

Roman FOJTÍK¹, Tomáš NOVOTNÝ²

NOVÝ ZTUŽUJÍCÍ SYSTÉM VERTIKÁLNÍCH OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

THE NEW SYSTEM OF STEEL STRUCTURE VERTICAL BRACING

Abstrakt

Výstavba objektů, jejíž konstrukce musí odolávat horizontálním silám, které tvoří především proud vzduchu, zemětřesení a mnoho dalších, klade zvýšené nároky na ztužení odolávající těmto silám. Mezi tyto konstrukce především patří stožáry, rozhledny a výškové budovy. Velké štíhlosti vertikálních konstrukcí, vyžadující vyšší nároky na tuhost ztužidel, přinášejí prostor pro nové netradiční řešení, které je předmětem uvedeného článku.

Klíčová slova

Ztužidlo, ocel, výškové budovy, rozhledny, seismicita.

Abstract

Construction of buildings whose design must withstand the horizontal forces, consisting primarily of wind stream, water, earthquake, and many others, puts greater demands on the reinforcement to withstand these forces. These structures include masts, towers, high-rise buildings and more. Large slender vertical structures requiring higher stiffness bracing provide space for new innovative solution, which is the subject of the article.

Keywords

Bracing, steel, high-rise buildings, towers, seismicity.

1 ÚVOD

Od vzniku prvních obydlí byla snaha stavět budovy, především náboženského významu, blížící se obloze. Při použití tradičních materiálů a technologií užívajících především stěnový systém, začaly vyrůstat první mrakodrapy (Home Insurance, 1885, New York) [1]. Tyto objekty neměly výrazné problémy s horizontálními silami, protože poměr výšky ku šířce se „přibližoval“ hodnotě 1:1 a také stěnový systém zajišťoval dostatečnou vodorovnou tuhost. Z důvodu velké hmotnosti a relativně malé pevnosti, nebylo možné překročení limitní výšky. Při použití nových materiálů pro výstavbu štíhlých výškových konstrukcí jako je železobeton a ocel, které umožnily realizovat relativně lehké skeletové štíhlé konstrukce, docházelo s rostoucí výškou ke zvýšeným nárokům na ztužení konstrukcí tzv. „daň z výšky“. Od doby prvních mrakodrapů bylo do dnešních dnů vystavěno nespočet výškových budov, které byly realizovány za pomoci nových materiálů a především konstrukčních systémů. Téměř každá výšková budova snažící se překonat dosavadní velikány přichází s novým konstrukčním řešením. Skok od prvního mrakodrapu k poslednímu je bezmála 780 m. Jedním z důležitých prvků konstrukčního systému je ztužení zajišťující stabilitu konstrukcí.

¹ Ing. Roman Fojtík, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 398, e-mail: roman.fojtik@vsb.cz.

² Dr. Ing. Tomáš Novotný, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 357, e-mail: tomas.novotny@vsb.cz.

2 PŘEHLED ZTUŽUJÍCÍCH SYSTÉMŮ

Patrové budovy běžných rozměrů využívají především dva základní typy vertikálních ztužujících systémů.

Prvním typem jsou příhradová ztužidla, která se provádějí v různých modifikacích. Obecně se uvažují jako „tažené diagonály“, jejíž výhodou je subtilní profil, ale z důvodu malé plochy táhla dochází k větším vertikálním deformacím. Další alternativou příhradového ztužení je přenášení tlakových sil, které z důvodu velkého vzpěru, vyžadují navýšení průřezu profilu diagonál.

Druhým typem jsou rámová ztužidla tvořena tuhými rámovými přípoji přenášející kromě osových sil také značné ohybové momenty. Tento typ ztužení je omezen především tuhostí a pracností styčníků.

Popsané vertikální ztužující systémy lze použít pro objekty výšky 30 až 40 pater s poměrem výšky ku šířce objektu nepřesahující 6:1. Pro budovy dosahující 60 pater je nutné navíc vkládat ztužující pásy, tvořené doplňkovými ztužidly probíhajícími po výšce i šířce celého patra, tak aby byly do přenosu vodorovných sil zapojeny i svislé sloupy objektu. Stavby přesahující 60 pater většinou využívají tzv. „trubkového systému“, který byl vyvinut v USA.

