

Posudek doktorské disertační práce pana Ing. Jiřího Sobotky

Název práce: Aplikace zobecněných funkcí při výpočtu tenkostěnných nosníků

Studijní obor: 3901 V003: Aplikovaná mechanika

Školitel: Prof. Ing. Milan Hýčba, DrSc.

Předmětem disertační práce je výpočet vnitřních sil a přetvoření tenkostěnných nosníkových prvků při uvažování nespojitosti v působení zatížení, podepření nosníku a jeho geometrii. Principem, na kterém je disertační práce založena je rozdělení nosníku na spojitě intervaly, ve kterých se stanoví příslušné funkce odezvy a na hranicích těchto intervalů se pak hledají integrační konstanty pro obecné vyjádření vnitřních sil a deformací. V případě velmi krátkých intervalů, jako je např. osamělé bodové zatížení je použita Diracova a Heavisideova funkce pro modelování okamžitého zatížení v tomto krátkém intervalu.

Rozhodně tedy tematika této práce je velmi aktuální. Vyžaduje však značnou matematickou erudici. Na příkladech, uváděných v disertaci z blízké i dálnější historie je zřejmé, že této tematice se věnovaly osobnosti české i světové vědy. Disertantova práce výrazně navazuje i na celoživotní práce jeho řešitele v této oblasti a přináší řadu nových teoretických výstupů řešení.

Práce je založena na matematické analýze řešení kombinací ohybu, smyku a kroucení nosníků s uvažováním natočení jejich střednice, jako rovinná úloha. Podle sdělení školitele je disertant vzděláním matematik a této profese využil při řešení disertační práce. Je bezesporu, že odvozené závislosti pro odezvu konstrukce mají význam pro prohloubení poznání v oboru matematické analýzy odezvy tenkostěnných konstrukcí. Disertant úvodem uvádí, že jeho „hlavním cílem bylo“ mimo jiné „zjednodušit postup analytického výpočtu ...“. I když v práci je řada významných odvození, tak „zjednodušení“ se mu nepovedlo, zřejmě ani není možné. Některé odvozené vzorce, např. pro stanovení deformací $w(x)$ a $v(x)$ na str. 54 až 57 jsou dlouhé dvě až tři strany; tyto vzorce vyžadují vyčíslení několika řad, integrálů ap. a tedy uživatele přímo odrážejí od jejich použití. Takže z hlediska vědeckého, práce přináší pokrok, ale z hlediska inženýrského využití pro běžného projektanta je zatím velmi problematická.

K práci mám jednak připomínky v podstatě formálního charakteru:

- terminologie, kterou používá disertant se odchyluje od názvosloví pro obor mechaniky, požadované názvoslovnou normou. Jedná se zejména o výrazy: měrná zatížení, stísněný ohyb a stísněné kroucení;
- některé použité symboly, např. Ω_1 , Δ na str. 66 a dalších, nejsou v textu vysvětleny a ani nejsou uvedeny v seznamu značek na začátku práce;
- není vysvětleno, proč disertant připojil v příloze k disertaci dvě publikace svého školitele.

Do diskuse v rámci rozpravy nad disertační prací doporučuji, aby disertant blíže vysvětlil následující další připomínky a dotazy :

