

doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.
 Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
 Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky
 Ludvíka Podéště 1875/17
 708 33 Ostrava - Poruba

Oponentský posudek disertační práce Ing. Jaromíra Kabeláče s názvem:

Materiálově nelineární řešení prutových konstrukcí

Oponentský posudek je vypracován v bodech, které jsou požadovány podle žádosti Mgr. L. Klusákové s č. j. 312/2016 a ustanovení Čl. 45 odst. 3 Studijního a zkušebního řádu doktorského studijního programu.

a) Aktuálnost tématu disertační práce:

Předložená disertační práce se zabývá řešením nosníkových a rámových konstrukcí metodou konečných prvků s uvažováním materiálové nelinearity. Disertační práce obsahuje podrobné odvození konečně prvkového nosníkového elementu s respektováním nelineárního chování materiálu. Získané teoretické závěry práce byly úspěšně implementovány do komerčního softwaru, s jehož využitím bylo provedeno otestování na řadě úloh.

Problematika numerického modelování stavebních nosných konstrukcí s využitím výkonné výpočetní techniky odpovídá současným trendům v oblasti jejich navrhování a posuzování spolehlivosti. Bez pokročilých výpočetních modelů, které uvažují nelinearity geometrické, fyzikální či konstrukční, si v současné době projektování nosných stavebních konstrukcí lze jen těžko představit. **Námět disertační práce proto hodnotím jako velmi přínosné a vysoce aktuální téma.**

b) Splnění stanovených cílů:

Cíle práce jsou přehledně uvedeny v kapitole 2 na straně 10 ve dvou kategoriích - teoretická a aplikační část. Práce si klade za cíl zejména:

- Odvození nosníkového elementu pro řešení napjatosti na masivních průřezech prutových konstrukcí s několika variantami řešení podle zahrnutí vlivu jednotlivých typů namáhání do materiálové nelinearity a podle způsobu numerické integrace.
- Analýza možnosti zahrnutí geometrické nelinearity a výpočet požární odolnosti.
- Test odvozených elementů v aplikační části, včetně obecného popisu implementace poznatků teoretické části disertační práce do komerčních výpočetních systémů vycházejících z metody konečných prvků. Ukázky implementace plasticity na skořepinách, výpočtu průřezových charakteristik a napětí v průřezu, materiálově nelineárního nosníkového elementu a modulu pro požární odolnost sloupů.

Práci jsem pečlivě prostudoval a mohu **konstatovat, že stanovené cíle práce byly splněny v rozsahu, který odpovídá požadavkům kladeným na disertační práce s podobným tematickým zaměřením.**

c) Postup řešení problému a výsledky disertace s uvedením konkrétního přínosu doktoranda:

Hlavní závěry práce jsou uvedeny v kapitole 5 na str. 88 a 89. Namátkou uvádím:

- Odvození nosníkového elementu pro řešení napjatosti na masivních průřezech prutových konstrukcí v několika variantách:
 - element podle Eulerovy teorie s uvažováním pouze axiálních složek napětí s modifikací s uvažováním smykových deformací,
 - odvození obecné napjatosti nad průřezem v lineární oblasti vznikajících od smykových složek namáhání nosníku včetně odvození deplanačních funkcí,
 - nelineární řešení napjatosti s uvažováním materiálové nelinearity, kdy je deplanační funkce závislá na velikosti namáhání,
 - vázané kroucení společně s materiálovou nelinearitou.
- Pojednání o zahrnutí geometrické nelinearity při řešení nosníku s uvažováním stability.
- Zpracování výpočetního postupu pro určení požární odolnosti, které je založeno na řešení teplotního pole nad průřezem během požáru.
- Implementace odvozených modelů do komerčních výpočetních systémů ve čtyřech provedeních.

Konkrétním přínosem disertanta danému vědním oboru jsou zejména:

- navržení redukované integrace pro průřez nosníku,
- přijetí zjednodušujícího předpokladu linearizované deplanace,
- zahrnutí vázaného kroucení do odvozeného modelu nosníkového elementu s materiálovou nelinearitou.

