



WIND RESPONSE MONITORING ON TALL BUILDINGS

J. Král*

Summary: *A long-term measurement of the wind response of the first building started in 2007 and of the second building in 2009. The response monitoring is automatic and continues. Records are analysed in the time and frequency domains. Natural frequencies of the both buildings were verified. The calculations and additional measurements were used for the mode shape identification. The acceleration response resonant components are followed up as a function of the wind speed in the preferred wind directions. The wind speed and directions are obtained from the nearest professional stations of the Czech Hydrometeorological Institute. The aim is the increasing reliability of calculations of the dynamic part of the building response. Recent results are presented in the paper.*

1. Introduction

Dlouhodobá měření účinků větru na skutečné budovy jsou nejdůležitějším zdrojem poznání. Jsou nenahraditelná zejména pro vyšetřování odezvy konstrukcí ve vztahu k měření rychlosti větru v síti meteorologických stanic ČHMÚ. Zatížení větrem je modelováno na základě dlouhodobých měření a ověřování spolehlivosti těchto modelů je stejně důležité jako ověřování spolehlivosti modelových měření ve větrném tunelu. Měření na skutečných konstrukcích představují základní nástroj pro ověřování spolehlivosti zatížení a metod výpočtu odezvy a modelových měření ve větrném tunelu (Kijewski-Correa, T. et al., 2006).

Príspevek popisuje monitorování účinků větru na dvě vysoké budovy. Cílem je ověření některých dynamických charakteristik budov, vyšetření odezvy budov na zatížení větrem a přiřazení charakteristik zatížení větrem extrémním hodnotám odezvy.

2. Budovy

První budova je administrativní budova s montovanou nosnou konstrukcí na severozápadním okraji Prahy. Je 63,8 m vysoká a má obdélníkový průřez s rozměry cca 31 m x 14 m. Nosný systém tvoří dvě vnější stěny na kratších stranách průřezu budovy a jedna podélná stěna v ose budovy, orientovaná ve směru delší strany průřezu. Nejnižší vlastní frekvence a odpovídající tvary kmitání byly zjištěny dynamickým výpočtem a ověřeny frekvenční analýzou záznamů odezvy budovy. Pro ohybové kmitání jsou 0,75 Hz a 1,315 Hz, nejnižší frekvence torzního kmitání je 1,0 Hz.

Druhá administrativní budova se nachází v centru Prahy na Pankráci. Po rozsáhlé

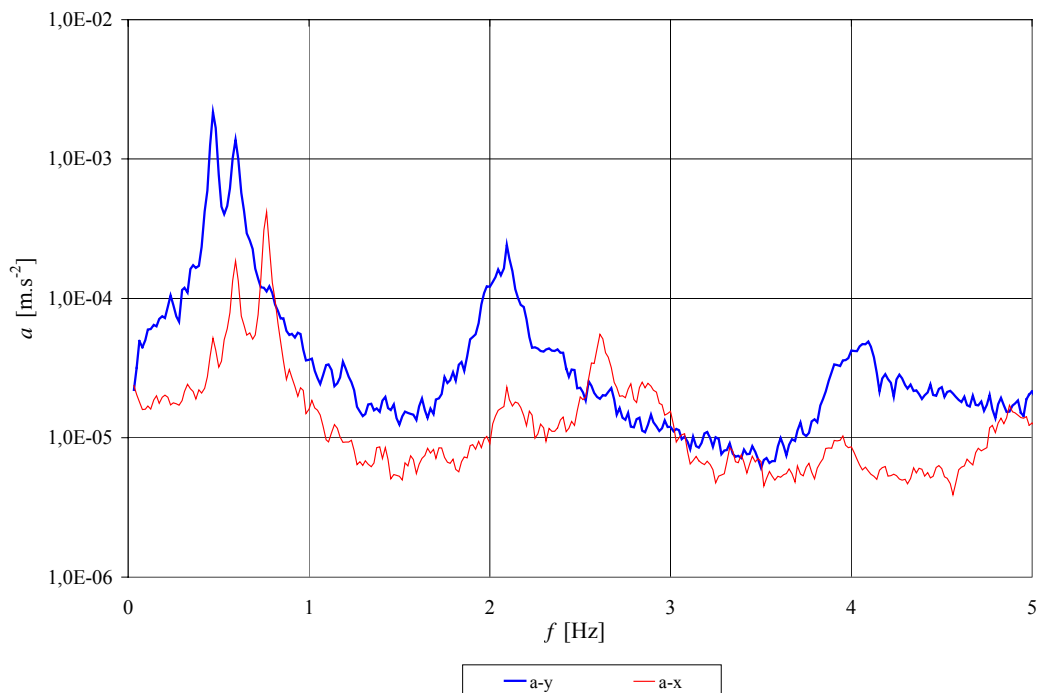
* Ing. Jaromír Král, CSc., ČVUT Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha, e-mail: jkral@klok.cvut.cz