Základním principem trubkového systému je vytvoření velmi tuhého obvodu konstrukce s volným vnitřním prostorem. Tento systém může být realizován jako „rámový“ (framed tubes) pomocí hustého ukládání fasádních sloupků spojených mezi sebou příčlemi s rámovými spoji. Příkladem užití této technologie bylo „World Trade Center“. Dalším typem trubkového systému je „příhradový trubkový systém“ (braced tubes). Mezi nejznámější užívané příhradové ztužení patří „příhradová megakonstrukce“ tvořená příhradovými diagonálami velkých profilů procházející přes několik pater. Velkou výhodou tohoto systému je kromě jiného také přenos svislých sil. Zástupcem užívaným tohoto systému je „J. Hancock Center“. Jednou z dalších modifikací trubkového systému je „svazek trub“ (bundled tubes), který využívá předchozích systémů ve shluku samostatných trub navzájem spojených [2]. Nejvyšším zástupcem je „Burj Khalifa“ s výškou 828 m.

2.1 Zatížení a statické řešení

Všechny vertikální štíhlé konstrukce jsou kromě běžných svislých zatížení, jakou je vlastní tíha, užité zatížení, zatížení sněhem a další, vystaveny značným, především vodorovným silám od účinků větru, zemětřesení, imperfekcí a dalších.

Vítr působící na štíhlé vysoké konstrukce převyšující okolní terén a zástavbu působí velkými silami na konstrukci. První vlastní frekvence štíhlých konstrukcí velmi často padá pod hranici 4 Hz někdy i 1 Hz, čímž vyplývá nutnost uvažování dynamických účinků větru a také seismicity.

Zemětřesení v ČR je relativně nevýznamné, oproti seizmicky aktivním oblastem světa. Nicméně dle ČSN EN 1998 se v ČR nacházejí oblasti s nízkou a větší než nízkou seismicitou charakterizovanou hodnotou návrhového zrychlení vyšší než 0,04 g [3]. V těchto oblastech, např. na Chebsku či Ostravsku, je nutné s tímto typem zatížení také uvažovat.

Imperfekce vyjadřuje vliv vychýlení konstrukce z vertikální polohy na vnitřní síly. Tyto nepříznivé účinky narůstají s výškou a tíhou svislého zatížení. Dalšími nepříznivými vlivy jsou: „vliv zkrácení sloupů od svislého zatížení, interakce s podložím (překlopení), teplotní roztažnost konstrukce“ [2].

