

E xperimentální A nalýza N apětí

2004

MODAL ANALYSIS OF BUILDING ROOF TILES MODÁLNÍ ANALÝZA STAVEBNÍHO STŘEPU STŘEŠNÍ TAŠKY

Luboš Pazdera¹, Jaroslav Smutný²

On sleeper of a new millennium an actual need of monitoring material properties, elements, constructions and structures in branch deal with building problems has being showing. It regards for example to behaviour of these structures in varied loading conditions. Their behaviour at dynamic stochastic loading presents one of a basic feature not just among structural members. The article will deal with determination of operational or modal properties of building roof tiles. It will be followed by basic frequencies and their appertain to operational shapes. In point of non-destructive testing both a good tile and a tile with hole will be compared. Note that modal analysis can be advisable tools to follow conditions or inner tensions inside a structural member. Looking forward to future a comparison of modal properties of till behind standard temperature and at temperature change, when in the effect of its small expansivity we presume changes tension inside structure, would be followed. We consider that modal analysis can be an efficient tool to follow change properties of those structure, mainly in the research and development area. This method can also contribute to possibility of a correct mathematical model creation e.g. at the application of Finite Element Method. Here is evident that sequential follow of modal behaviours of tiles at simulation "defects" or changes is more realistic than implementation modal analysis in a real system.

Keywords *modal analysis, roof tile, non-destructive testing.*

Klíčová slova *modální analýza, střešní taška, nedestruktivní testování.*

Úvod

Na prahu nového tisíciletí se stále aktuálněji jeví potřeba sledování vlastností materiálů, prvků, konstrukcí a struktur i v oborech zabývajících se stavební problematikou. Jedná se např. o chování těchto struktur v rozličných stavech zatěžování. Jednou ze základních vlastností nejen stavebních prvků je jejich chování při dynamickém náhodném zatěžování. Příspěvek se bude zabývat určením provozních příp. modálních vlastností stavebního střepu – střešní tašky. Budou sledovány základní frekvence a jim příslušející provozní tvary.

¹ Doc. Ing. Luboš Pazdera, CSc.: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav fyziky; Žižkova 17, 602 00 Brno, , tel.: +420541147657, e-mail: Pazdera.L@fce.vutbr.cz

² Doc. Dr. Ing. Jaroslav Smutný : Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb; Veveří 95, 602 00 Brno, , tel.: +420541147325, e-mail: Smutny.J@fce.vutbr.cz

Z hlediska nedestruktivního testování bude porovnána dobrá taška a taška s otvorem. Poznamenejme, že modální analýza může být vhodným nástrojem ke sledování stavu příp. vnitřního napětí uvnitř tohoto stavebního prvku. Výhledem do budoucna by mělo být porovnání modálních vlastností tašky za normální teploty a při změně teploty, kdy vlivem její malé roztažnosti předpokládáme změnu napětí uvnitř struktury. Domníváme se, že modální analýza může být výkonným nástrojem ke sledování změny vlastností této struktury hlavně v oblasti výzkumu a vývoje. Tato metoda může rovněž přispět k možnosti vytvoření správného matematického modelu např. při použití metody konečných prvků. Zde je zřejmé, že následné sledování modálního chování tašky při modelování "vad" příp. změn je reálnější než provádění modální analýzy v reálu.

Aby mohla být zachován stavební prvek, struktura či konstrukce v dobrém technickém stavu určitého je důležité zjištění vzniku případné poruchy v nejranějším stádiu jejího vývoje. Obvykle používané metody nedestruktivního testování potřebují k detekci poruchy, aby byla sledovaná část konstrukce přístupná a odhadnuta poloha defektu. Proto je snahou vyvíjet metody, které dokáží sledovat stavební prvek, strukturu či konstrukci jako celek. Metody využívající změny charakteristik dynamického chování mohou být založeny na sledování modálních parametrů.

Metody modální analýzy

Správný výběr způsobu a aplikace modální analýzy je klíčový pro získání správných a kvalitních výsledků. Tento výběr společně s e způsobem vyhodnocování je závislý na dané situaci.

