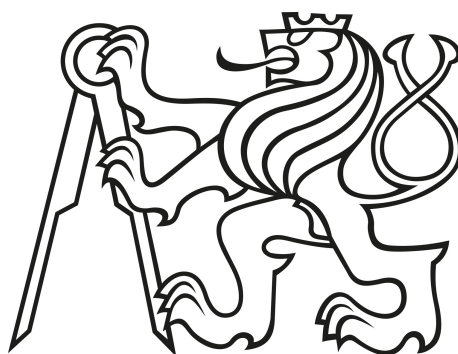


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Jaroslav Schmidt

Vodorovná tuhost betonových hal

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

| | | |
|---|------------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Schmidt</u> | Jméno: <u>Jaroslav</u> | Osobní číslo: <u>410210</u> |
| Zadávací katedra: <u>K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí</u> | | |
| Studijní program: <u>SI - Stavební inženýrství</u> | | |
| Studijní obor: <u>C - Konstrukce pozemních staveb</u> | | |

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

| | |
|--|---|
| Název bakalářské práce: <u>Vodorovná tuhost betonových hal</u> | |
| Název bakalářské práce anglicky: <u>Horizontal stiffness of concrete halls</u> | |
| Pokyny pro vypracování: Konstrukční řešení hal - Shrnutí poznatků z literatury a realizací Problematika vodorovných deformací prefabrikovaných železobetonových hal Výpočet pro vybranou konstrukci | |
| Seznam doporučené literatury: Vaňura Tomáš. Montované železobetonové haly. SNTL, 1977 ČSN 731201 Podklady realizovaných hal | |
| Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Doc. Ing. J. Vašková, CSc.</u> | |
| Datum zadání bakalářské práce: <u>22.2.2016</u> | Termín odevzdání bakalářské práce: <u>22.5.2016</u> |
| _____ | _____ |
| Podpis vedoucího práce | Podpis vedoucího katedry |

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

| | |
|-----------------------|---------------------|
| <u>29.2.2016</u> | _____ |
| Datum převzetí zadání | Podpis studenta(ky) |

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

V Praze, dne 20.5. 2016

Podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce doc. Ing. Jitce Vaškové, CSc. za její trpělivost, čas a věcné připomínky, které mi pomohly při psaní práce. Poděkování patří také týmu statické kanceláře Statika ČÍŽEK s.r.o., kteří mi poskytli dostatek podkladů a ochotně konzultovali práci. Rád bych vyzdvihnul hlavně pomoc od Ing. Martina Vašiny. V neposlední řadě děkuji své rodině a přítelkyni za dlouhodobou podporu během mých studií.

Abstrakt

Práce se zabývá vodorovnou tuhostí prefabrikovaných hal a vlivy, které ovlivňují vodorovnou deformaci konstrukce. V práci je nejprve představeno konstrukční řešení hal a je proveden rozbor jednotlivých variant styku vazníku se sloupem. Dále je odvozen výpočetní model jednolodních hal se zavedením pružného rohového článku. Tímto způsobem lze simulovat tuhost styčnicků, tj. skutečnost, že se žádný styčník nechová jako dokonalý kloub. Na základě modelu je provedena analýza závislosti vodorovného průhybu na výšce haly. Výsledná hodnota je porovnávána s mezní hodnotou $H/500$, kterou předepisuje norma ČSN 73 1201. Práce ukazuje, že tato hodnota je příliš přísná a splnění normového požadavku je těžko dosažitelné. V poslední části práce je proveden výpočet již realizované prefabrikované haly a je ukázáno, že přesným výpočtem tuhosti styčnicku metodou konečných prvků lze zpřesnit výpočet a zmenšit výpočetní vodorovné deformace.

Klíčová slova: Betonové haly, vodorovné deformace, tuhost prefabrikovaných styčnicků, deformace hal, mezní deformace

Abstract

The thesis is focused on horizontal stiffness of precast halls and on influences that affect the resulting horizontal deformation. In work is introduced structural design of halls and there is an analysis of individual variants of joint between column and girder. The work also derived computational model of single-nave halls with implementation of elastic corner. The elastic corner can simulate that none of the joints doesn't behave as a clean hinge. Based on the model is determined dependence of the height and horizontal deflection. The resulting value is always compared with the limit value $H/500$, which prescribed norm CSN 73 1201. The thesis shows that this value is too strict and satisfied of norm requirement is unrealistic. The last part is a calculation of realized precast hall. It is shown that exact calculation of joint stiffness can refine calculation of horizontal deformation. There is smaller deflection with exact calculation.