- 1) řada odvozených výrazů např. 9.8 až 9.19 na str. 36 až 38, 9.25 až 9.32 na str. 42 až 45 jsou uvedeny ve formě řad. Práci by prospělo hodnocení jejich konvergence, počtu členů, které je nutné při vyčíslení uvažovat, tak aby chyba výsledků byla ještě přijatelná;
- 2) bylo by vhodné, aby disertant ukázal několik numerických vyčíslení odvozených formulací, aby bylo možné porovnat tvar vyčíslených funkcí a jejich charakter;
- 3) na straně 67 a 68 uvádí porovnání normálového napětí, vypočteného pro MSO (1. aproximaci) a druhou křivku podle Bernoulli-Navierovy hypotézy. Rozdíl ve špičkových hodnotách je na obr. B více než 100% a na obr. C více než 200%, přičemž obr. C je převzat z publikace školitele v příloze disertace (ZAMM, 1975). Srozumitelnosti obou obrázků by prospělo uvedení schéma nosníků včetně okrajových podmínek a jejich konkrétní zatížení, pro které jsou funkce napětí vypočteny;
- 4) odezva tenkostěnného nosníku, namáhaného ohybem, smykem a kroucením je poměrně snadno stanovitelná metodou konečných prvků, nebo i základních vzorců teorie pružnosti a pevnosti pro tyto případy namáhání. Bylo by tedy velmi záslužné porovnat tyto „zjednodušené, inženýrské“ postupy se zřejmě kvalitnějšími výsledky odvozené teorie, tak aby bylo možné zhodnotit jejich efektivnost. Pravděpodobně disertant tuto efektivnost chtěl ukázat na obr.B a obr.C, ale v disertaci chybí jakékoliv hodnocení těchto rozdílů.

Závěrem lze konstatovat, že disertant prokázal, že ovládá vědecké metody, má hluboké matematické znalosti a že jeho práce přináší nové poznatky při řešení tenkostěnných konstrukcí. Žel, že s ohledem na odvozené komplikované výrazy je práce využitelná jen pro úzký okruh odborníků. Disertant publikoval své práce pouze na několika konferencích Inženýrské mechaniky. Považuji za vhodné, aby práci publikoval i v zahraničním tisku, samozřejmě po doplnění numerických výstupů a detailnější diskusi odvozených vzorců. Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce udělení titulu Ph.D.

V Praze, 14.února 2011



Doc. Ing. Daniel Makovička, DrSc.
ČVUT v Praze, Kloknerův ústav
Šolínova 7, 166 08 Praha 6

Posudek doktorské disertační práce

Ing. Jiřího Sobotky

na téma „ Aplikace zobecněných funkcí při výpočtu tenkostěnných nosníků“

Aktuálnost tématu

Téma disertační práce je nepochybně aktuální, už i proto, že navržené řešení pokrývající nespojitosti všeho druhu pomocí distribucí, je využitelné i u jiných typů konstrukcí, než jsou tenkostěnné nosníky otevřeného průřezu. Uchazeč si sám uvědomuje aplikovatelnost popsaného postupu i u deskových a skořepinových konstrukcí. Zvláště poruchy membránové napjatosti rotačních skořepin, které jsou důsledkem nespojitostí ve funkčních hodnotách a derivacích geometrických a materiálových charakteristik a zatěžovacích funkcí by bylo možno řešit s využitím popsaného aparátu jen s minimálními úpravami.

Metody zpracování

Doktorand převzal teoretické modely pro sledování odezvy stísněného ohybu, kroucení a jejich kombinaci od svého školitele (viz přílohy 1 a 2). Vlastním přínosem je zobecněná formulace problému ve tvaru soustavy diferenciálních rovnic prvního řádu s nespojitostmi vyjádřenými pomocí distribučních derivací. Odvození je názorné, přehledné a srozumitelné.

Navazuje integrace těchto soustav pro tři základní mechanické modely s využitím Laplaceovy transformace. I když lze jednoduše zkontrolovat jen některé úpravy, výsledné vztahy, jakkoli složité, se zdají být korektní. Tuto víru podporuje i využití symbolického programovacího systému Maple. Dobrou ukázkou a jistou formou prověření správnosti odvozených vztahů je číselný příklad, kdy je výsledky možno porovnat s výstupy dosaženými školitelem již dříve.

