

Oponentní posudek disertační práce
doktorandky Ing. Doubravky Středové na téma:
„Stabilitní prolomení kuželových skořepin s malým vzepětím“.

Předkládaná disertační práce je rozdělena do 12 kapitol; dále práce obsahuje přehled literatury, přehled vlastních publikací a 2 přílohy. Před úvodní kapitolou je zařazen Přehled označení použitých veličin, jejich rozměry a názvy.

Úvodní kapitola 1 pojednává zevrubně o tenkostěnných ocelových skořepinách (standardní konstrukční uzly, ztráta stability tenkostěnných kuželových skořepin, platnost výpočtů, počáteční imperfekce atd.) o činnostech vykonaných při řešení problematiky disertační práce, o cílech disertační práce a postupu jejich naplnění a v neposlední řadě i o závěrech předkládané disertační práce.

V kapitole 2 je velmi podrobně a přehledně analyzován současný stav problematiky řešené v rámci disertační práce.

V kapitole 3 jsou formulovány cíle disertační práce a nástin aplikace získaných znalostí z jejich úspěšného splnění.

Zbývající kapitoly jsou již vlastní tvůrčí prací doktorandky.

V kapitole 4 se doktorandka zabývá přehledem použitých metod řešení ztráty stability kuželových skořepin, ověřením správnosti řešení nelineárních úloh pomocí MKP programů a to i ve vztahu k výsledkům vlastních experimentů ztráty stability reálných vzorků kuželových skořepin.

Kapitola 5 je věnována tvorbě numerických modelů kuželových skořepin s malým vzepětím, tedy kuželových skořepin s hodnotami okrajových úhlů $\alpha_c < 25^\circ$ (jmenovitě s $\alpha_c = 5^\circ$, 10° a 15°). Provedená ověření akceptovatelnosti zjednodušujících předpokladů pro řešení dané problematiky je dokladováno výpočty a potřebnými grafickými závislostmi vnějšího limitního přetlaku na vybraných parametrech.

V kapitole 6 se doktorandka zabývá řešením kuželové skořepiny bez výztužného prstence, a to pro dva krajní případy uložení spodního okraje skořepiny – prosté podepření a kloubové podepření. Vše je dokladováno provedenými výpočty, řadou grafů a názorných zobrazení výsledných posuvů deformujících se skořepin. Výsledky řešení pro hodnoty úhlu $\alpha_c = 5^\circ$, 10° a 15° , vč. ukázkového příkladu pro $\alpha_c = 7,5^\circ$, jsou zhodnoceny, je upozorněno na meze použitelnosti analýz a výsledků. Pro ukázkový příklad je použito metody lineární interpolace. Výsledky jsou souhrnně uspořádány do tabulek. Pro závislosti mezního přetlaku na parametru tenkostěnnosti doktorandka sestavila rovnice regresních křivek a vypočetila hodnoty regresních koeficientů pro okrajové úhly $\alpha_c = 5^\circ$, 10° a 15° a příslušné rozsahy parametru tenkostěnnosti.

Kapitola 7 se zabývá řešením kuželové skořepiny s výztužným prstencem; výčet provedených prací je prakticky stejný jako u kapitoly 6.

Kapitolu 8 věnuje doktorandka problematice zobecnění použití parametru Γ , který zahrnuje vliv tuhosti okraje a také i částečně geometrie skořepiny v aplikaci na kuželové skořepiny s malým okrajovým úhlem α_c . Ověření parametru demonstruje na ukázkovém příkladu.

V kapitole 9 jsou podrobně popsány experimenty na skutečném vzorku kuželové skořepiny spolu s posouzením naměřených a hodnot vypočtených pomocí analytických vztahů navržených v kap. 6 a 7. Je upozorněno na problémy se samotným experimentem, který není obecně jednoduchou záležitostí nejenom co do realizace

uložení kuželové skořepiny (splnění okrajových podmínek), ale i co do výroby samotných zkušebních vzorků.

Kapitola 10 se věnuje studiu vlivu počátečních imperfekcí (vlivu jejich tvaru, umístění a hloubky) na stabilitu kuželových skořepin s malým okrajovým úhlem α_c . Jsou provedeny numerické analýzy a vyhodnocení výsledků i ve vztahu k ECCS.

