

## Posudek doktorské dizertační práce

Ing. Vojtěcha Mana

### Využití experimentů pro zlepšení úrovně konstitutivních modelů tkání aortálních výdutí.

Předložená práce má 91 stran a 68 stran a dále je přiložen apendix obsahující 6 publikovaných článků. Členěna je do 7 kapitol. V první – úvodní kapitole jsou formulovány cíle:

1. Vypracovat přehled literatury pojednávající o mechanických vlastnostech aorty a o jejím modelování.
2. Provést rešerši v oblasti měření vlastností intraluminálního trombu.
3. Experimentálně analyzovat mechanické vlastnosti tohoto trombu.
4. Vyšetřit vliv elastázy na mechanické vlastnosti prasečí aorty.

Ve druhé kapitole je popsána podrobně struktura aortální stěny včetně její změny při její výduti (AAA). Zde je velká pozornost věnována právě struktuře intraluminálního trombu. Zdůrazněna je zde velká variabilita této struktury – od zřetelně laminární až po nekompaktní – rosolovitou.

Třetí kapitola je nazvána Konstitutivnímu modelování. Zde dále autor rozlišuje modely fenomenologické a strukturní, které dále definuje a podrobně kriticky rozebírá. Nejprve se věnuje stěně aorty a to zdravé i AAA (odst. 3.3) a poté zejména intraluminálnímu trombu (odst 3.4). V závěru každého odstavce je provedeno shrnutí:

- Na rozdíl od stěny aorty je u trombu zatím naprosto nereálné používat strukturní modely
- V podstatě je možné se omezit na izotropii.
- U trombu se vlastnosti výrazně mění se vzdáleností od lumenu v důsledku degradace jeho struktury.
- Struktura trombu je pórovitá, a proto předpoklad nestlačitelnosti je zde nereálný.
- U trombu je naprostý nedostatek měření dvouosými zkouškami.
- Zajímavá je tabulka 3.15 shrnující číselné hodnoty měření na trombu od různých autorů. Rozptyl hodnot je zářející (např. pevnost Wang vs. O'Leary).

Tyto kapitoly byly věnovány prvnímu a druhému bodu ve formulaci cílů.

V kapitole 4. jsou stručně okomentovány publikace obsažené v Apendixu.

Za stěžejní považuji kapitoly 5 a 6.

Kapitola 5. je věnována velmi detailnímu popisu dvouosého měření tkání aorty od popisu zařízení přes metodiku měření až po vyhodnocování. Uváděn je rovněž podíl dizertanta na tomto procesu, který je samozřejmě dílem celého týmu.

V kapitole 6. jsou pak uvedeny výsledky prováděných experimentů na tkáni intraluminárního trombu a na tkáni aorty degradované pomocí elastázy.

V případě trombu bylo hlavním cílem získat parametry zvoleného konstitutivního modelu materiálu a mez pevnosti (jednoosé) v závislosti na vzdálenosti od lumenu. Je patrné, že vzorky byly odebrány z trombů s laminární strukturou.

Zvoleny byly dva konstitutivní vztahy – Yeohův druhého řádu a Ogdenův. Výsledky pro trombus jsou shrnuty v tabulkách 6.2 – 6.7. V následujících odstavcích jsou pak výsledky zhodnoceny včetně omezení daných charakterem tkání a použité metody měření.

Obdobný postup je pak uplatněn při měření tkáně prasečí aorty ovlivněné elastázou. Ta imituje degradaci tkáně v případě vzniku a rozvoje její výdutě. Výsledky jsou znázorněny na obr. 6.3 resp. též na obr. 6.4.

Poslední, sedmá kapitola je závěr a shrnutí. Uveden je zde rovněž výčet plánované budoucí práce, jenž v podstatě představuje pokračování v popsáných měřeních.

### **Hodnocení:**

Téma práce je jednoznačně aktuální a velmi náročné.

