme; **chybí definice prostoru H^1** ; JAKA Výsledná rovnice má tvar
- definice přípustné triangulace ad 3) chybí společná hrana; (67) z pohledu skalární fce nedává smysl; **definici (68) chybí OP**
- str 25: N je počet uzlů soustavy ??
- str 26: Datová struktura, ve které je uložena matice je zásadní pro výpočetní náročnost programu - nejen, také i struktura a podmíněnost matice
- str 28: postupně zvětšující se jemností = lépe: postupně zjemňovaných
- Obr 7 lze vylepšit = přidat např. tečky do pravého grafu, aby byl znázorněn i čas dokmitu
- popis Obr 11 (čí je co); Obr 17 - popis s $f[\text{Hz}]$ by pomohl; Tab 6 – přidat slovo ZORNER; popis Tab 7 - tří předpětí; Obr 27 bez popisu os je na nic; tab 3 - G není definováno
- **chybí odkaz** na Tab 6, Obr 3; chybný odkaz na Tab 5 - zde je i 4. mód špatně, navíc chybí zmínka o MALE modelu v popisku

Moje první relevantní výtka je, že autor sice vybral vhodnou literaturu, ale šetří s jejím citováním. Tím by si v textu ušetřil několik nejasností, např.: proč platí rce (29), (102), (144); mohl by lépe opřít své tvrzení, viz str 9: Závislost vektoru napětí na normále je lineární.. nebo odkaz na použitou geometrii na str. 39 a na známý testovací model na str. 33.

Moje druhá a poslední relevantní výtka je, že u výpočtů v části 5.2 (ok, křídlo), ale především pak v části 5.3 nejsou uvedeny použité OP. Taktéž nastavení výpočtů pomocí přenosové funkce by bylo vhodné lépe popsat.

Naopak kladně hodnotím podrobný popis linearizace nelineárního problému a grafickou podobu obrázků. Doopravdy zajímavá je analýza vlivu předpětí na vlastní frekvence, doporučuji zvážit její publikaci.

K práci mám tyto otázky:

- 1) Mohl by autor dokázat rovnost v rovnici (29)?
- 2) Jsou výsledky shrnuté v Tabulce 1 blízko zkonvergovaným hodnotám? Numerické řešení na M1 až M3 takto vypadá silně závislé na síti. (Tab 1 by prospělo i zahrnutí výsledků z Calculixu).
- 3) Překvapilo mě, že příkaz eigs() zvládne počítat i s velkými matice s rozměry 10^5 a více. Jak dlouho jeden výpočet ve standardním nastavení pro takovéto rozměry trvá (a jaký je skutečný rozměr vyšetřované matice)?
- 4) Je vzorec budícího tlaku (153) správně? Doopravdy roste spolu se souřadnicí x nehledě na y?
- 5) Prosím o vysvětlení věty ze str 51: .. pro předepjatý model p3 se laterální frekvence kmitů objevuje jako třetí vlastní mód.

Diplomová práce splňuje všechny body zadání. Autor až na pár drobností odevzdal kvalitní a zajímavou práci, ve které našel vlastní frekvence a vlastní tvary několika konfigurací lineárních i nelineárních elastických těles. Předloženou závěrečnou práci navrhuji k obhajobě a hodnotím ji známkou A (výborně).

V Praze, dne 20. srpna 2023

Ing. Jan Valášek, Ph.D.