



ANALYSIS OF SPATIAL RESPONSE OF TV TOWER PRAGUE

ANALÝZA PROSTOROVÉ ODEZVY TV PRAHA

M. Pirner, T. Horyna, M. Bařa

The paper deals with the experimental investigations of dynamic response of TV tower Praha to the wind loading. The response of TV tower, with absorber was measured for determination of efficiency of pendulum absorber. By long-term monitoring of the TV tower the spectrum of deflections to the wind loading was obtained. The rain flow classification method was used. The results of experiments were compared with finite element results of natural vibration.

Ověřování dynamické odezvy skutečné konstrukce

Štíhlé konstrukce typu konzoly při zatížení větrem mají dynamickou odezvu prostorovou, kterou lze rozložit ve složku kolmou ke směru větru a složku ve směru větru (při zanedbání podstatně menší složky svislé).

Podle zkušeností získaných měření konstrukcí shodného typu je dominantou obou složek prvý vlastní tvar ohybového kmitání. V daném případě konstrukce nemá svislou osu symetrie, konstrukce má jen jednu vertikální rovinu symetrie, a proto bylo nutné dvojicemi snímačů výchylek s osami vzájemně kolmými sledovat odezvu po výšce konstrukce. Bylo zjiřeno, že i při neexistenci svislé osy symetrie nejdelší dřík věže kmital prostorově s dominantní frekvencí 0.500 Hz, odpovídající 1. vlastnímu ohybovému kmitání.

Dvojice snímačů pracujících v měřítku výchylek typ Olmer II s osami vzájemně kolmými snímající pohyb v úrovni 198 m umožnila vyjádření prostorového pohybu pomocí jeho průmětu do roviny horizontální ve tvaru orbity, pro jejíž největší rameno r platí:

$$r = \sqrt{x_0^2 \cdot \sin^2(2\pi f_{(1)}t) + y_0^2 \cdot \sin^2(2\pi f_{(1)}t + \varphi)} \quad (1)$$

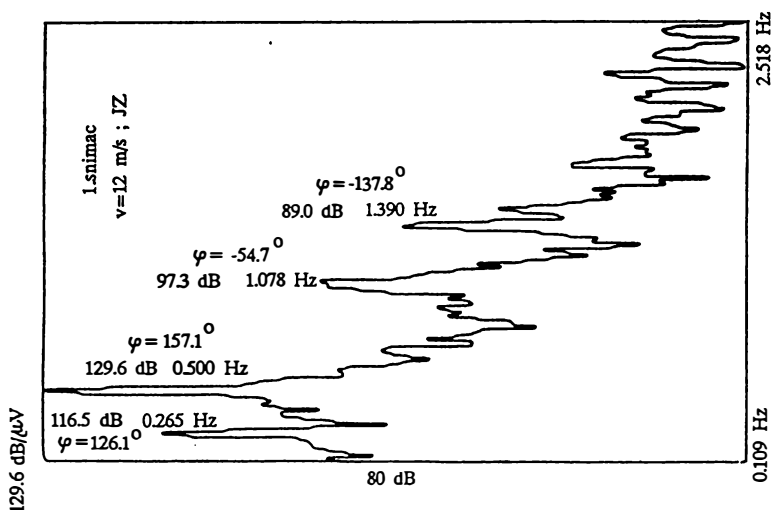
kde x_0, y_0 jsou vzdálenosti tečen orbity (rovnoběžných s osou X, popř. s Y) od jejího středu, $f_{(1)}$ je dominantní frekvencí odezvy a φ je fázový posun mezi pohyby ve směru X a Y, zjištěný FFT analyzátozem Brüel & Kjær, typ 2034.

Úhel α , který svírá osa orbity s osou X je dán vztahem:

$$\tan \alpha = \frac{y_0 \cdot \sin(2\pi f_{(1)}t + \varphi)}{x_0 \cdot \sin(2\pi f_{(1)}t)} \quad (2)$$

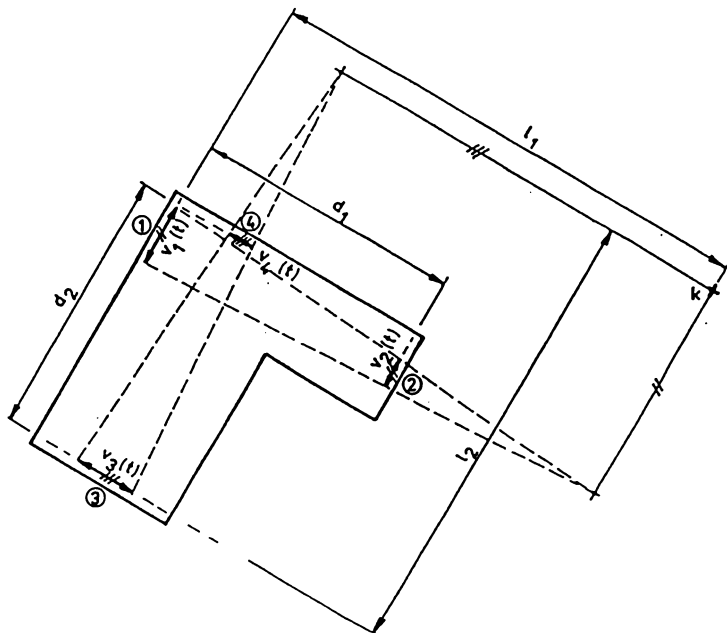
$$\text{kde úhel } 2\pi f_{(1)}t = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arctan \frac{x_0^2 - y_0^2 \cdot \cos 2\varphi}{y_0^2 \cdot \sin 2\varphi} \right).$$