K metodám nemám zásadní výhrady. Jde spíše o drobné připomínky:

- V textu se objevuje několikrát slovní spojení „příčný průřez“. Jedná se o zjevný pleonasmus, neboť průřez je vždy příčný (průřez = příčný řez).
- Na konec vysvětlující věty ke vztahu (6.1) na str. 25/73 by se patrně hodilo doplnit ...klasickou derivací *nespojité funkce*.
- Možná by se doktorand mohl vyjádřit k jisté nekonzistentnosti při spojení modelu stísněného ohybu a kroucení. Zatímco v prvním případě se nutně bere v úvahu přetvoření smykem ve střednicové ploše, jehož důsledkem je např. ochabnutí smykem, v případě stísněného kroucení je tento jev ignorován. Přitom při stísněném kroucení (alternativní název je ohybové kroucení) dochází k ohybu jednotlivých segmentů prutu (přírub, stojin) podobně jako při ohybu. Podotýkám však, že tento problém bezprostředně nesouvisí s tématem doktorské práce.

Výsledky disertační práce a význam pro vědní obor

Kromě uvedené zobecněné teorie ohybu a kroucení tenkostěnných prutů jsou zajímavá dílčí zobecnění známých vzorců z teorie nosníků na nespojité systémy. Jedná se zejména o zobecnění Schwedlerovy - Žuravského věty pro závislost mezi posouvající silou a zatížením a mezi momentem a posouvající silou. Obdobného zobecnění se dostalo vztahu mezi bimomentem a ohybově krouticím momentem a momentem volného kroucení.

Aplikace Laplaceovy transformace na systémy s distribucemi není (snad s výjimkou elektrotechniky) v inženýrství běžná a uchazeč v tomto směru přispěl přinejmenším jistou osvětou.

V *teoretické oblasti* vidím největší přínos disertace v tom, že poskytuje srozumitelný návod, jak řešit nejen problémy tenkostěnných prutů, ale i plošných konstrukcí s nespojitostmi, jakož i problémy stabilitní a dynamické.

V *aplikační oblasti* je k dispozici bezprostředně efektivní nástroj ke zpřesněnímu navrhování tenkostěnných prutů. Význam analytických přístupů nelze podcenit ani v době vysoce rozvinutých řešení na základě Metody konečných prvků, rafinovaných přístupů k řešení kontaktních problémů typu metody FETI (Finite Element Tearing and Interconnecting), či paralelních výpočtů.

Autoreferát a publikace

Má dobrou vypovídací kvalitu. Jasně shrnuje výsledky řešení a vlastní přínosy.

Za zmínku stojí rozsáhlý soubor přiložených publikací, které uchazeč evidentně prostudoval, i šest vlastních konferenčních příspěvků, které bezprostředně souvisejí s tématem disertace. Je škoda, že tak kvalitní výsledky dosud nebyly zveřejněny v některém z prestižních časopisů.

Závěr

Disertační práce má vysokou teoretickou úroveň a její výsledky jsou bezprostředně využitelné nejen ve strojní, ale i stavební praxi. Uchazeč disertační práci prokázal, že má vynikající znalosti v řadě souvisejících oblastí, jako je matematika, mechanika ad. Potvrdil, že dokonale ovládá metody vědecké práce (pozoruhodný je detailní úvod, v němž je čtenář informován o state-of-the-art v daném oboru, podrobné jsou i odkazy na převzaté výsledky jiných autorů), přinesl nové poznatky a zejména naznačil nový směr, jímž by se mohly dále rozvíjet některé obory klasické mechaniky.

Na základě výše uvedeného doporučuji, aby práce byla přijata a aby na základě úspěšné obhajoby byl Ing. Jiřímu Sobotkovi udělen titul

doktor (Ph.D.)

J. Sobotka

Oponentský posudek na doktorskou práci
Aplikace zobecněných funkcí při výpočtu tenkostěnných nosníků,
autora Ing. Jiřího Sobotky

Doktorská práce Ing. Jiřího Sobotky byla vypracována v rozsahu 73 stran textu členěných do 12 kapitol. Tomuto textu předchází Slovo úvodem. . . , Souhrn, Summary, Označení použité v disertační práci a Obsah. Na závěr práce jsou přiloženy dva články, na které je v textu hojně odkazováno.