rekonstrukci je 109m vysoká a má pravoúhlý průřez s rozměry cca 72 m x 22 m. Nosný systém tvoří dvě zdi ze železobetonu u kratších stran průřezu a centrální jádro ve tvaru obdélníku orientovaného ve směru delšího rozměr průřezu budovy. Železobetonové stropy jsou podpírány ocelovými sloupy. Nejnižší vlastní frekvence a odpovídající tvary kmitání byly zjištěny dynamickým výpočtem a ověřeny frekvenční analýzou záznamů odezvy budovy. Pro ohybové kmitání jsou 0,48 Hz a 0,78 Hz, nejnižší frekvence torzního kmitání je 0,61 Hz.

3. Dlouhodobé sledování odezvy budov

V březnu 2007 bylo v 15. podlaží budovy „Shiran Tower“ instalováno měřicí zařízení, které v současné době tvoří anemometr na střeše budovy (rychlost a směr větru), čtyři snímače zrychlení od firmy Brüel & Kjær a dva extenzometry HBM. Výstupy snímačů jsou připojeny k převodníku A/D v řídicím počítači. Řídicí program nepřetržitě monitoruje rychlost větru a podle nastavených kritérií rozhoduje o způsobu uložení naměřených dat do paměti počítače. V současnosti ukládáme celé záznamy pouze v případě, že rychlost větru na střeše budovy je větší než 10 m/s. Záznamy měřených veličin jsou následně analyzovány vhodnými programy v časové i frekvenční oblasti. Postupně jsou získávány informace o velikosti dynamické složky odezvy budovy v závislosti na rychlosti a směru větru. V případě potřeby jsou doplněny další informace ze 6 km vzdálené návětrné meteorologické stanice Praha Ruzyně.

Zatížení větrem je širokopásmovým náhodným zatížením. Výrazné vrcholy ve spektru odezvy budovy zpravidla odpovídají vlastním frekvencím. Na obr. 1 je spektrum zrychlení ve směrech os obdélníkového průřezu budovy x a y . Další vrcholy odpovídají vyšším vlastním frekvencím budovy.



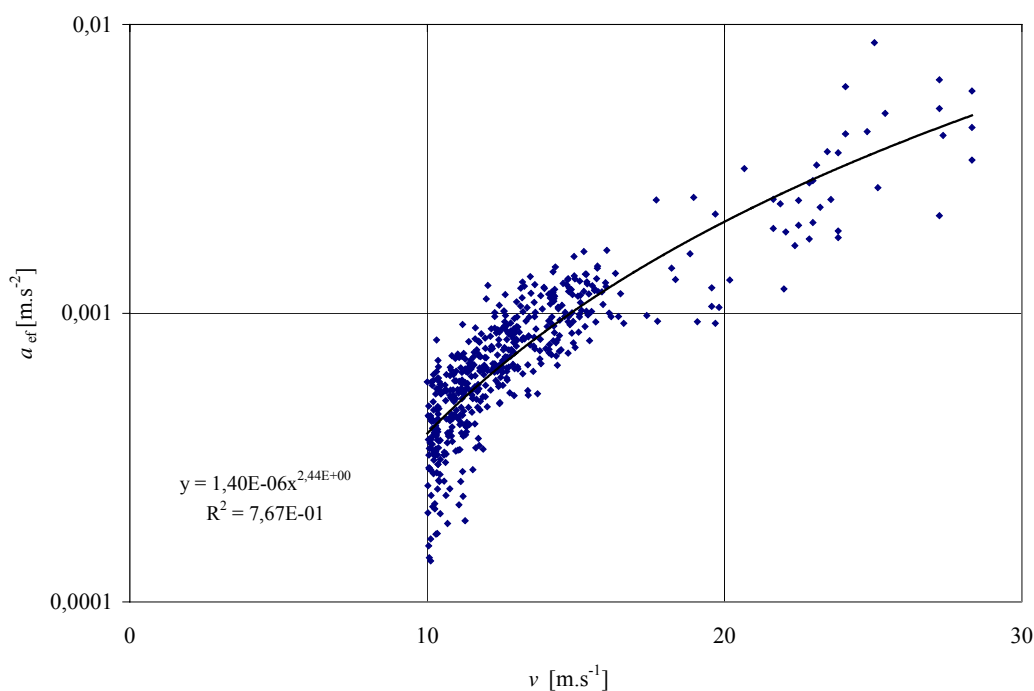
Obr.1 Spektrum odezvy budovy Shiran Tower“ ve směrech x a y (příklad)