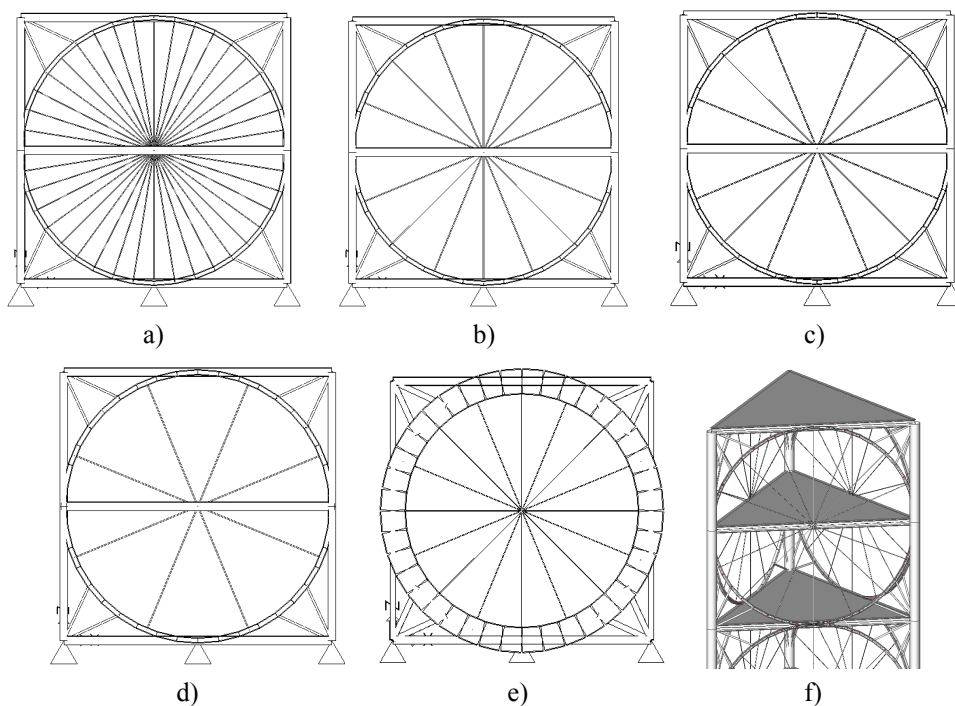
3 NOVÝ OBRUČOVÝ ZTUŽUJÍCÍ SYSTÉM

Základní požadavky na ztužující systém vyplývají z jeho funkce a umístění v konstrukci. Účelem tohoto ztužujícího systému je přenos vodorovných sil od větru, zemětřesení a imperfekcí. Kromě přenosu horizontálních sil, které přenášejí všechny ztužující systémy, umožňuje obručový tvar ztužidla přenos i vertikálních zatížení, jako je vlastní tíha konstrukce, užité zatížení a další. Při implementaci obručového systému jako stěnového ztužidla do trubkového systému výškových budov, získáme minimální plochu konstrukce ztužidla, zabraňující výhledu z objektu. Poslední a nejdůležitější vlastností ztužidla jsou výhodné statické a dynamické vlastnosti. Obruč jakožto

zakřivený uzavřený prvek (ideál kruh) velmi dobře přenáší velké tlakové síly za předpokladu stability obruče, kterou zajišťují táhla ukotvená do středu obruče [4]. Dynamické vlastnosti jednotlivých obručových ztužidel je možné v určité míře měnit pomocí předepínání jednotlivých ztužidel.

3.1 Postup vývoje obručového ztužidla

Na začátku bylo nezbytné zvolit správný profil obruče, který je namáhán velkým osovým tlakem. Ideálním průřezem jsou například uzavřené profily (trubka, hranatá trubka) nebo otevřený naplocho uložený profil U a profil HEA. Dalším krokem bylo stanovení optimálního počtu předpínacích táhel. Pomocí numerických modelů byly hledány nejvhodnější varianty umístění a počtu táhel. Cílem bylo nalezení vyváženého poměru využití konstrukce k její hmotnosti. Celkem bylo vytvořeno 6 variant numerického obručového ztužidla. Jednotlivé modely se lišily počtem táhel. Numerické modely o velikosti ztužidla v rámu 10×10 m byly zatíženy svislými a vodorovnými silami odpovídající budově výšky 70 m s půdorysem rovnostranného trojúhelníku o straně délky 10 m.



Obr. 1: Schémata návrhů obručových stěnových ztužidel a) 40 táhel, b) 16 táhel, c) 12 táhel, d) 8 táhel, e) obruč HEA 1000, f) schéma osazení ztužidla do konstrukce

První numerický model obsahoval 40 táhel (viz obr. 1a). Tato varianta se vyznačovala minimálními nároky na tuhost obruče způsobenou velkým počtem táhel, která rozdělila obruč na krátké úseky. Tento model se také vyznačoval velkou tuhostí a velkou hmotností předpínacích prvků. Dalšími numerickými modely byly obruče s 16, 14, 12 táhly (viz obr. 1b, 1c), jejichž poměr tuhosti a hmotnosti se přiblížil požadavkům. Zmíněné varianty vykazovaly optimální poměr využití obruče a táhel, proto volba nejvhodnější konstrukce ztužidla bude záviset na velikosti ztužující obruče a zatížení. Poslední variantou využívající shodné obruče s předcházejícími modely je varianta s 8 táhly (viz obr. 1d), která již vykazuje zvýšené nároky na tuhost obruče, čímž dochází k nárůstu hmotnosti celého obručového systému. Varianta vybočující z uvedené řady byla navržena z profilu HEA 1000 (viz obr. 1e), který by měl nahradit funkci obvodových sloupků. Tato varianta je naprosto nevhodná z důvodu extrémní hmotnosti. Díky velké tuhosti samotné obruče předpínací táhla již neplní svou funkci.