Key words: Concrete halls, vertical deformations, stiffness of precast joints, deformation of halls, limit deformations

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod | 8 |
| 2 Konstrukční řešení hal | 9 |
| 2.1 Materiálové varianty vazníkůvých hal | 11 |
| 2.2 Vazníkové haly betonové | 11 |
| 2.2.1 Betonové haly monolitické | 12 |
| 2.2.2 Betonové haly prefabrikované | 12 |
| 3 Řešení styčníků montovaných hal | 14 |
| 3.1 Styk sloupu se základovou konstrukcí | 14 |
| 3.2 Styčník vazníku a sloupu | 15 |
| 3.3 Statické působení styků | 19 |
| 4 Mezní deformace dle norem | 22 |
| 4.1 Vodorovná deformace v normách | 22 |
| 4.2 Odezva hal na dynamické zatížení | 23 |
| 5 Statické působení hal | 29 |
| 5.1 Statické schéma jednodílné haly | 29 |
| 5.2 Vliv vzniku trhlin na průhyb | 33 |
| 5.3 Vliv výšky haly na deformaci | 36 |
| 5.3.1 Dvoukloubová soustava | 36 |
| 5.3.2 Soustava s pružnými články | 41 |
| 6 Výpočet vybrané konstrukce haly | 44 |
| 6.1 Použité materiály | 44 |
| 6.2 Výpočet zatížení | 47 |
| 6.3 Výpočetní model | 48 |
| 6.4 Mezní stav únosnosti | 49 |
| 6.5 Mezní stav použitelnosti | 52 |
| 7 Závěr | 59 |
| Příloha A | 61 |

1 Úvod

Hlavním tématem bakalářské práce jsou vodorovné deformace prefabrikovaných železobetonových hal, které vznikají především působením větru na příčnou vazbu haly. Prvotním impulsem pro výběr tématu byla skutečnost, že v české normě ČSN 731201 je uvedena mezní hodnota pro vodorovný průhyb, která je definována jako pětisetina výšky haly. Přestože je hodnota ze stavařského pohledu v určitých situacích vyžadována, ze statického hlediska je hodnota příliš přísná a pro její splnění by v mnoha případech docházelo k navrhování velice masivních prvků. Cílem práce je analyzovat vodorovné deformace prefabrikovaných hal v obecném kontextu.

Práce se v druhé kapitole zabývá přehledem konstrukčního řešení hal. Uvádí i příklady základního řešení dřevěných a ocelových hal. V kapitole je také pojednáno o konstrukčním řešení betonových hal, přičemž prefabrikovanými halami a řešením jejich styků se dopodrobna zabývá kapitola třetí. V ní je kladen důraz na seznámení se s různými způsoby provádění detailů jednodolných hal, tedy styky vazník-sloup a sloup-základ. Ve čtvrté kapitole je pojednáno o mezních deformacích v českých normách a na příkladu dynamického zatížení je ukázáno, že hodnoty mezních vodorovných průhybů se nesmyslně liší v ocelářské a betonářské normě. V kapitole páté je potom odvozen výpočetní model jednodolní haly s přihlédnutím na tuhost styku vazník-sloup a je provedena analýza závislosti výšky haly na průhybu. V poslední kapitole je podobná analýza provedena na již realizované hale.

Strany 9-58, tedy kapitoly 2-6, jsou umístěny v neveřejné příloze.

7 Závěr

V práci byla zkoumána vodorovná deformace prefabrikovaných hal a parametry, které deformaci ovlivňují. Dále bylo cílem práce ukázat, že doporučená mezní hodnota vodorovné deformace, kterou předepisuje norma ČSN 73 1201, je zbytečně přísná a vede k předimenzování konstrukce.

