

Matematické modelování vlastností měkkých tkání

Bakalářská práce čítající 52 stran je zaměřena do oblasti identifikace materiálových parametrů viskoelastických modelů měkkých tkání, konkrétně kloubní chrupavky. Celkem 41 stran vlastního textu je přehledně a logicky rozděleno do sedmi kapitol, včetně úvodu a závěru.

V úvodu se po krátké motivaci autorka věnuje možnostem náhrady chrupavek při degenerativních onemocněních kloubů a stručně formuluje cíle práce. Ve druhé kapitole je proveden obecný popis stavby tkání a dále je pozornost zaměřena na specifika anatomie kloubní chrupavky. Další kapitola pojednává o mechanických vlastnostech měkkých tkání. Po přijetí předpokladu modelování chrupavky jako lineárního homogenního viskoelastického kontinua jsou zde popsány základní diskrétní viskoelastické modely a definovány pojmy jako creep, relaxace, relaxační čas apod. Dále jsou uvedeny příslušné relaxační funkce pro modely využívané pro potřeby této práce, tj. pro Zenerův model standardního tělesa a zobecněný model standardního tělesa s pěti materiálovými parametry. V úvodu čtvrté kapitoly je formulována cílová funkce pro úlohu optimalizace a následně jsou pak odvozeny vztahy potřebné pro stanovení funkce napětí $\sigma(t)$ na základě znalosti historie zatěžování deformací $\varepsilon(t)$ pro oba studované modely.

Pátá kapitola je věnována základním pojmům z oblasti parametrické optimalizace. Pozornost je zaměřena zejména na popis principu metody největšího spádu a metody zlatého řezu, jež byly použity pro vlastní řešení optimalizační úlohy. Algoritmus hledání optimálních hodnot parametrů použitých materiálových modelů je pak popsán v předposlední kapitole. Na základě porovnání výsledků získaných pomocí vlastního kódu napsaného v prostředí Matlab a standardní optimalizační funkce Matlabu *fmincon* autorka dále dokladuje správnost algoritmizace a vlastního provedení optimalizace. Uvádí jednak výsledky dvouparametrické optimalizace pro tři různé volby relaxačního času a tříparametrické optimalizace pro model standardního tělesa a dále pak výsledky pětiparametrické optimalizace pro zobecněný model. V závěru této kapitoly je pak porovnána odezva chrupavky na schodovité zatížení deformací určená pomocí nalezených optimálních parametrů s experimentálně stanovenou odezvou a diskutována vhodnost použitých modelů pro modelování chování chrupavky. V závěru práce jsou shrnuty dosažené výsledky a nastíněna možnost dalšího pokračování.

Z formálního hlediska je předložená práce na dobré úrovni. Struktura práce je přehledná, členění do kapitol logické, postup řešení i výsledky jsou poměrně dobře popsány. Počet překlepů a gramatických chyb je přijatelný. Po obsahové stránce je práce dle mého názoru na velmi dobré úrovni. Vlastní přínos práce spatřuji především ve vytvoření vlastních optimalizačních kódů v prostředí Matlab a v ověření jejich správnosti pomocí dostupných prostředků.

Kvalitu práce mírně snižuje používání nevhodných formulací, jako např.:

- str. 18 - „... v práci bude vyzkoušen model s pěti parametry ...“, „... kde N je počet větví Maxwellova elementu.“ – Maxwellův model je sériové spojení Hookeova a Newtonova elementu, nemá žádné větve,
- poslední odstavec na str. 19 – ve dvou po sobě jdoucích větách je nevhodně použita stejná formulace „...časový průběh napětí (obr. 4.3) ukazuje, že chrupavčitá tkáň se chová nelineárně ...“,
- str. 23 – první věta v kapitole 4.3.1 nedává smysl, není z ní zřejmé, co mají vztahy (4.9) a (4.10) vyjadřovat,
- str. 29 – „Dále se nechala vykreslit plocha závislosti parametrů ...“,
- v celé práci je chybně používán pojem „citlivostní analýza“ – autorka tímto pojmem označuje analýzu stability a konvergence použitého algoritmu s ohledem na různé volby startovacích bodů.

K práci mám dále tyto faktické připomínky:

1. Na obrázcích 3.8 – 3.9 a 3.11 – 3.12 nejsou zobrazeny relaxační a creepové funkce, neboť nebylo použito jednotkové zatížení (deformací či napětím).
2. Na obrázcích 4.1 a 4.2 nejsou znázorněny posuvy, jak je uvedeno v popiscích, ale poměrné deformace.
3. Ve vztahu (4.11) a následujících je chybně znaménko u exponentu koeficientu před integrálem přes časový interval $\langle 0, t_r \rangle$. Stejně tak tomu je i na str. 24 ve vztahu (4.19) a dalších.
4. V kapitole 5 na str. 26 chybí vysvětlení, co představuje vektor x .
5. Hessova matice je vztahem (5.3) definována chybně.
6. Výsledné hodnoty parametrů E_0 a E_1 modelu standardního tělesa získané pomocí standardní funkce Matlabu *fmincon* a pomocí vlastního kódu pro různé volby startovacích bodů jsou v podstatě stejné. Myslím si, že tuto skutečnost je možné stručně popsat několika větami místo uvádění čtyř tabulek 6.1 – 6.4 na str. 30. Podobně tomu tak je i v případě výsledků získaných pro další volené hodnoty relaxačního času (str. 32 - 33) a i v případě tříparametrické optimalizace na str. 34 – 35.
7. Vyjádření přesnosti vlastního kódu pomocí „vizuálního“ porovnání výsledků na obr. 6.2 je nevhodné. Vhodnější by bylo tuto shodu kvantifikovat např. pomocí relativní odchylky.

Dotazy, na které by studentka měla při obhajobě odpovědět:

1. Integrály vyjadřující odezvu použitých viskoelastických modelů na zatížení popsané v kap. 4.1 lze vyčíslit analyticky. V práci byl zvolen přístup numerický. Jaký byl přínos úprav provedených v kapitolách 4.3.1 a 4.3.2 k procesu numerického vyčíslení? Pokud se jednalo o urychlení výpočtu, dokážete míru urychlení nějak kvantifikovat?
2. Úpravy prováděné v kap. 4.3.1 a 4.3.2 jsou původní? Nebo je autorka převzala z literatury? Z textu toto není zřejmé.
3. Jakým způsobem byla odhadnuta velikost relaxačního času t_R uvedeného v kap. 6?
4. Jakým způsobem byly při optimalizaci voleny dolní a horní meze parametrů E_0 a E_1 ?
5. Jaké „plochy“ jsou vykresleny na obr. 6.5 a 6.6? Pravděpodobně se jedná o vykreslení hodnot cílové funkce v závislosti na měnících se parametrech E_0 a t_R , resp. E_1 a t_R (citlivostní analýza), avšak z textu a z popisku obrázků toto není zřejmé.

Závěr: Na základě předložené bakalářské práce lze konstatovat, že všechny cíle uvedené v zadání byly splněny. Studentka při vypracování své práce prokázala schopnost aplikovat získané teoretické poznatky na řešení reálného problému. S ohledem na výše uvedené nedostatky hodnotím předloženou bakalářskou práci známkou

velmi dobře.

V Plzni dne 20. srpna 2014



Ing. Vítězslav Adámek, Ph.D.
oponent bakalářské práce