

Prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.
Metrostav a.s.
Koželužská 2450/4
180 00 Praha 8

Posudek doktorské dizertační práce

Hledání tvaru skořepinových konstrukcí,
kterou předložil

Ing. Jiří Musil

Aktuálnost tématu

Skořepinové konstrukce jsou velmi tenkostěnné a úsporné z hlediska spotřeby materiálu. Tyto jejich příznivé vlastnosti by se mohly ještě zlepšit použitím nových vysokopevnostních betonů. Práce se zabývá analýzou skořepinových konstrukcí s ohledem na nalezení optimálního tvaru tak, aby jejich namáhání bylo co nejpříznivější. Malá spotřeba materiálu a optimální působení jsou parametry, které řadí skořepinové konstrukce k ideálním i z hlediska udržitelného rozvoje. Největším problémem je jejich výstavba, která nebývá jednoduchá. Přesto se stále setkáváme s realizovanými návrhy skořepin, jak autor ukazuje v kapitole 2. Skořepinové konstrukce působí velmi atraktivně a stávají se často mezníky a orientačními body ve městě nebo v krajině. Předložená práce prezentuje problémy s návrhem skořepin, ukazuje jejich řešení a stává se tak zajímavým podkladem pro jejich návrh. Práce je proto vysoce aktuální.

Splnění cílů dizertační práce

Cíle práce jsou jasně definovány v kapitole 3. Hlavním cílem je objasnění základních principů návrhu skořepiny s využitím metody konečných prvků. Postupy jsou vysvětleny postupně na třech typech skořepin. Dalším cílem bylo ověření navržených postupů na experimentálním modelu jedné z dříve analyzovaných skořepin. Lze jednoznačně konstatovat, že vytčené cíle byly splněny.

Postupy řešení a konkrétní přínosy doktoranda

Práce zcela správně a logicky začíná popisem současného stavu a zmiňuje skořepiny starší i nové, které byly realizovány (kap. 2). V kap. 4 autor stručně popisuje princip metody konečných prvků a jejího využití pro geometricky nelineární analýzu, časovou analýzu a stabilitní analýzu. Zmiňuje též významný vliv imperfekcí. Pro následné řešení jednotlivých úloh byl používán programový soubor Midas Civil. Další přípravnou kapitolou je kap. 5, zabývající se modelovou podobností. Popisuje vztahy mezi jednotlivými veličinami na modelu a na reálné konstrukci, které jsou ovlivněny měřítkem modelu, popř. jinými materiálovými vlastnostmi.

V kapitole 6 se vysvětluje princip metody hledání tvaru dokonale ohybného vlákna a to přímým analytickým řešením a numerickým iteračním procesem. Dále se řeší numericky válcová skořepina. Z porovnání numerického a analytického řešení je vidět, jak iterační metoda konverguje.

Další kapitoly 7, 8 a 9 se věnují již konkrétním skořepinám, tzv. „Buckelschale“ – skořepině nad obdélníkovým půdorysem s různým způsobem podepření, trojúhelníkové skořepině realizovaná na zastřešení čerpací stanice ve Švýcarsku a skořepině na zastřešení hal a plaveckých bazénů, jejichž autorem je H. Isler. U všech typů je nalezen optimální tvar a jsou posouzeny na únosnost a stabilitu při zatížení vlastní tíhou a sněhem v několika variantách, včetně vlivu časového faktoru. Dále jsou

analyzovány různé varianty podepření od tuhého až po použití přepjatých prvků pro omezení vodorovných, popř. svislých posunutí na okrajích nebo v podporových bodech. Pro nalezení vhodného tvaru prvních dvou skořepin se vychází z rovinného tvaru, u třetí je použit složitější postup popsáný v kapitole 9.2 a 9.3.

Kapitola 10 se zabývá experimentálním modelem třetí posuzované skořepiny, který byl postaven v měřítku cca 1:55. Model je zajímavý z řady důvodů, zejména tím, že byl vyroben 3D tiskem, pak způsobem stanovení modelové podobnosti, která s důvodů jasně vysvětlených v práci byla pouze přibližná a nakonec i získáním velmi dobré shody experimentálních a numerických výsledků. Je třeba ocenit i mimořádně pečlivý postup vyhodnocení experimentu. Napětí i deformace byly řešeny numericky na skutečné konstrukci a na modelu pro bodové a plošné zatížení. Dále byla věnována patřičná péče i stanovení materiálových vlastností u modelu, který je z kompozitu s vlákny, tedy z ortotropního materiálu.