Práce v kapitole 4 ukazuje, že mezní hodnota vodorovné deformace se liší u ocelářské a betonářské normy, přičemž ocelářská norma je méně přísná. Odlišná hodnota pozbývá smyslu, protože deformace jsou omezeny hlavně kvůli navazujícím stavařským konstrukcím, které jsou pro obě varianty shodné. Navíc je na příkladu dvou hal ukázáno, že betonové haly reagují na vodorovné zatížení od větru pomaleji. Jelikož je zatížení větrem klasifikováno jako krátkodobé zatížení, je u betonových hal pravděpodobnější, že zatížení větrem vymizí ještě předtím, než dojde k nárůstu na vypočtenou hodnotu. V analýze je uvažována hala jako dynamický systém s jedním stupněm volnosti a pro porovnání odezvy jsou vybrány dvě haly, jejichž vazníky se navrhovaly jak z betonu, tak z oceli. V kapitole je ukázáno, že reakční doba závisí na odmocnině z relativní hmotnosti obou variant. Poměr reakčního času betonové a ocelové haly vychází u těchto hal postupně 2.84 a 3.48. Je vidět, že ocelová hala reaguje výrazně rychleji.

V páté kapitole je provedena analýza závislosti vodorovné deformace na výšce haly a na tuhosti styčnicku vazník-sloup a výsledná hodnota je vždy porovnávána s mezní hodnotou $H/500$, kterou předepisuje norma ČSN 73 1201. Pro analýzu je podle teorie pružnosti odvozen výpočetní model, kde jako jeden z parametrů vystupuje tuhost styčnicku k_s . V kapitole je dále provedena analýza vztahu lineární deformace a nelineární deformace (myslena deformace s vlivem vzniku trhlin) v závislosti na stupni vyztužení. Při zjednodušeném uvažování vzniku trhlin po celé délce prvku je ukázáno, že nelineární deformace je pro stupeň vyztužení 1% rovna čtyřnásobku lineární deformace. Při snižování stupně vyztužení hodnota konverguje k nekonečnu (kolaps). Při zvyšování stupně vyztužení se nelineární deformace dostává asi na dvojnásobek lineární hodnoty. Při uvažování převyztuženého průřezu se hodnota dále snižuje. V kapitole je převod deformace z lineární na nelineární využit pro analýzu deformace hal. Pro analýzu byly uvažovány následující vstupní parametry: Základní rychlost větru 25m/s, vzdálenost příčných vazeb 6m, vazník o délce 20m a obdélníkovém průřezu o rozměrech 200x1000mm. V kapitole je ukázáno, že hala s uvažováním nulových tuhostí styčnicků (tj. vazník ukládaný pouze přes smykové

trny) vykazuje výrazné deformace při nárůstu výšky. Pro splnění normových požadavků $H/500$ je nutno navrhnout masivní průřez, který je silně vyztužen. Změna doporučené hodnoty z $H/500$ na $H/250$ by přitom dovolila mnohem úspornější řešení. Zvýšené požadavky na mezní deformace kvůli navazujícím konstrukcím lze řešit v konkrétních případech podle požadavků stavařských konstrukcí a není důvod omezení přísnou hodnotou $H/500$ ve všech obecných případech. V kapitole je provedena i analýza deformace na výšce haly s přihlédnutím na tuhost styčnicku vazník-sloup. Tomuto případu odpovídá uložení vazníku do vidlice. Zanesením vlivu tuhosti styčnicku lze výrazně omezit výpočetní vodorovné deformace a normová hodnota $H/500$ není tolik svazující. Problémem zůstává, že tuhosti styčnicků se chovají v každém směru namáhání jiným způsobem a navíc nelze určit hodnotu jejich tuhostí jinak, než přesným výpočtem metodou konečných prvků s porovnáním s reálnými experimenty. Tyto data nejsou při navrhování k dispozici.

