

Experimentálna modálna analýza dosky z keramického materiálu

Experimental Modal Analysis of the Plate from Ceramic Material

doc. Ing. Ján Vavro, PhD.; prof. Ing. Ján Vavro, PhD.; Ing. Dana Suchá, PhD.; Ing. Petra Kováčikova, PhD.;
Ing. Radka Bezdedová, PhD.; Ing. Jakub Híreš

Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Fakulta priemyselných technológií v Púchove, I. Krasku
491/30, 020 01 Púchov, Slovenská republika

Článok sa zaoberá experimentálnou modálnou analýzou vlastných frekvencií keramického materiálu a hodnotili sa vlastné tvary frekvencií pre nepoškodenú a poškodenú vzorku. V súčasnosti je experimentálna modálna analýza (EMA) neoddeliteľnou súčasťou odboru dynamiky, pretože pomocou danej analýzy možno overovať, prípadne dopĺňať výsledky, ktoré boli získané na základe analytickej metódy. Experimentálne meranie bolo vykonané na aparátúre PULSE 12 poskytnutou firmou Brüel & Kjaer a ako skúšobné vzorky boli použité dosky zhotovené z keramického materiálu. Experimentálne meranie vlastných frekvencií keramickej dosky sa uskutočnilo na nepoškodenej a poškodenej vzorke s rozmermi 150×150 mm. Poškodená vzorka mala v strede vyrezaný kruhový otvor s priemerom 8 mm. V každom meraní mieste vzorky sa zaznamenávali frekvencie zo stanoveného počtu úderov (v našom prípade to bolo 10 úderov), ktoré systém Pulses spriemeroval, vyhodnotil a graficky zobrazil v grafoch frekvenčnej odozvy a koherencie. Vzorka z keramického materiálu bola uchytená na jednej strane napevno.

Kľúčové slová: experimentálna modálna analýza; vlastná frekvencia; Pulse 12; keramický materiál; nepoškodená a poškodená vzorka

This paper is closely connected with the experimental modal analysis of eigenfrequencies of ceramic material. In relation to the tested ceramic material, the modal analysis was performed with the help of special measuring device Pulse 12. The experimental modal analysis belongs to the dynamics that is the special scientific field where the so-called modal parameters of the object (e.g. eigenfrequencies, own shapes of the vibrations, absorption or damping parameters) are investigated. These mentioned parameters can be obtained in an analytical way by the help of the finite element analysis (FEM) or they can be determined on the basis of the experimental analysis. The experimental analysis is connected with verification or completing of those results, which were acquired on the basis of the analytical method. The given analysis involves the usage of the process including the principle where the complex vibration process is divided into the simple modal constituent vibrations or parts. Each one of these constituent parts can be characterised by its natural frequency or eigenfrequency, as well as it has its own shape of the vibration. The mentioned device was supplied by the company Brüel & Kjaer and the experimental measurements were carried out using damaged and undamaged plate samples, which were prepared from the above-mentioned material. The experimental measurement of eigenfrequencies of ceramic plates was carried out using the undamaged and damaged sample with dimensions $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$, while ten measurements were performed for each one specified place of the sample. In relation to the damaged plate sample, there was the circular cut out with the diameter of 8 mm in the centre. According to the comparison of the frequency response for the undamaged and damaged sample, it can be concluded that the eigenfrequency of the damaged sample is less than the eigenfrequency of the undamaged sample. According to the introduced graphical dependences, it can be concluded that the frequencies of the damaged sample are smaller than the frequencies of the undamaged sample. The measurement range for the frequencies was up to 6.4 kHz. On the basis of the average frequencies (see tab. 4), it can be assessed that increasing the frequency leads to higher value of the shift in comparison with the frequencies for the damaged and undamaged sample (frequencies are different).