První dva cíle práce – přehled literatury a rešerše – byly jednoznačně splněny. Druhá dvojice cílů byla výrazně náročnější a dizertant zde odvedl velký kus práce.

Svědčí o tom i kvalitní publikace uvedené v apendixu.

Za hlavní přínos práce považuji vyvinutou metodiku měření.

Jak i z formulace závěru vyplývá, sám vidí nutnost výsledky zpřesnit (je-li to možné!) v další práci.

K práci mám následující poznámky, připomínky a dotazy jistě částečně plynoucí z mého nepochopení:

1. Na počátku mě poněkud překvapil pojem „konstitutivní model/modelování“. Jsem více zvyklý na běžný pojem „konstitutivní vztahy“. Pak jsem nahlédl do knihy prof. Janíčka „Systémové pojetí....“ a tam jsem našel vysvětlení.
2. Ve vztahu (3.1) se poprvé objevuje veličina  $\psi$  - strain energy density function – pro kterou je dále používán akronym SEDF. Tento význam a dále používané označení zde chybí.
3. Často je bez vysvětlení používána veličina  $n$  (poprvé asi na str. 24 –  $n=90$  a dale na str. 54). Je to počet obdržných deformačně-napětových křivek resp. počet vzorků?
4. Hodnoty v Tab. 3.15 vykazují ohromné rozdíly (např. pevnost u Gassera, Wanga a O’Learyho byt se zde jedná vždy o Cauchyho napětí). Lze to nějak vysvětlit?
5. Str. 49 – tvrzení, že použití špendlíků na přichycení markerů vede k průměrování deformace považuji za poněkud silné. Spíše lze říci, že jistým způsobem měření ovlivňuje. Není to však podstatné vzhledem k celkové neurčitosti všech parametrů měření.
6. Ve vztazích (5.1) má být ve jmenovateli  $T_0$ .
7. Na str. 55 je uvedena volba dvou SEDF. Co vedlo k jejich volbě?
8. Na obr. 6.1 chybí označení os a jednotky.
9. Na str. 60 je uveden „myšlenkový konstrukt“ – vynásobení Cauchyho napětí z tab. 6.2 resp. 6.3 poměrným protažením  $\lambda$  (=deformovaná délka/počáteční délka). K tomu mám dvě připomínky:

- je skutečně v tabulkách Cauchyho napětí nebo 1. Piola-Kirchhoffovo napětí? Doposud symbolem sigma bylo označováno 1PK!

-pokud je v tabulkách 1.PK, pak se jedná o přepočtení na Cauchyho napětí. Není-li tomu tak, je třeba tento „konstrukt“ blíže vysvětlit.

10. Lze demonstrovat konkrétně podobnost mechanických vlastností tkáně ošetřené elastázou s tkání aneurysmatickou (str.66 – nad Tab. 6.8)?

11. V obr. 3 značí  $Sp_{02\_Ua:Uc}$  výsledky testu  $2u_a:u_c$  či  $Sp_{02}$  je číslo vzorku (a podobně další)? Okomentujte, prosím, detailněji rozdílnost výsledků vzorků v čase T1!

12. Naznačte, prosím, jak bude možné postupovat při tvorbě „patient-specific modelů AAA“ (str.17.)

13. Jaký přínos vaší práce oproti výsledkům publikovaným v uvedené literatuře můžete uvést?

14. V tézích chybí formulace cílů. Ostatní body předepsané osnovy jsou v tézích zahrnuty byť ne formálně oddělené.

Řada připomínek je formálních. Prosím při obhajobě reagovat pouze na připomínky zvýrazněné tučně.

Souhrnně lze konstatovat, že autor zpracoval zajímavé téma vhodnými metodami. To svědčí o jeho erudici.

Přes uvedené připomínky považuji předloženou dizertační práci za plně dizertabilní.

Proto ji jednoznačně doporučuji k obhajobě.



Prof. Ing. Josef Rosenberg, DrSc

V Plzni 18.6.2018