V poslední kapitole je proveden výpočet již realizované haly a je ukázáno, že pokud by investor požadoval splnění normové mezní hodnoty, lze jen těžko požadavkům vyhovět. Hala je nejprve vyztužena dle MSÚ a je proveden lineární a nelineární výpočet s uvažováním nulových tuhostí styčnicků. Hala v tomto případě vykazuje veliké vodorovné deformace. Deformace lze zmenšit změnou geometrie sloupu nebo větším stupněm vyztužení sloupu. Změna geometrie sloupu není v kapitole vyšetřována a je posouzen vliv změny stupně vyztužení. Při vyztužení dvou třetin maximálního vyztužení je z hlediska normy deformace stále nevyhovující. Dále je ukázán vliv tuhosti styčnicku vazník-sloup na hodnotu vodorovné deformace. Tuhost styčnicku je stanovena metodou konečných prvků, kdy je předepsán jednotkový moment a sleduje se vzniklá deformace. Pro vazník ukládaný do vidlice vychází pružným výpočtem tuhost v řádu 100MNm/rad . Po změně statického modelu zavedením tuhosti styčnicku vycházejí deformace asi poloviční. V závěru kapitoly je ukázáno, že ani zavedením přesnějšího statického modelu není hala schopna vyhovět normovým požadavkům. Požadavky musí být splněny zvětšením rozměrů sloupu a změna návrhu může vést k neekonomickým a předimenzovaným konstrukcím.

Příloha A

Pro připomenutí jsou uvedeny tvary momentových a jedné patrové podmínky rovnováhy jednolodní haly. Podmínky nabývají tvaru

$$\overline{M}_{ba} + k_1 \left(2\varphi_b + 3\frac{w}{L_1} \right) + k_s (\varphi_b - \varphi_c) = 0, \quad (24)$$

$$\overline{M}_{cd} + k_2 (2\varphi_c + \varphi_d) + k_s (\varphi_c - \varphi_b) = 0,$$

$$\overline{M}_{dc} + k_2 (\varphi_c + 2\varphi_d) + k_s (\varphi_d - \varphi_e) = 0,$$

$$\overline{M}_{ef} + k_1 \left(2\varphi_e + 3\frac{w}{L_1} \right) + k_s (\varphi_e - \varphi_d) = 0, \quad (25)$$

$$\overline{V}_{ba} + \overline{V}_{ef} + \frac{3k_1}{L_1} \left(\varphi_b + \varphi_e + 4\frac{w}{L_1} \right) = 0.$$

Pro účely práce je zbytečné zabývat se pootočením styčníků c a d , proto lze z rovnic (24) a (25) vyjádřit neznámá pootočení v těchto uzlech a upravené tvary dosadit do ostatních rovnic. Tímto krokem jsou ze systému pěti lineárních rovnic získány pouze tři, které lze maticově popsat takto

$$\mathbf{K}\mathbf{r} = \mathbf{F},$$

kde navíc platí

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \frac{3k_1}{L_1} & \frac{3k_1}{L_1} & \frac{12k_1}{L_1^2} \\ 2k_2 + \frac{4k_1k_2}{k_s} + 2k_1 & k_2 + \frac{2k_1k_2}{k_s} & \frac{3}{L_1} \left(k_1 + \frac{3k_1k_2}{k_s} \right) \\ k_2 + \frac{2k_1k_2}{k_s} & 2k_2 + \frac{4k_1k_2}{k_s} + 2k_1 & \frac{3}{L_1} \left(k_1 + \frac{3k_1k_2}{k_s} \right) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{r} = \begin{Bmatrix} \varphi_b \\ \varphi_e \\ w \end{Bmatrix},$$

$$\mathbf{F} = \begin{Bmatrix} -\overline{V}_{ba} - \overline{V}_{ef} \\ -\overline{M}_{cd} - \overline{M}_{ba} - \frac{k_2}{k_s} (2\overline{M}_{ba} + \overline{M}_{ef}) \\ -\overline{M}_{dc} - \overline{M}_{ef} - \frac{k_2}{k_s} (\overline{M}_{ba} + 2\overline{M}_{ef}) \end{Bmatrix}.$$

Z této rovnice se vyjádří neznámé deformace tak, že se matice \mathbf{F} zleva vynásobit inverzní maticí \mathbf{K}^{-1} , která se vypočte za použití následujícího maticového vzorce. Vzorec je získán modifikací obecného vzorce pro výpočet inverzní matice, který lze nalézt např.

v [12].

$$\begin{bmatrix} a & a & b \\ c & d & e \\ d & c & e \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{2ae - b(c+d)} \begin{bmatrix} e & \frac{bc-ae}{d-c} & -\frac{bd-ae}{d-c} \\ e & -\frac{bd-ae}{d-c} & \frac{bc-ae}{d-c} \\ -c-d & a & a \end{bmatrix}.$$