Nejčastěji se používá *klasická modální analýza*, která je založena na sledování funkcí frekvenčních odezev. tyto odezvy jsou vypočteny z naměřených vstupních sil a výstupních odezev. Pomocí aproximačních algoritmů jsou z funkcí frekvenčních odezev určeny modální parametry. Buzení se obvykle používá kladívkem (rázové) nebo jedním či více budiči (sinusové nebo náhodné). Při buzení kladívkem je výhodou mobilnost a rychlost provedení analýzy, ale nevýhodou je nemožnost určení budícího režimu. Tuto nevýhodu nemají budiče, které ovšem mají komplikovanější připevnění ke sledovanému vzorku vč. uchycení vzorku i budiče(ů).

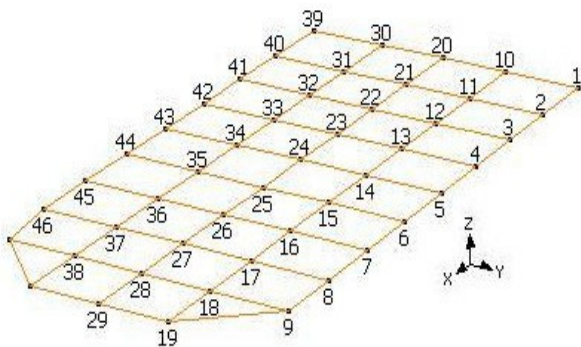
Jednoduše se dá použít metoda s *jednou referencí* (jeden vstup a jeden i více výstupů), kdy snímač odezvy je připojen k jednomu či více bodech a buzení je prováděno v jednom bodu. Poznamenejme, že referenční bod by neměl ležet v uzlu. proto musí být vhodně zvolen, aby v ideálním případě vybudil všechny sledované frekvence. Při tomto způsobu měření je měřena pouze jedna řada nebo jeden sloupec matice frekvenčních odezev.

Pokud u struktury nelze najít jeden bod, ze kterého lze vybudit všechny frekvenční složky použije se modální analýza s více referencemi resp. *multi-referenční*. Také se, pro svoje výhody, používá modální analýza současně s *více vstupy* a *více výstupy*. K výhodám patří dostatečné dodání energie do struktury pomocí dvou a více budících prvků. Dále, vlivem distribuovaného způsobu buzení, se předchází nelineárnímu chování. Občas lépe simuluje buzení reálné struktury. Také omezuje nutný výkon budičů oproti jednomu a tím i lepší šíření budící energie strukturou.

Velice nadějnou metodou se jeví *operační modální analýza*, která využívá okolního buzení jako vstupního signálu. Jedná se tedy o výstupní modální analýzu. Její výhodou je např. měření těžko umělými silami vybuditelných struktur a blíží se reálnému zatížení struktury. Výsledkem jsou nekalibrované vlastní kmity.

Modální analýzy střešní tašky

Pomocí systému PULSE a Me'Scope bylo provedeno měření a výpočet modální analýzy klasické střešní tašky. Budící impuls byl generován úderem kladívka v předem zvolených 46 bodech dle obr. 1. Snímač zrychlení byl nalepen voskem na spodní stranu tašky v bodě č. 20. Sledovaná taška měla délku 38 cm, šířku 18 cm a tloušťku 1,5 cm. Bylo provedeno měření na nepoškozené tašce a na stejné tašce, do které byla vyvrtána díra mezi body č. 15 a č. 16 o průměru 1 cm.



Obr. 1 Model tašky pro vyhodnocení modálních tvarů

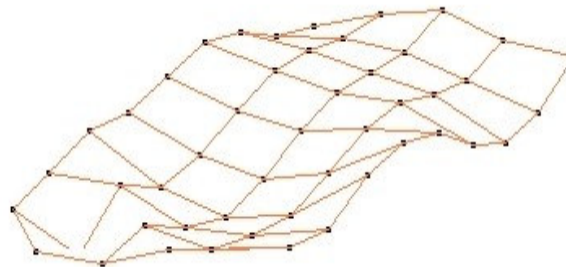
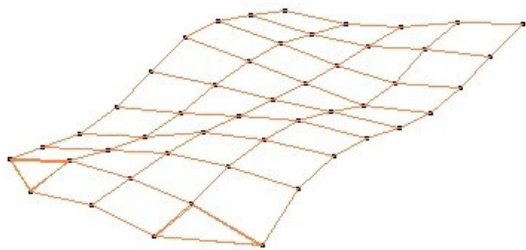
mód	taška (dobrá)	taška s dírou
1	256 Hz	256 Hz
2	365 Hz	689 Hz
3	794 Hz	1090 Hz
4	1090 Hz	1330 Hz
5	1340 Hz	1390 Hz
6	1390 Hz	1860 Hz