Při dlouhodobém sledování odezvy lze také vyšetřovat jejich změny. Při silném větru bylo pozorováno snižování nejnižších vlastních frekvencí ohybového i torzního kmitání budovy v proudě vzduchu s velikostí zatížení (resp. amplitudy odezvy) až o -8 % (např. z 0,75 Hz na 0,69 Hz při růstu amplitudy odezvy) v průběhu 12 hodin. Změny vlastních frekvencí byly vratné.

V prosinci 2009 jsme zahájili monitorování odezvy druhé budovy „City Tower“. Snímače zrychlení jsou umístěny na nosných stěnách ve 26. podlaží. Zatím jsme nezískali souhlas vlastníka s umístěním anemometru na střechu budovy. Měření odezvy je proto nepřetržité. Informace o rychlosti větru ve výšce 19 m získáváme z meteorologické stanice Praha Karlov (CHMI) vzdálené cca 2km. Ve sledovaném období se podařilo změřit dynamickou složku odezvy budovy pouze při silnějším větru (cca 40% základní rychlosti podle mapy). Je velmi malá. Spektra zrychlení ve směrech os obdélníkového průřezu budovy x a y jsou podobná spektrům na obr. 1. Vlastní frekvence jsou uvedeny v kap 1.

3. Analýza záznamů

Měřicí linky musí mít velký dynamický rozsah. Uložené záznamy zrychlení se analyzují v časové a frekvenční oblasti. V časové oblasti se provádí výběr vhodných záznamů na základě statistických charakteristik měřených veličin a analogová filtrace vybraných úseků záznamů. Většina záznamů se dále analyzuje ve frekvenční oblasti. Tímto způsobem se oddělí kmitání budovy jako celku od kmitání vyvolaného provozem technologických zařízení v budově a jsou nalezeny vlastní frekvence budov. Na souboru spekter odezvy sledujeme vývoj širokopásmové i rezonanční složky odezvy rozložené na jednotlivé vlastní frekvence a jejich souvislost se změnami zatížení.



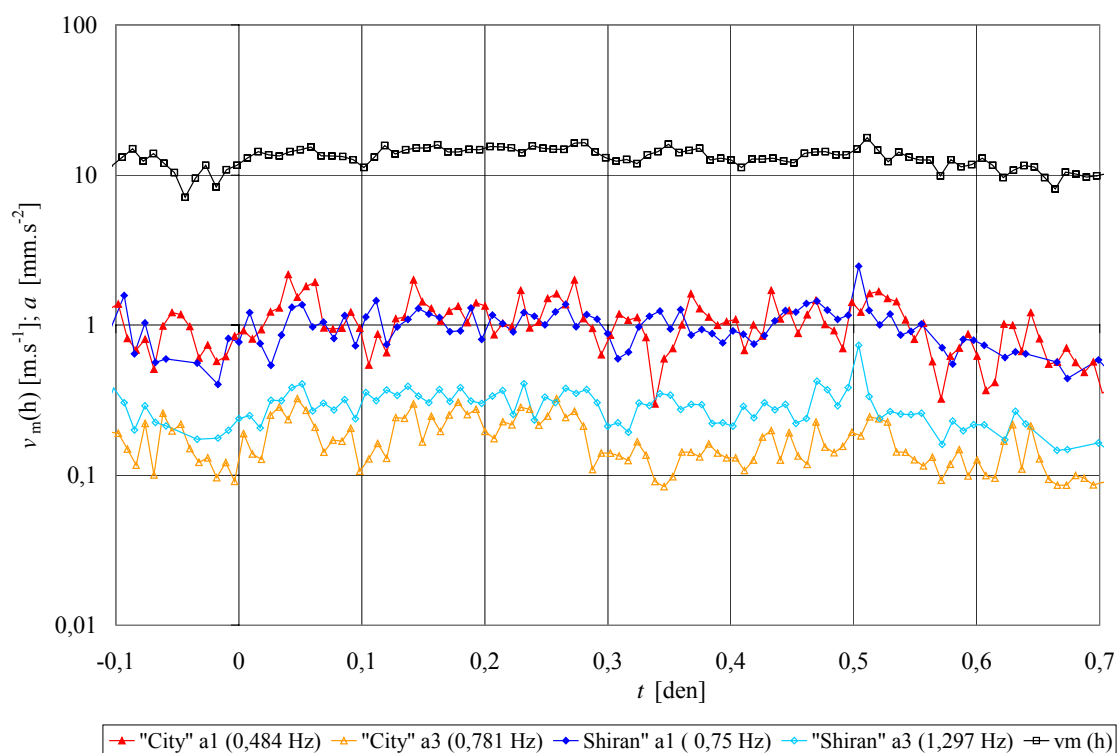
Obr.2 Odhad závislosti efektivní hodnoty zrychlení při frekvenci 0,75 Hz na střední rychlosti větru na vrcholu budovy Shiran Tower.