Key words: experimental modal analysis, eigenfrequency, Pulse 12, ceramic material, undamaged and damaged sample

Experimentálna modálna analýza (EMA) je odbor dynamiky, ktorý zisťuje tzv. modálne parametre objektu (napr. vlastné frekvencie, vlastné tvary kmitov, parametre tlmenia). Tieto parametre môžu byť získané analyticky, napríklad konečnou prvkovou analýzou (FEM – Finite element analysis) alebo experimentálnou analý-

zou, v ktorej overujeme, prípadne dopĺňame výsledky z analytickej metódy. Pri analýze sa využíva proces rozkladu zložitého kmitavého procesu na jednoduché modálne časti. Každá z týchto častí je charakterizovaná vlastnou frekvenciou a vlastným tvarom kmitu [1].

Rozvojom počítačov a Fourierovej transformácie v šesťdesiatych rokoch začalo moderné obdobie experimentálnej modálnej analýzy. V súčasnosti experimentálna modálna analýza predstavuje vedný odbor, ktorý spája úpravu signálu s počítačovou technikou, teóriu mechaniky, vibrácií, akustiky a spracovania signálov [2 – 5].

EMA môže slúžiť aj na overenie matematických modelov. Pomocou EMA môžeme v súčasnosti riešiť rôzne technické problémy, napr.:

- určovať vlastné frekvencie objektov, ak budiace frekvencie sa zhodujú s vlastnými; potom môže dôjsť k nadmernému rozkmitaniu konštrukcie (rezonancia) a tým klesá jej životnosť a spoľahlivosť,
- určovať vlastné tvary kmitu a kontrolovať ich s budiacimi účinkami sústavy s cieľom nájsť škodlivé miesta nadmerného kmitania časti konštrukcie,
- overovať pravdivosť matematických modelov, ktoré boli zostavené metódami konečných prvkov a pomocou experimentov a meraní meniť parametre modelov, a tým dosiahnuť zhodu medzi nimi (modálne ladenie).

Piezelektrický snímač zrýchlenia 4524-B

Snímač 4524-B (obr. 1) je ľahký trojosový piezelektrický snímač s tromi nezávislými výstupmi pre simultánne meranie v troch navzájom kolmých smeroch. Stručná charakteristika použitého snímača podľa výrobcu je uvedená v tab. 1 a jeho frekvenčná odozva je znázornená v grafe na obr. 2.



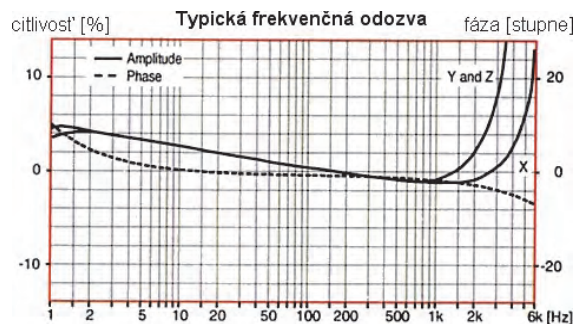
Obr. 1 Akcelerometer typu 4524-B

Fig. 1 Accelerometer of the 4524-B type

Tab. 1 Stručná charakteristika akcelerometra

Tab. 1 Brief description of the accelerometer

Technický parameter	Akcelerometer 4524B		
	x	y	z
Citlivosť ($\text{mV}\cdot\text{ms}^{-2}$)	9,963	9,882	9,924
Frekvenčný rozsah (Hz)	0,2–5,5 k	0,25–3,0 k	0,25–3,0 k
Inštalovaná rezonančná frekvencia (kHz)	18	9	9
Hmotnosť (g)	4,4		
Merací rozsah (ms^{-2})	± 500		

