

Oponentský posudek diplomové práce studenta

Dmytro Korcha

na téma

Analýza prutových konstrukcí metodou konečných prvků

Autor se v práci zabývá řešením prutových konstrukcí metodou konečných prvků s využitím obecného prutového prvku namáhaného zároveň na tah-tlak, ohyb a krut.

Práce je rozdělena do 5 kapitol. Po první úvodní kapitole jsou v kapitole 2 stručně shrnuty principy a přístupy metody konečných prvků. Třetí kapitola je věnována odvození veškerých analytických vztahů nutných k odvození matice tuhosti zvoleného prvku. Čtvrtá kapitola popisuje vytvořený výpočtový program v prostředí Matlabu včetně grafického uživatelského prostředí. V poslední páté kapitole jsou uvedeny 3 příklady použití vytvořeného programu za účelem verifikace, a to porovnáním s výsledky komerčního software Abaqus.

Za stěžejní část práce považuji jednak provedené odvození analytických vztahů a finální matice tuhosti a také implementaci řešiče v prostředí Matlab včetně popisu funkcionality, která umožňuje uživateli provádět konečnoprvkovou analýzu prutových konstrukcí pomocí dat ve vstupních souborech. V této chvíli jde o konstrukce, jejichž geometrie je popsána ve 2D prostoru a pouze s možností bodového zatížení (síly a momenty), ale věřím, že s drobným úsilím je možné tento postup úplně zobecnit na 3D geometrie zatížené i spojitým obtížením. Výsledky získané studentovo softwarem jsou v porovnání s výstupy komerčního produktu kvalitní a na vybraných příkladech nepřesahuje odchylka hodnotu 2 %. Jistě by bylo možné najít jiné příklady, kde by se kvalita prvku ověřila více, třeba i v porovnání s analytickým řešením (i u příkladu krakorce v 5.1).

Teoretická a výsledková část práce v kapitolách 3 až 5 je sepsána přehledně a srozumitelně, jen s drobnými stylistickými či terminologickými nedostatky. Grafické provedení práce má také velmi dobrou úroveň. Úvodní kapitola a některé historické či motivační pasáže v kapitole 2 (i dále) působí zbytečně neprofesionálně („provést obrat bylo velmi příhodné“, „procházka růžovým sadem“, „zbývá jen krůček“ atp.). Čtenáře, který problematiku zná, mohou takové pasáže dráždit svou nekonkrétností či jednoduchostí. Naopak, čtenář, který MKP nerozumí, nemůže určité věci pochopit, protože zde chybí řada podmiňujících vztahů a předpokladů. Z textu je však patrné nadšení, které student do celé práce vložil a je evidentní, že bylo nutné věnovat práci dlouhé měsíce.

Určitým teoretickým nedostatkem je, že již v zadání práce bylo cílem sestavit „jen“ matici tuhosti prvku, avšak s tím je nevyhnutně spjato i definování vektoru neznámých a odvození vektoru pravé strany. Výsledná forma vektoru pravé strany nemusí být u takovýchto komplikovanějších typů prvků zřejmá na první pohled a odvození by tak mělo být nedílnou součástí nového konečného prvku.

Formální připomínky

- Abstract – V anglické terminologii se spíše používá I místo J .
- Str. i – GUI je Graphical user interface, E je matice elastických konstant, uvw jsou posuvy ve směrech xyz , ϵ je deformace neboli poměrné prodloužení, ϵ a σ jsou matice (sloupcové vektory) obsahující složky tenzorů deformace (a pozor na zkos např. v (3.55)) a napětí. Součiny EJ apod. mají svůj fyzikální význam, ale každá veličina funguje i samostatně, takže netřeba uvádět.
- Kap. 1 – 2. až 6. odstavec je zbytečný.
- Obr. 2.1 – Referenci [6] (verze z r. 2004) takové schema neobsahuje.

- 2.1 – Ilustrační příklad sám autor v [6] uvádí jako ne úplně šťastný. Navíc Archimedes nemohl použít funkci sinus a počítat hodnotu π jako funkci π . Postupoval jinak a asi se dost zapotil...
- Obr. 2.2 – To vypadá jako čistá kopie z [6]. Pozor na copyright.
- Tab. 2.1 a ostatní plovoucí objekty by neměly být vnořeny mezi jednotlivé věty. Stěžuje to čitelnost textu. Raději nahoru/dolů na stránku či mezi odstavce. Případně v rámci odstavce nechat obtékat po stranách.
- Str. 6 – Termín vakuová technologie je asi přeložen z *vacuum tube (technology)*, čili se jedná o elektronky.
- Str. 7 – Není vůbec jasné o jaké problémy a komplikace v bioinženýrství jde. Chybí reference.
- 2.2 – Chybí základní či výchozí vztahy pružnosti a rovnou se „odvozuje“ MKP.
- Kap. 3 – Označení rovin xy atp. by mělo být psáno xy .
- Str. 22 – Nesouhlasím s posledním odstavcem. Takhle je to matoucí.
- Kap. 4 – Chybí verze Matlabu, ve které to bylo testováno.
- Obr. 4.2 – Proč jsou u grafu osy označené „Label-x“ atp.?
- 4.3 – Matoucí označení *joints* a *connections*, když se jedná o MKP. Srozumitelnější by bylo prostě *nodes* a *elements*. Stejně tak styčnick je zde uzel a propojení styčnicků je prvek.
- 4.3.4 – Chybí definice matice **J** a odvození či reference vedoucí ke vztahu (4.4).
- Kap. 5 – Chybí označení typu použitého prvku v SW Abaqus.
- 5.4 – Místo klady a záporů bych spíše uvedl výhody a nevýhody.

Otázky

1. V úvodu chybí konkrétní motivace a rešerše stávajícího stavu. Je tento prvek nový či unikátní? Existuje (podobný) někde v literatuře? V čem tkví jeho výhoda oproti jiným, stávajícím?
2. Chybí uzly a úhel δ . V jakých bodech jsou vedeny tečny a proč?
3. Kap. 3 Bod 7. – Je nutná podmínka symetrie podle os v a w (viz str. 26)?
4. (3.53) a (3.54) – Jak souvisí v_T a w_T s předchozími vztahy?
5. (3.105) – Jak vypadá kompletní soustava rovnic (vektor neznámých a pravá strana)? Vztah (4.2) s (6 neznámými) by měl být uveden už před (3.99). Jak souvisí s (4.1), kde je 9 neznámých?
6. 4.3.3 – U definice úhlů u zatížení záleží na pořadí (precese, nutace), nebo se jedná o úhly ve smyslu výsledných směrových kosinů?
7. 5.1 – Lze porovnat i hodnoty natočení (ostatní nenulové stupně volnosti) a ideálně s analytickým řešením?
8. 5.2 a 5.3 – Abaqus neumí zahrnout vliv smykových sil, nebo proč toto nebylo porovnáno?

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

výborně.

V Plzni 9. 7. 2020

doc. Ing. Robert Zemčík, Ph.D.