Tab. 1 Frekvence příslušející jednotlivým módům testované tašky

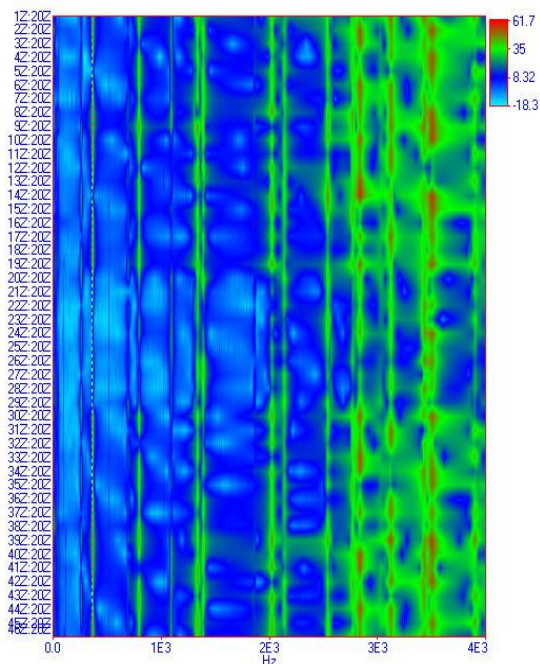
Frekvence prvních šesti módů u testované tašky bez a s dírou jsou uvedeny v tab. 1.

Vybraný modální tvar č. 5 dobré tašky je na obr. 2 a tvar odpovídající tašce s dírou je na obr. 3.

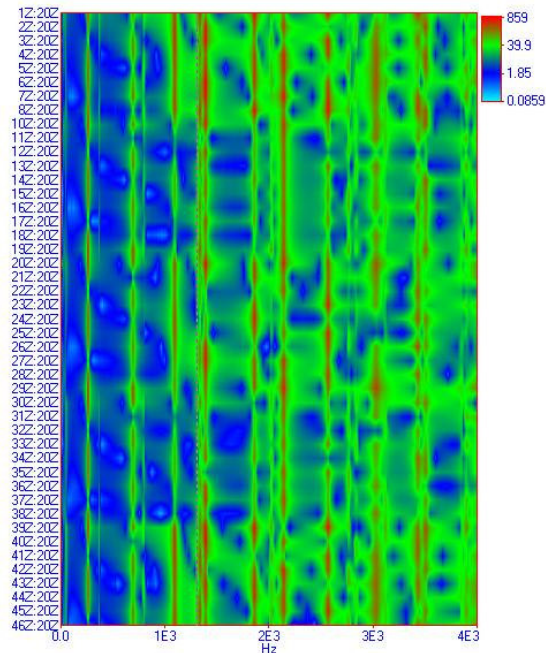
Frekvenční přenosové funkce ve všech bodech zobrazuje u dobré tašky obr. 4 a u tašky s dírou obr. 5. Zobrazený frekvenční rozsah je do 4 kHz. Z těchto uvedených frekvenčních funkcí byly vypočteny modální tvary dle tab. 1.



Obr. 2 Taška dobrá - 5. modální tvar – 1,34 kHz Obr. 3 Taška s dírou - 5. modální tvar – 1,39 kHz



Obr. 4 Přenosové funkce u dobré tašky



Obr. 5 Přenosové funkce u tašky s dírou

Závěr

Použití metody modální analýzy při nedestruktivním testování může přinést velmi zajímavé výsledky z hlediska určení kvality sledované stavební struktury.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl (na Ústavu fyziky a Ústavu železničních konstrukcí a staveb, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně) za podpory a v rámci řešení projektu "Využití vybraných moderních postupů NDT při kontinuálním hodnocení poškození cyklicky zatěžovaných konstrukčních materiálů" č. **GACR 106/02/1319**, projektu "Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí" č. **CEZ J22/98:261100007**. "Využití akustické emise pro posouzení mrazuvzdornosti betonových a pálených střešních krytin" **GA ČR 103/02/1092**.

Literatura

- [1] Plachý T., Polák M.: *Influence of Damage of a Reinforced Concrete Beam on Change of Its Behaviours* – Proceedings of the 5th International Conference on Structural Dynamics, EURODDYN2002, Munich, Germany, pp. 1451-1456, 2002
- [2] Maia, N. – Silva, J. : *Theoretical and Experimental Modal Analysis. Research Studies Press Ltd. Taunton, England. 1997*