

Václav Beneš: Odhad rychlosti šíření pulsní vlny aortou.

Práce se zabývá odvozením zjednodušeného vzorce pro rychlost šíření pulsní vlny aortou (ideální nestlačitelná kapalina, hyperelastický materiálový model tenkostěnné trubice). Cíl práce je definován jasně a nese zřetelný rukopis vedoucího práce Lukáše Horného (základní motivací je stanovit vliv axiálního zatížení a počátečního axiálního protažení aorty na rychlost šíření pulsní vlny).

Práce svou koncepcí trochu vybočuje z běžného standardu bakalářských prací. Klasický postup by spočíval asi v tom, že by se uvedl známý vzorec pro rychlost pulsní vlny (s průřezovou tuhostí vyjádřenou derivací $\partial A/\partial p$) a poté byl kombinován se vztahem mezi přírůstkem tlaku ∂p a změnu plochy průřezu ∂A pro zvolený hyperelastický model. Teoretická část by se pak zredukovala možná jen na dvě stránky textu. Koncept zvolený v předkládané bakalářské práci je jiný, založený na detailním odvozování jednotlivých vztahů z elementárních geometrických představ (včetně odvozování rovnice kontinuity, bilance hybnosti proudící kapaliny i rovnic silové rovnováhy tenkostěnné trubice, statické deformace při zatížení trubice tlakem i vnější axiální silou). Během odvozování těchto vztahů jasně vyniknou přijatá zjednodušení (předpoklady). Výsledné vztahy přestávají být magickými ikonami a jejich fyzikální interpretace je srozumitelnější. Nemám nejmenší pochybnosti o tom, že pan Václav Beneš do detailů rozumí logice odvozování, rozumí výsledkům, a že by byl schopen aplikovat analogický postup i v řadě jiných případů. Právě v tom spatřuji pedagogický význam předložené práce a zásluhu vedení Lukáše Horného. Navržený postup řešení je vhodný pro stanovení vlivu dodatečné axiální síly na tuhost a tudíž i na rychlost pulsní vlny (a v to je zase vědecký přínos BP). Výsledné vztahy jsou naprogramovány v programu MAPLE a byly použity pro získání grafů závislosti rychlosti pulsní vlny na přetlaku a na předpětí (výsledky vypadají věrohodně, ale jejich správnost nemohu potvrdit, protože nerozumím implementaci, viz otázky do diskuse).

Drobné připomínky

1. Seznam použitých symbolů je neúplný (chybí např. F_{red}) a bez uvedení jednotek (někdy se tím ztrácí fyzikální význam veličiny a např. klíčový parametr, tuhost K , je degradován na „pomocný symbol“). Trochu diskutabilní je „streč“ a „strečing“, fonetický přepis „stretch“ a český ekvivalent „protažení“ (viz Bulletin ČSM 1'96). Fonetický přepis je pro anglicky myslící čtenáře asi jednoznačnější, jenže slůvka „streč“ a „strečing“ si už v češtině vykolíkovaly úplně jiné věci.
2. Formálně chybné rovnice (40), (41), (42), (68), (77), (80), (81), (82), (83), (84), (85), (86). Spíš projev uspěchanosti a ledabylosti.
3. Nejsou vysvětleny alespoň principy metod PU a QA.
4. Pan V. Beneš nepochybně respektuje leadership vedoucího BP. Pojímá sám sebe jen jako člena týmu a jeho bakalářská práce končí větou: „Splnili jsme tak všechny úkoly,

kteřé nám byly v rámci bakalářské práce zadány.“ Trpný rod („Byly tak splněny...“) by byl možná vhodnější.

Otázka k obhajobě

V kapitole 8 (Numerická simulace) se hovoří o dvou metodách, jedné přesné a jedné přibližné (str.47). Jejich vysvětlení má být ve větě uvedené na str.43: “Tento je výsledkem druhého výpočtu, ve kterém jsme uvažovali závislost axiálního streče na streči obvodovém v rámci stanovení vzorce pro rychlost šíření pulsní vlny.” Vůbec tomu nerozumím, nechápu v čem je rozdíl mezi tzv. prvním a druhým výpočtem (částečně i proto, že nejsou uvedena čísla konkrétních rovnic) a nevím, co se vlastně simuluje. Možná se mýlím, ale problém snad není ve vztahu pro rychlost šíření pulsní vlny, ale ve variabilitě možností řešení statického problému zatěžování a deformace tenkostěnné válcové membrány. Je to souvislost mezi čtyřmi parametry: p (přetlak), F_{red} (dodatečná axiální síla), λ_{θ} (obvodové protažení), λ_z (axiální protažení). Tyto veličiny musí splňovat dvě algebraické rovnice statické rovnováhy (v obvodovém a axiálním směru) a dvě ze čtyř veličin lze tudíž zvolit. Je celkem logické, že jednou ze zvolených veličin je tlak p a druhou může být konstantní nebo proměnná axiální síla F_{red} (zdá se mi, že byla zvolena varianta konstantní síly i když nebyla diskutována její fyziologická relevance). Druhou rozumnou variantou volby dvojice nezávislých proměnných je tlak p a axiální protažení (pravděpodobně opět konstantní, čemuž by odpovídalo fixování konců aorty). V tomto případě se však musí v průběhu srdečního cyklu měnit axiální síla F_{red} , která by kompenzovala růst axiálního zatížení rostoucím tlakem p . O veličině F_{red} se ale v celé kapitole nemluví, a žádné hodnoty ani grafy, které by s ní souvisely, uvedeny nejsou. Obě varianty jsou v rámci přijatých předpokladů přesné, nelze tedy hovořit o přesnějším řešení. Možná je ale všechno jinak a problém není tak jednoduchý, jak se mi zdá. Na str.39 se hovoří o použití “nejmenších čtverců” a tomu už vůbec nerozumím.

Závěr:

Přes uvedené nedostatky předkládané BP navrhuji její hodnocení známkou A – VÝBORNĚ.

Praha 7.6.2015

.....
Prof. Ing. Rudolf Žitný, CSc.