Všechny uvedené modely byly vytvořeny především za účelem získání základní geometrie konstrukce, nalezení optimálních profilů a představě o chování konstrukce. Všechny uvedené numerické modely byly vytvořeny v programu Scia Engineer.

3.2 Experimentální ověření funkčnosti obručového ztužidla

Konstrukční prvek obručového ztužidla je v současné době podrobován zátěžovým zkouškám v laboratoři FAST. Na základě předběžného návrhu geometrie byly vytvořeny zmenšené numerické modely 1:20. Výsledné profily testovaných vzorků byly omezeny parametry hydraulického lisu. Jednou z uplatněných metod měření je tenzometrie [5], jejíž výsledky pomohou s popisem chování vzorku při zatížení. Experimenty jsou rozloženy do tří etap. Každá etapa obsahuje tři vzorky. Jednotlivé etapy se liší velikostí vnesených předpínacích sil do táhel obručového ztužidla.

První etapa, jejíž výsledky jsou již známy, nebyla zatížena žádnými předpínacími silami. Výsledné chování konstrukce odpovídalo diagonálnímu působení ztužidla, bez zapojení zbývajících částí do spolupůsobení, dle předpokladů numerických modelů.

Další připravované etapy již zavádějí vliv předpětí, které je u 2. etapy vneseno hodnotou poloviční zbytkové síly při plném zatížení a 3. etapa využívá pro předpětí plné využití zbytkové únosnosti. Experimenty jsou prováděny pro získání smykové tuhosti obručového systému za pomoci speciálních příslušenství lisu určených pro smykové zkoušky.

4 ZÁVĚR

Obručový ztužující systém je konceptem netradičního řešení ztužení vertikálních konstrukcí, přinášející výhodné vlastnosti jakou jsou: „využití oceli v tahu a prostém tlaku, redukovatelná tuhost, relativně nízká hmotnost, laditelný útlum a také nekonvenční design“. Případné užití obručového systému v praxi je vhodné především pro rozhledny, případně i pro výškové budovy vyžadující architektonicky netradiční ztvárnění konstrukčního systému.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění „Specifického vysokoškolského výzkumu SP2012/1“ a „Nadace Tomáše Bati“.

LITERATURA

- [1] TERRANOVA, A. *Mrakodrapy*. 1. vyd. Praha: Slovart, 2004, 311 s. ISBN 80-720-9611-7.
- [2] STUDNIČKA, J. MACHÁČEK, J. VOTLUČKA, L. *Ocelové konstrukce 20: pozemní stavby*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 269 s. ISBN 80-010-1556-4.
- [3] KALÁB, Z. *Seismická měření v geotechnice: monografie*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008, 125 s. ISBN 978-80-248-1796-5.
- [4] FOJTÍK, R. ROSMANIT, M. *A New Pre-Stressed Bracing System for Buildings*. CC2009: The 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Funchal, Madeira, Portugal, September 2009, Proceedings and CD, ISBN: 978-1-905088-32-4.
- [5] TOMICA, V. ODROBIŇÁK, J. *Stochastic character of stress hot spots on a highway bridge*. Proceedings of XVIII. Russian-Slovak-Polish international seminary "Theoretical foundation of civil engineering", Moscow - Archangelsk, Russia, 2009. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009, pp. 329-336. ISBN 83-908083-8-2.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jaroslav Odrobiňák, PhD., Katedra stavebných konstrukcí a mostov, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Ing. Václav Cepek, CSc., Ostrava.