Při řešení zadání práce disertant využil přiměřené matematické nástroje. **Zvolené postupy řešení stanovených cílů i výsledky dosažené v rámci disertační práce lze považovat za vhodné a správné.**

d) Význam pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru:

Část výsledků této práce byla implementována do komerčních programových systémů (RFEM, SCIA Engineer, ORSO, IDEA CSS), které jsou projektanty hojně využívány. O praktickém využití disertační práce proto není pochyb. **Poznatky, které byly získány v rámci řešení disertační práce, proto považují z praktického hlediska za velmi přínosné.**

e) Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

Předložená práce bohužel obsahuje řadu jazykových i formálních prohřešků, které ale nemají na vysokou odbornou úroveň předložené práce podstatný vliv. Namátkou uvádím alespoň:

- V textu by měla být dodržena pravidla pro formátování aritmetických výrazů (např. podle ČSN ISO 80000 – Veličiny a jednotky). Diferenciál v matematice vyjadřuje závislost změny hodnoty funkce na malé změně jejího argumentu, což se v psané formě interpretuje jako např. dx na str. 18 vzorec (29) (x je proměnná a tudíž je

použita kurzíva, kdežto **d** je svíslé). Také se před diferenciálem neuvádí tečka (jako např. u vzorců (34) a (35) na str. 19).

- Jazykové nedostatky:
 - Abstrakt – „Na průřezu *jsou* uváženo namáhání od axiální síly, ...“
 - str. 10 – „Jedná se o *běžený* liniový prvek, ... , *krotících* momentů ...“
 - str. 12 – „*Elerovi* formulace“
 - str. 19 – „Pro *Newtnovu* iterační metodu...“
 - str. 54 a 58 – „... dle *Vlasovovi* teorie.“
 - str. 57 – „... se jedná o rozšíření klasické *Vlasovovi* teorie vázaného krutu.“ a „Lze tento problém přirovnat k rozdílu mezi *Elerovou* a *Tiomoshenkovou* teorií nosníku.“
 - str. 74 – „*Timosheno* beam“
 - str. 82 – „*Von Miesses*“ a „*Nemtchek*“
 - V textu je častokrát uvedeno viz. (s tečkou) – nejedná se o zkratku, ale o rozkazovací způsob slovesa vidět.
- Rovnice (100) přijde až za vzorec (101).
- Na str. 53 je uveden špatný odkaz: „Tečná matice tuhosti průřezu se získá také prostou integrací modifikací vztahu (152):“ – správně má být uveden odkaz na vztah (153).

f) Doplnující otázky a komentáře:

V souvislosti s hodnocením disertační práce uvádím své otázky, připomínky i komentáře v následujících bodech:

- Prosím o bližší analýzu a detailnější popis srovnání řešení nosníku v lineární a plastické oblasti na obr. 22 na str. 62.
- Velmi kladně hodnotím vhodně zvolené příklady pro testování odvozených modelů i analýzu dosažené nepřesnosti např. v tabulce na straně 30. Docela by mne zajímalo srovnání jednotlivých výpočetních formulací ve spojitosti s Vierendeelovým, resp. prolamovaným nosníkem, příp. alespoň obecně v dalším zajímavém nosném systému s výrazným vlivem posouvajících sil jako je např. oblouková střecha bývalé haly Tatran v Ostravě (i když hala je dřevěná a tudíž neumožňuje výpočet s plastickým chováním materiálu). Rád bych tímto doplňujícím diskuzním příspěvkem poukázal na úskalí modelování složitějších nosníkových konstrukcí s uvažováním vlivu posouvajících sil, excentricit, možných nelinearit apod.
- Lze odvozenými modely určit také namáhání železobetonového profilu od kroucení a posouvajících sil včetně třmíneků?
- Pozitivně hodnotím také řadu hodnotných publikací a konferenčních příspěvků, které jsou svým odborným zaměřením v souladu s tématem této disertační práce.

g) Závěrečné zhodnocení:

Jedná se o velmi kvalitní disertační práci, která nepochybně přispívá k rozvoji řešené problematiky. **Doporučuji proto, aby byla disertační práce přijata, a aby byl po úspěšné obhajobě Ing. Jaromírovi Kabeláčovi udělen titul Ph.D.**

V Ostravě, prosinec 2016


doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.