V kapitole 11 shrnuje doktorandka výsledky své disertační práce systematicky v pořadí předcházejících kapitol. Na základě svých výsledků navrhuje některé korektivy vztahující se k doporučením ECCS.

Kapitola 12 je závěrečnou kapitolou v níž doktorandka podrobně shrnuje postup svého řešení dané problematiky. S ohledem na závažný a nikterak jednoduchý problém řešený v disertační práci, formuluje doktorandka i cíle budoucího výzkumu, nejenom směrem k teoretickému řešení, ale i ve vztahu k možnosti, resp. nutnosti modifikace stávajícího experimentálního zařízení. Splnění cílů navazujícího výzkumu umožní zařadit kompletní metodiky návrhu hladkých kuželových skořepin s malým vzepětím do standardů a doprovodných doporučení.

Aktuálnost tématu doktorské disertační práce.

Téma disertační práce je velmi aktuální, neboť dosavadní předpisy pro posuzování stability kuželových skořepin zahrnují skořepiny s okrajovým úhlem $\alpha_c > 25^\circ$, následně řešené jako ekvivalentní válcové skořepiny. Doktorandkou předpokládaný postup řešení vychází z použití vztahů současných předpisů, ale s koeficienty jejichž hodnoty jsou výsledkem disertační práce.

Zvolené metody zpracování.

Doktorandka ve své práci zvolila metodický postup řešení správně. Od podrobné, a vlastním hodnocením doplněné analýzy současného stavu navrhování kuželových skořepin ($\alpha_c > 25^\circ$), pokračovala teoretickou a experimentální analýzou řešení stability kuželových skořepin s okrajovým úhlem $\alpha_c = 5^\circ, 10^\circ$ a 15° , přičemž plně využila výsledky rozboru současného stavu. Problematiku stability kuželových skořepin řešila numericky pomocí MKP a programem COSMOS. Volbou numerického přístupu získala možnosti k řešení různých variant rozměrů i uložení kuželových skořepin, a v neposlední řadě i k následnému zobecnění výsledků řešení. Správně zvolený postup řešení umožnil doktorandce i splnění jejího záměru, a to jak teoreticky, tak experimentálně dokumentovat možnost modifikace, v současnosti platných postupů stabilitního posuzování kuželových skořepin na skořepiny s okrajovým úhlem $\alpha_c < 25^\circ$.

Splnění cílů doktorské disertační práce.

Cíle doktorské disertační práce byly formulovány takto:

- 1) Návrh vhodné metody výpočtu stabilitní únosnosti hladkých kuželových skořepin s malým vzepětím, zatížených vnějším přetlakem a s různými typy okrajových podmínek. Řešený rozsah okrajového úhlu je $\alpha_c = 5^\circ \div 15^\circ$
- 2) Nastínění problematiky vlivu počátečních imperfekcí na únosnost kuželových skořepin

Oba deklarované cíle doktorské disertační práce byly v celém rozsahu splněny. Jednotlivé varianty uložení a tenkostěnnosti kuželových skořepin byly numericky zpracovány, vybrané varianty experimentálně ověřeny a byla navržena vhodná metoda výpočtu stabilitní únosnosti hladkých kuželových skořepin s okrajovým úhlem $\alpha_c = 5^\circ \div 15^\circ$. Rovněž byl také naznačen postup při řešení problematiky vlivu počátečních imperfekcí na únosnost kuželových skořepin.

Poznatky dosažené v doktorské disertační práci.

V předkládané disertační práci se podařilo doktorandce Ing. Doubravce Středové přinést nově další přístupy k řešení problematiky posuzování stability kuželových skořepin s malým okrajovým úhlem α_c ($5^\circ \div 15^\circ$). Tyto skořepiny se prozatím řeší v menší míře než „běžné“ kuželové skořepiny s úhlem $\alpha_c > 25^\circ$. Rovněž přispěla svojí prací k otázce výpočtů únosnosti do ztráty stability tím, že se jí podařilo ověřit vliv jednotlivých parametrů s nimiž se výpočty realizují. Nezanedbatelným přínosem je také studium podmínek, kdy je možno použít analýzu GNA (geometricky nelineární analýzu) a kdy je již nutno, ke stanovení únosnosti jí řešených kuželových skořepin, sáhnout ke geometricky a materiálově nelineární analýze.