Na obr. 1 je typické spektrum odezvy s dominantní frekvencí 0.500 Hz; dále s frekvencemi 0.265 Hz; 1.078 Hz a 1.390 Hz; v obrázku jsou vyznačeny fázové posuny složek X a Y příslušných pohybů.



Obr.1: Spektrum odezvy v měřítku výchylky při rychlosti větru $12 \frac{m}{s}$ ve směru jihozápadním.

K zjištění kroutivého pohybu konstrukce byly použity dvě dvojice snímačů Hottinger-Baldwin S-500V, umístěných ve výši 187 m. Každou dvojici tvoří dva snímače s rovnoběžnými osami, jejich vzdálenosti jsou d_1, d_2 . Z jednoduchých vztahů, plynoucích z obr. 2 a ze záznamů dynamické odezvy bylo možné stanovit úhel natočení věže $\alpha(t)$ a polohu středu otáčení (krutu) k [1].



Obr.2: Vztahy k stanovení středu otáčení k a úhlu natočení $\alpha(t)$.

Všechna měření na skutečné konstrukci proběhla v době, kdy ve vrcholu věže byl nefunkční kyvadlový pohlcovač kmitů, nefunkční proto, že byl naladěný na 0.7 Hz, tedy na frekvenci, kterou odezva konstrukce neobsahuje; viz obr. 1 a [2].

Dále byla provedena zkouška dlouhodobého sledování zatížení věže a jejího namáhání z hlediska únavy. Pohyb věže byl po dobu jednoho týdne snímán snímači Olmer II umístěnými ve výši 198 m, s osami vzájemně na sebe kolmými. K monitorování četnosti a velikosti výchylek bylo užito přístroje firmy Ryston Electronics. Přístroj užívá metody stékající vody – rainflow. Pracuje a je ovládán programem pomocí počítače PC. Zároveň s monitorováním dat byla sledována rychlost a směr větru.

Výpočet vlastních kmitů věže

Vzhledem ke složitosti konstrukce byla pro výpočet vlastního kmitání zvolena metoda konečných prvků, konkrétně program SAP (Structural Analyses Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems) [3]. Program umožňuje provádět dynamickou analýzu rozkladem podle vlastních tvarů kmitání. Při výpočtu jsou uvažovány pouze lineární geometrické a materiálové vztahy. Údaje, potřebné pro vytvoření výpočtového modelu TV Praha byly převzaty ze statického výpočtu [4] Prostorový model konstrukce věže byl vytvořen pomocí nosňkových prvků z knihovny programu SAP. V úrovni základové spáry byla konstrukce modelována jako pevně vetknutá. V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty vypočítaných vlastních frekvencí a dominantní frekvence odezvy sejmuté na skutečné konstrukci.

Tabulka 1: Teoretické a experimentem zjištěné vlastní frekvence kmitání

Teor. výpočet frekvence [Hz]	Experiment frekvence [Hz]
0.267	0.265
0.543	0.500
1.096	1.078
1.225	1.375
1.579	1.390
3.137	2.843
3.474	—
3.954	—

Literatura:

- [1] Pirner M.: Dynamická odezva konstrukcí zatížených větrem, text k přednáškám předmětu Dynamická odezva konstrukcí zatížených větrem, ÚTAM, Praha 1992.
- [2] Pirner M.: Dynamická ověření TV Praha – zkouška kyvadlového tlumiče, ÚTAM, Praha 1992.
- [3] Bathe H.J., Wilson E.L., Peterson F.E.: A Structural Analyses Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems. Berkeley, College of Engineering, 1973.
- [4] Televizní věž Praha – mesto, statický výpočet, Ing. Bezák, Vítkovice, 1-996-4028-5, Bratislava, 1987.

Prof. Ing. Miroš Pirner, DrSc., Ing. Tomáš Horyna, Ing. Milan Baťa.
ÚTAM - AVČR, Vyšehradská 49, Praha 2, 128 49
Tel. +2/297291, Fax. +2/295903