Nyní lze vypočítat inverzní matici \mathbf{K}^{-1} a poté pro výsledné deformace platí následující vzorec

$$\mathbf{r} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{F}.$$

Pravá strana rozepsaná v maticovém tvaru nabývá tvar

$$C \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \left\{ \begin{array}{l} -\bar{V}_{ba} - \bar{V}_{ef} \\ -\bar{M}_{cd} - \bar{M}_{ba} - \frac{k_2}{k_s} (2\bar{M}_{ba} + \bar{M}_{ef}) \\ -\bar{M}_{dc} - \bar{M}_{ef} - \frac{k_2}{k_s} (\bar{M}_{ba} + 2\bar{M}_{ef}) \end{array} \right\},$$

kde navíc platí

$$\begin{aligned} C &= \frac{-L_1^2}{6k_1 \left(\frac{3k_1k_2}{k_s} + k_1 + 6k_2 \right)}, \\ K_{11} = K_{21} &= \frac{3}{L_1} \left(k_1 + \frac{3k_1k_2}{k_s} \right), \\ K_{12} = K_{23} &= \frac{-\frac{3k_1}{L_1^2} \left(5k_1 + 8k_2 + \frac{7k_1k_2}{k_s} \right)}{\frac{2k_1k_2}{k_s} + 2k_1 + k_2}, \\ K_{13} = K_{22} &= \frac{\frac{3k_1}{L_1^2} \left(-3k_1 + 4k_2 - \frac{k_1k_2}{k_s} \right)}{\frac{2k_1k_2}{k_s} + 2k_1 + k_2}, \\ K_{31} &= - \left(\frac{6k_1k_2}{k_s} + 2k_1 + 3k_2 \right), \\ K_{32} = K_{33} &= \frac{3k_1}{L_1}. \end{aligned}$$

Z maticové rovnosti lze dopočítat konečné hodnoty deformací, konkrétně vodorovný patrový posun a dvě rohová pootočení.

Seznam obrázků

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Speciální druhy hal | 10 |
| 2.2 | Přenos zatížení | 10 |
| 2.3 | Příklady ocelových a dřevěných hal | 11 |
| 2.4 | Příklady betonových vazníků | 12 |
| 3.1 | Schéma uložení sloupu do kalichu | 14 |
| 3.2 | Šroubové uložení sloupu | 15 |
| 3.3 | Příklad šroubového spoje Halfen HCC, převzato z [15] | 15 |
| 3.4 | Detail uložení sníženého vazníku | 16 |
| 3.5 | Betonové plnostěnné vazníky | 16 |
| 3.6 | Nesprávně navržené ložisko | 17 |
| 3.7 | Ukázka realizace - snížený vazník, převzato z [16] | 17 |
| 3.8 | Ukázka realizace - snížený vazník uložený atypicky, převzato z [16] | 18 |
| 3.9 | Detail uložení “do vidlice” | 18 |
| 3.10 | Ukázka realizace - vložení do vidlice, převzato z [16] | 19 |
| 3.11 | Působící síly ve styku | 20 |
| 3.12 | Deformace jednolodní haly zatížené větrem | 20 |
| 4.1 | Dynamický model haly s jedním stupněm volnosti | 24 |
| 4.2 | Dynamika hmotného bodu | 24 |
| 4.3 | Hala A - Betonový a ocelový vazník, zobrazena polovina, převzato z [16] | 27 |
| 4.4 | Hala A - Betonový a ocelový vazník, zobrazena polovina, převzato z [16] | 28 |
| 5.1 | Statické schéma jednolodní haly | 29 |
| 5.2 | Komponenty modelu | 30 |
| 5.3 | Statický model jednolodní haly | 31 |
| 5.4 | Vyztužený průřez | 34 |
| 5.5 | Graf závislosti součinitele η na stupni vyztužení | 35 |
| 5.6 | Zatížení haly větrem | 38 |
| 5.7 | Závislost průhybu na výšce haly, $k_s = 0$, stupeň vyztužení 2.5% | 40 |
| 5.8 | Závislosti průhybu na výšce haly, $k_s = 0$, stupeň vyztužení 1.5% | 40 |
| 5.9 | Závislost vodorovné deformace na tuhosti styčnicku | 40 |
| 5.10 | Závislosti průhybu na výšce haly, $k_s \in (0; \infty)$, 300x300 mm | 43 |
| 5.11 | Závislosti průhybu na výšce haly, $k_s \in (0; \infty)$, 400x400 mm | 43 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.12 | Závislosti průhybu na výšce haly, $k_s \in (0; \infty)$, 500x500 mm | 43 |
| 6.1 | Část půdorysu vyšetřované haly, převzato z [16] | 45 |
| 6.2 | Příčná vazba vyšetřované haly, převzato z [16] | 46 |
| 6.3 | Součinitel C_e v závislosti na výšce, převzato z [3] | 47 |
| 6.4 | Výpočetní model ve SCIA Engineer | 50 |
| 6.5 | Zatěžovací stavy | 50 |
| 6.6 | Průběhy vnitřních sil pro MSÚ | 50 |
| 6.7 | Průběh normálových sil | 50 |
| 6.8 | Nomogram sloupu vyztuženého po obvodě, převzato z [11] | 51 |
| 6.9 | Rozmístění výztuže v průřezu sloupu a vazníku | 52 |
| 6.10 | Model styčnicku vazník-sloup | 54 |
| 6.11 | Deformace od svislého zatížení | 55 |
| 6.12 | Model v softwaru s generovanou sítí | 57 |
| 6.13 | Výsledná deformace, $M=1$ Nmm | 57 |
| 6.14 | Deformovaný drátový model | 57 |
| 6.15 | Výsledná deformace, $M=-1$ Nmm | 58 |
| 6.16 | Deformovaný drátový model | 58 |