Význam doktorské disertační práce pro praxi a vědu.

Výsledky teoretického i experimentálního řešení dané problematiky jsou nejenom přínosem pro vědní obor a pro samotnou teorii stabilitních problémů kuželových skořepin s malým okrajovým úhlem $\alpha_c = 5^\circ \div 15^\circ$, ale také pro obohacení praxe tím, že doktorandka předkládá podklady pro modifikaci dosud užívaných analytických vztahů; tím umožňuje rozšířit aplikovatelnost postupů stabilitního posuzování (viz [1] v Literatuře dis. Práce, ECCS TC8 TWG 8.4 *Buckling of Steel Shells. 2008*) do segmentu malých okrajových úhlů.

Lze souhlasit s doktorandkou, že následující výzkum a bádání je třeba nasměrovat k řešení *vlivu pružně – plastického chování materiálu, vlivu počátečních imperfekcí na stabilitní únosnost kuželových skořepin*, a také k důkladnému řešení *vlivu natočení okrajového prstence na stabilitní únosnost*. Nedílnou částí následujícího výzkumu musí být i experimentální verifikace dosažených teoretických výsledků na reálných modelech zkoumaných skořepin. Velmi zajímavou a zajisté potřebnou problematikou, která by měla být v budoucnu řešena je, dle názoru oponenta, výzkum možné aplikace resp. rozšíření předložených výsledků na výrazně dynamicky namáhané skořepinové konstrukce např. dopravních prostředků.

Splnění podmínek tvůrčí vědecké práce.

Konstatuji, že doktorandka svojí disertační prací prokázala vědeckou erudici, schopnost přenášet a tvůrčím způsobem využívat poznatky dalších teoretických oborů, a také systematicky přistupovat k řešení teoreticky náročných problémů. Neméně potěšitelné je i její profesionální zvládnutí použitých výpočetních metod.

Formální úroveň předložené práce.

Po formální stránce je práce zpracována na velmi dobré úrovni, veškeré literární prameny z nichž při své práci doktorandka vycházela jsou vždy v textu citovány.

Grafická úroveň, skladba odborného textu i členění do kapitol jsou rovněž velmi dobré.

K textu disertační práce mám následující připomínky:

- Str.18, 2.ř.zdola – má být m_x nikoliv m (viz seznam použitých veličin)
- Str.34., 11.ř.shora – má být šířce ne délce $b = \dots$
- Str.36, 3.ř.shora – výraz v závorce; správně má být (vektor ohybového momentu má směr tečny k okraji kužele)
- Obr.6.12 a 6.13, osa souřadnic, chyba v označení parametru tenkostěnnosti
- Str.62, vztah (8.2); domnívám se, že ve jmenovateli vztahu schází člen 2π , aby síla F_r byla „jednotkovou silou na jednotkový úhel φ “; potom může zůstat nezměněn Obr.8.3. *V této souvislosti doporučuji doktorandce doplnit do následujícího výzkumu otázku, zda by nebylo vhodné, řešit tuhostní poměry prstence z pohledu „prstence zatíženého vnitřním přetlakem“ (viz teorie tlustostěnných tlakových nádob); doktorandkou stanovenou podmínku pro parametr Γ (str.61, nad vztahem (8.1) bude možné patrně ponechat, resp. vyjádřit v jiné podobě)*
- Str.63, vztah (8.5); u poloměrů r schází index 2

Disertační práci „Stabilitní prolomení kuželových skořepin s malým vzepětím“, doktorandky Ing. Doubravky Středové **doporučuji k obhajobě**. V případě úspěšného obhájení předložené práce **doporučuji udělit** Ing. Doubravce Středové titul PhD.

V Pardubicích dne 8.11.2012

Doc.Ing.Jan Kout,CSc
oponent