Cílem doktorské práce bylo:

- (1) Odvodit obecné řešení neklasického matematického modelu ohybu a smyku prizmatického tenkostěnného nosníku s ohybově deplanabilním průřezem při první aproximaci smykových deformací střednicové plochy.
- (2) Odvodit obecné řešení klasického matematického modelu stísněného kroucení prizmatického tenkostěnného nosníku s torzně deplanabilním otevřeným průřezem při výsečové střednicové deplanaci.
- (3) Odvodit obecné řešení zobecněného matematického modelu ohybu, smyku a kroucení prizmatického tenkostěnného nosníku s ohybově i torzně deplanabilním průřezem při rovinné aproximaci ohybové deplanace a výsečové střednicové deplanaci.
- (4) Provést výpočet membránového osového napětí podle zobecněného matematického modelu ohybu a smyku tenkostěnného skříňového nosníku s malou štíhlostí a s průřezy vyztuženými diafragmaty.

Obsah práce:

Po prvních čtyřech úvodních kapitolách popisujících současný stav dané problematiky, cíle práce a užití metody se v kapitole páté formulují níže řešené úlohy (jedná se o úlohy zmíněné v cílech práce).

V kapitole šesté se diskutuje rozdělení nespojitostí. V kapitolách sedmé a osmé se zavádí distribuční derivace a sestavují zobecněné formulace modelů řešených problémů.

V kapitolách devět a deset se tyto modely řeší. Jedenáctá kapitola představuje závěry a souhrn. Kapitola dvanáctá uvádí publikace autora s disertační prací tématicky souvisejících.

Plnění vytčených cílů:

Cíle práce byly jasně formulovány a jako takové také splněny.

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Autor disertace vycházel ze současného stavu poznatků, které jsou relevantní k řešené problematice, a to v rozsahu přes padesát citovaných publikací. Jen patnáct z nich však bylo publikováno v posledním desetiletí. Na druhou stranu

Otázky oponenta:

(1) Mohl by disertant vysvětlit rozpor mezi 5. a 7. řádkem strany 6. (nespojitosť v průhybu) na jedné straně a řádkem 22. téže strany (spojitosť průhybu) na straně druhé.

(2) Oponent by se také rád zeptal, jak by se postupovalo v případě s vloženými spojkami způsobujícími nespojitosti v natočení či deplanaci (tedy případy, kdy je třeba daný problém doplnit deformačními podmínkami).

(3) Nakolik by se řešení úlohy z otázky (2) lišilo od klasického řešení s rozdělením celé oblasti na podoblasti spojené okrajovými podmínkami?

(4) Správně uváděný vztah (5.5) ze s. 12 vybízí k zamyšlení: Souřadnice s je souřadnicí křivočarou. Tenzor malých deformací je tedy určen kovariantní derivací složek posuvů

$$\varepsilon_{ab} = \frac{1}{2} (\nabla_a u_b + \nabla_b u_a),$$

kde kovariantní derivace tenzoru prvního řádu je dán pomocí Christoffelových symbolů jako

$$\nabla_a u_b = \partial_a u_b - \Gamma_{ab}^c u_c.$$

Je tedy vztah (5.5) správně a proč?

(5) Na s. 13 a dále se uvádí, že druhá mocnina Poissonova čísla je malé číslo v porovnání s 1. Neptám se, zdali je 0.09 skutečně malé číslo, ale ptám se proč disertant nepoužil v uváděných vztazích raději zpevněný modul pružnosti

$$E^x = \frac{E}{1 - \nu^2}?$$

Doporučuji, aby Ing. Jiřímu Sobotkovi byl po úspěšné obhajobě disertační práce udělen titul doktor (Ph.D.)

V Praze, 22.II.2011



Doc. Ing. Tomáš Mareš, Ph.D.
Katedra mechaniky, biomechaniky a mechatroniky
Strojní fakulta ČVUT v Praze