Přínosy dizertanta lze jednoznačně vidět ve vývoji metodiky stanovení tvaru skořepiny, aby splňoval dané podmínky a aby její působení bylo pokud možno membránové. Postupy jsou odvozeny a ověřeny na příkladech tří skořepin. Působení poslední skořepiny bylo ověřeno na zcela novém netradičním modelu a bylo dosaženo mimořádně dobré shody s numerickým řešením, což znamená, že byl nalezen správný tvar skořepiny, ale rovněž, že model byl navržen správně s ohledem na modelovou podobnost.

Význam pro praxi a rozvoj oboru

Jak jsem již uvedl v úvodu, skořepiny patří mezi únosné a úsporné elegantní konstrukce. Přestože jejich výstavba je náročná, stále se navrhují, obvykle pro mimořádnější atraktivní konstrukce, např. pro velkorozponová zastřešení. Předložená práce řeší problematiku jejich návrhu s využitím dostupného softwaru. Tím představuje jednoznačný přínos pro projekční praxi. Přínos práce je nesporný i pro další rozvoj oboru, neboť naznačuje, jaké další problémy je třeba řešit, např. vliv časově závislých deformací v interakci s nelineárním působením, nebo další způsoby zatěžování. Ověření nové technologie 3D tisku pro výrobu experimentálního modelu představuje též významný přínos v oblasti experimentálního výzkumu.

Formální úprava a jazyková úroveň

Po formální stránce je práce zpracována velmi pěkně. Je dosti rozsáhlá (167 stran vlastní práce a 80 stran příloh), avšak zároveň přehledná. Bohužel obsahuje řadu překlepů, možná i způsobených automatickými opravami textového procesoru. Je třeba ocenit kvalitní obrazovou část, zejména grafické výstupy z výpočetního programu, které mají dostatečně velké písmo a jsou dobře čitelné. Z formálního hlediska mi v práci chybí popis rozměrů modelu, resp. jeho výkres, i když se rozměry dají odhadnout z uvedených měřitek. Rovněž se uvádí např. pokles tlakové rezervy v táhle na hodnotu 105 kN (str. 89). Bylo by vhodnější též uvést, kolik byla původní hodnota, aby si čtenář udělal lepší představu o významu poklesu, popř. uvádět nikoli sílu, ale napětí v betonu táhla. Tyto malé formální nedostatky však nijak závažně nesnižují vysokou kvalitu předložené práce.

Poznámky k předložené práci a doplňující dotazy

Předložená práce definuje své cíle a postupy jejich řešení, s kterými lze jen souhlasit. K práci nemám připomínky, uvedené postupy a výsledky považuji za správné. V diskusi by bylo zajímavé, kdyby dizertant mohl zodpovědět např. následující otázky:

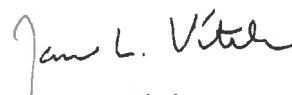
1. Jak se určí zatížení v jednotlivých iteracích, např. str. 58-59, aby bylo dosaženo požadovaného vzepětí (zde 2.5 m).
2. Jak by se skořepina o rozpětí 50 m (ověřovaná experimentálně) měla stavět, zejména s ohledem na vliv objemových změn betonu, aby nedošlo např. ke vzniku trhlin.

Závěr

Předložená dizertační práce svým obsahem, rozsahem i kvalitou zpracování výrazně převyšuje obvyklou úroveň dizertačních prací. Zabývá se aktuální tematikou a přináší originální výsledky, které jsou přímo aplikovatelné v praxi a zároveň vytvářejí podklad pro další výzkum. Lze velmi ocenit, že práce má teoretickou i experimentální část a že pro experiment byla použita nová technologie 3D tisku. Autor prokázal vysoké odborné znalosti a schopnost samostatného řešení složitých problémů. Doporučuji proto, aby mu byl po úspěšné obhajobě udělen titul

Doktor „Ph.D.“

V Praze, 26. 8. 2017



Jan L. Vitek