Na obr. 2 je pro budovu Shiran Tower uvedena závislost efektivní hodnoty zrychlení při nejnižší frekvenci ohybového kmitání $f_1 = 0,75$ Hz (směr kolmý na delší stranu obdélníkového průřezu) na střední rychlosti větru na úrovni střechy budovy.

Část vyšších středních rychlostí větru byla získána přepočtem údajů z meteorologické stanice Praha-Ruzyně pro II. kategorii terénu podle Eurokódu [ČSN, 2007]. Nižší rychlosti větru byly již změřeny anemometrem. Směr větru nebyl rozlišován, podle záznamů dominují větry ze směrů JZ až SZ. Součinitel maximální hodnoty této složky zrychlení se při použitých záznamech pohyboval v rozmezí $k_p \approx 8$ až 9.

4. Srovnání odezvy obou budov

V současnosti je již možné porovnávat velikost dynamické složky odezvy obou budov při stejné meteorologické situaci. Budovy jsou stejně orientované vzhledem ke směru větru. Budova City Tower se nachází ve vzdálenosti cca 8,8 km jihovýchodním směrem od budovy Shiran Tower. Při střední rychlosti cca 10 m/s je časový rozdíl maximálně 15 minut, což představuje zpoždění zhruba o jeden záznam. Sledovali jsme změny efektivní hodnoty zrychlení v závislosti na čase pro dvě nejnižší vlastní frekvence ohybového kmitání každé budovy. Příklad ze dne 1.3.2010 je uveden na obr. 3. Je vynesena také střední rychlost $v_m(h)$ na vrcholu budovy Shiran Tower.



Obr. 3 Změny střední rychlosti větru a (rezonančních) frekvenčních složek efektivních hodnot zrychlení v závislosti na čase dne 1.3.2010.

Naměřené efektivní hodnoty této složky spektra zrychlení jsou u budovy City Tower až 2x vyšší. Poměr nejnižších vlastních frekvencí obou budov je 0,644. Odpovídající výchylky při nejnižších vlastních frekvencích budovy City Tower jsou tak při stejné meteorologické situaci až 4,8x vyšší než u budovy Shiran Tower. V obou případech jsou velmi malé.

5. Závěr

V příspěvku jsou uvedeny dílčí výsledky řešení. Byla nalezena vhodná metodika měření a vyhodnocování, která umožňuje sledovat kmitání budov v závislosti na rychlosti větru s dostatečnou citlivostí. Použití metodiky bylo ověřeno na dvou budovách. Měření pokračují.

6. Poděkování

V příspěvku jsou uvedeny dílčí výsledky řešení projektu GA ČR č. 103/09/1881. Autoři by touto cestou chtěli poděkovat za poskytnutí prostředků na řešení projektů. Poděkování patří také vlastníkům budov jejich managementu za spolupráci.

7. Literatura

- Kijewski-Correa, T., Kilpatrick, J., Kareem A., Kwon, D., Bashor R., Kochly, M., Young, B. S., Abdelrazaq, A., Galsworthy, J., Isyumov, N., Morrish, D., Sinn, R. C., F., Baker, W. F.: Validating Wind-Induced Response of Tall Buildings (2006): Synopsis of the Chicago Full-Scale Monitoring Program, *Journal of Structural Engineering ASCE*, , p.1509-1523
- Král, J. (2007) Dynamic response of a high building in strong wind, IM 2007, Svratka, 12 p.
- ČSN EN 1991-1-4 (2007) Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem, ČNI, Praha.