

Prof. Ing. Jiří Křen, CSc.  
Katedra mechaniky  
Fakulta aplikovaných věd  
Západočeská univerzita v Plzni  
Univerzitní 22  
306 14 Plzeň

## OPONENTSKÝ POSUDEK

Diplomové práce **Bc. Jana Špičky**  
nazvané

### Kontaktní úloha dvojkyvadla

Diplomová práce Bc. J. Špičky se zabývá numerickým řešením kontaktní úlohy elipsoidu a rovinné plochy, resp. obecně kontaktem těles. Použité modely kontaktu jsou založeny na diskrétní (elementární teorie rázu) a kontinuální teorii. Prezentovány jsou Hertzův model a reologický Kelvinův-Voigtův model s lineárním a nelineárním tlumičem.

Cílem diplomové práce je provést numerické řešení kontaktu prostorového dvojkyvadla s rovinnou plochou a aplikace tohoto modelu v biomechanice na jednoduchém příkladu čelního nárazu dolní končetiny chodce s autem.

Diplomová práce o 77 stránkách je napsána v anglickém jazyce a je rozdělena do pěti kapitol. Následuje zkrácený seznam použitých zkratk v textu a literární zdroje použité v práci. V úvodu autor uvádí stručně čtenáře do řešené problematiky a uvádí motivaci pro aplikaci kontaktních úloh v biomechanice člověka. Kapitola 2 práce je rešerše literatury, která je využívána při modelování kontaktních úloh. Jsou zde zmíněny základní aproximace ploch, polohy dotkových bodů a kolizí povrchů dvou těles. Dále je zde uvedena obecná definice elipsoidu a numerické přístupy obecně k hledání dotkových bodů geometrických objektů. Dále jsou uvedeny základní modely kontaktu dvou těles a uvedeny dva základní přístupy k modelování – elementární teorie rázu (diskrétní model) a kontinuální model kontaktu (Hertzův model, reologický Kelvinův-Voigtův model s lineárním a nelineárním tlumičem). V nejrozsáhlejší kapitole 3 autor zavádí prostorový model dvojkyvadla včetně použitých souřadnicových systémů pro popis těles a jejich pohybu. Pro popis pohybu těles používá maticovou metodu s využitím transformačních matic základních pohybů, aplikuje základní rozklad obecného prostorového pohybu těles a pro popis relativního sférického pohybu aplikuje Eulerovy úhly. Pro sestavení pohybových rovnic dvojkyvadla aplikuje Lagrangeovy rovnice druhého druhu, uvádí vazbové rovnice soustavy těles včetně multiplikátorů a naznačuje numerické řešení celého systému diferenciálně-algebraických rovnic dvojkyvadla. Dále v této kapitole řeší vlastní kontakt mezi tělesem (elipsoid) a rovinnou plochou, řeší body dotyku, kontaktní síly a zavádí problém optimalizace parametrů kontaktu. Zde využívá software optiSlang a cílovou funkci definuje jako kvadrát odchylek mezi vypočtenou a změřenou polohou skákající kuličky. Nakonec ještě zavádí a diskutuje problém s nespojitou kontaktní silou. Kapitola 4 diplomové práce je věnována prezentaci výsledků a diskusi nad získanými výsledky řešení modelových kontaktních úloh. Je zde uveden volný pohyb dvojkyvadla se dvěma stejnými tělesy, následuje modelová úloha pohybu paže člověka s uvažováním pouze její vlastní tíhy a srovnání s výsledky experimentu. Další část je věnována numerické optimalizaci parametrů kontaktu s aplikací na výše uvedené modely

kontaktu. Ze srovnání s experimentem (skákající kulička) nejlépe vychází Kelvinův-Voigtův model s lineárním tlumičem (pohyb i kontaktní síla). Potom již autor přistupuje k řešení modelové kontaktní úlohy dvojitého kyvadla s rovinnou. Aplikační kapitolu potom završuje řešením kontaktní úlohy v biomechanice, kde řeší náraz chodce (makety dolní končetiny) s autem. Celá bakalářská práce je zakončena závěrem s diskusí nad získanými výsledky. S uvedenými závěry je možno souhlasit, chybí však nástin dalšího možného rozvoje v řešení prezentované problematiky.

Diplomová práce je obsahově napsána srozumitelně s logickou stavbou. Má velmi dobrou odbornou úroveň. Totéž však nelze říci o celkovém zpracování a grafické úpravě práce. V práci je poměrně velký počet prepisů až omylů (často chybný zápis vektoru a skaláru, např. str. 46, vztah (3.92); chybné výroky - např. str. 18, definice plastického a elastického rázu, str. 30, kinetická energie není funkcí zobecněných rychlostí, str. 69, koleno a loket jsou anatomicky podobné klouby, str. 40, vztah (3.30), str. 43, vztah (3.78), str. 48, vztah (3.97) je jiný než (2.23), str. 54, vztah (3.112) atd.). Dále některá použitá označení nejsou dostatečně vysvětlena (např.  $h_{cont}$ , penetrační rychlost  $\dot{\delta}$ ,  $k_f$  - frikční tuhost,  $s$  - vektor frikčního posunutí) a nevhodně se používají indexy (např. str. 28). Rovněž tak bych uvítal podrobnější popis použitých algoritmů (str. 47 a str. 49). Uvedená vazba mezi kapitolou 4 (výsledky a diskuse) a teoretickou kapitolou 3 je zcela nepřehledná (pouze se konstatuje, že se využívají závěry předchozí kapitoly bez jakéhokoliv upřesnění a odkazu na příslušné vztahy). Výsledky jsou zpracovány pouze v grafické formě a většinou hodně netransparentně (např. str. 58, obrázky jsou těžko čitelné).

#### **Otázky do diskuse při vlastní obhajobě diplomové práce.**

- 1) Prosím o vysvětlení vztahů (2.18) a (2.19) na str.19.
- 2) Jak byl určen vektor vnější normály elipsoidu (str. 43) a jak byly napočteny kontaktní síly podle vztahů (3.87) až (3.89) na str. 45?
- 3) Jak se určuje  $h_{cont}$  a penetrační rychlost  $\dot{\delta}$ ?
- 4) Prosím o vysvětlení algoritmu pro optimalizaci parametrů kontaktu (str. 49).
- 5) Prosím o vysvětlení „IF problému“ (str. 53).
- 6) Jak autor řešil a jaké software použil při řešení aplikačních úloh?
- 7) Prosím o vysvětlení grafických výsledků např. na str. 58 a na str. 68.

#### **Závěr**

*Diplomová práce splnila uvedené zadání a stanovené cíle. Práce má poměrně dobrou obsahovou úroveň s konkrétními teoretickými i praktickými přínosy. Formální úprava diplomové práce však dosti pokulhává za obsahovou úroveň.*

*Diplomovou práci doporučuji k obhajobě před komisí SZZ na KME. Vzhledem k velkému počtu nepřesností hodnotím práci známkou „velmi dobře“.*

V Plzni dne 13. června 2013

Prof. Ing. Jiří Křen, CSc.