Seznam tabulek

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Doporučené mezní hodnoty vodorovných posunů, převzato z [4] | 22 |
| 2 | Tabulka hmotností materiálových variant vazníků | 26 |
| 3 | Vstupní parametry výpočtu deformace sloupu | 36 |
| 4 | Koncové síly od vnějšího zatížení | 38 |
| 5 | Parametry analýzy vlivu tuhosti | 41 |
| 6 | Vliv tuhosti na vodorovný průhyb | 42 |
| 7 | Zatěžovací stavy haly | 49 |
| 8 | Vodorovné deformace ze SCIA Engineer | 52 |
| 9 | Vstupní parametry FEM modelu | 53 |
| 10 | Vodorovné deformace ze SCIA Engineer | 55 |

Reference

- [1] ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí, zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [2] ČSN EN 1992-1-1. *Navrhování betonových konstrukcí, Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [3] ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí, zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] ČSN 73 1201. *Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Technická normalizační komise, 2010.
- [5] BILL, Z., BRABEC, V., HRUŠKA, A., ŽDÁRA, V.: *Konstrukce pozemních staveb 50: Konstrukčně statická analýza vícepodlažních a halových objektů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002.
- [6] ČÍŽEK, Pavel. Radosti a strasti prefabrikovaných konstrukcí. *Beton TKS*. 2013, roč. 13, č. 5, s. 3-11.
- [7] HANZLOVÁ, H. a ŠMEJKAL, J.: *Betonové a zděné konstrukce 1: Základy navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2013.
- [8] KADLČÁK, J. a KYTÝR, J.: *Statika stavebních konstrukcí 2*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2009.
- [9] KOLOUŠEK, V.: *Dynamika stavebních konstrukcí I: Obecná část*. Praha: SNTL, 1967.
- [10] KUKLÍK, P., BLAŽEK, V. a KUFNER, V.: *Stavební mechanika 40*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002.
- [11] PROCHÁZKA, J., ŠMEJKAL, J., VÍTEK, J. a VAŠKOVÁ, J.: *Navrhování betonových konstrukcí: Příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. Praha: ČKAIT, 2010.
- [12] REKTORYS, K.: *Přehled užití matematiky I*. Praha: Prometheus, 2009.
- [13] VRANÝ, T. a WALD, F.: *Ocelové konstrukce: tabulky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2010.
- [14] WITZANY, J., PAŠEK, J., ČEJKA, T. a ZIGLER, R.: *Konstrukce pozemních staveb 70: Prefabrikované konstrukční systémy a části staveb*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003.
- [15] <http://www.halfen.com/cz/>
- [16] Archiv statické kanceláře STATIK Čížek s.r.o.