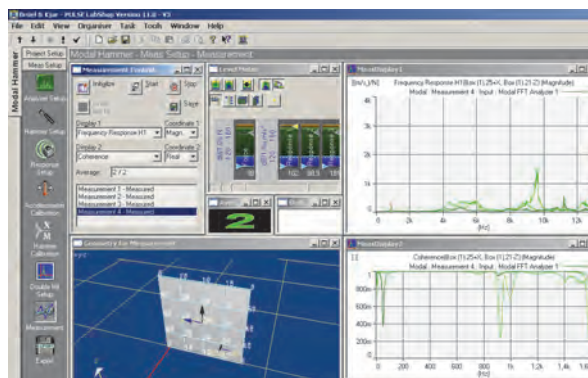


Obr. 2 Frekvenčná odozva pre akcelerometer typu 4524-B

Fig. 2 Frequency response of the 4524-B accelerometer

Pracovné prostredie ovládacieho softvéru Pulse 12

Ako už bolo uvedené, softvér PULSE umožňuje nastavenie, ovládanie a dokumentovanie merania pomocou organizérov, a tým vytvoriť takú šablónu, aká vyhovuje užívateľovi pre konkrétny projekt. Pri riešení publikovanej práce bola použitá šablóna MTC Hammer na meranie modálnej analýzy. V prvom kroku použitia tejto šablóny bolo nastavenie fixného akcelerometra a meniaceho sa bodu úderu kladivka. V konfiguračnom organizéry sa nastavilo modálne kladivko a trojosý snímač na jednotlivé kanály. V Geometry task sa nakreslila vzorka a umiestnenie meracieho akcelerometra a kladivka, čím sa vytvoril merací plán (obr. 3). Ďalším krokom bolo nastavenie sily úderu kladivka, ktorá sa používala počas celého merania a nastavenie jednotlivých okien. Po aktivovaní šablóny nasledovalo samotné meranie. Ako je vidieť z obr. 3, akcelerometer bol umiestnený v strede vzorky a údery kladivkom sa robili v jednotlivých bodoch vzoriek.



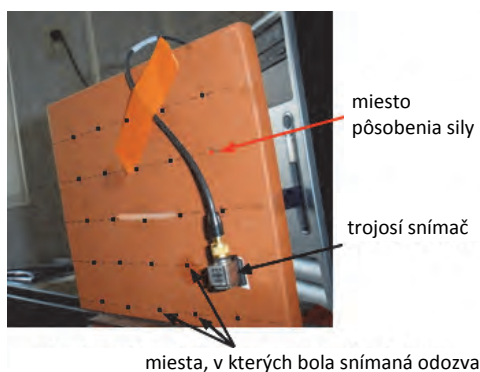
Obr. 3 Meranie systémom Pulse

Fig. 3 Measurement by the PULSE system

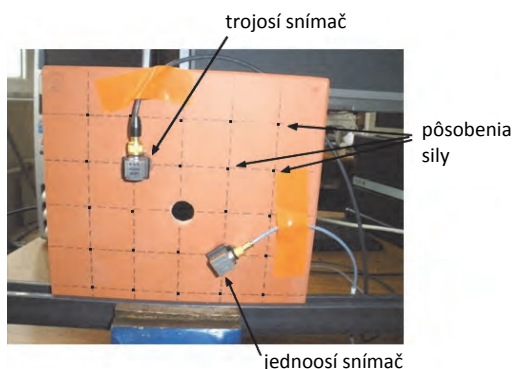
V každom mieste sa zaznamenávali frekvencie z desiatich úderov, ktoré systém Pulse spriemeroval, vyhodnotil a graficky zobrazil v grafoch frekvenčnej odozvy a koherencie. Pre nastavenie, ovládanie a zber nameraných údajov z meracieho zariadenia sa používa softvér, ktorý je dodávaný spolu s meracím zariadením. Ovládací softvér obsahuje všetko, čo je potrebné pre meranie. Nastavenie, ovládanie je vykonávané pomocou organizátorov a užívateľ si môže sám nastaviť softvér podľa vlastnej potreby. Toto nastavenie si môže uložiť a použiť ho pri ďalšom meraní ako šablónu.

Experimentálne meranie vlastných frekvencií

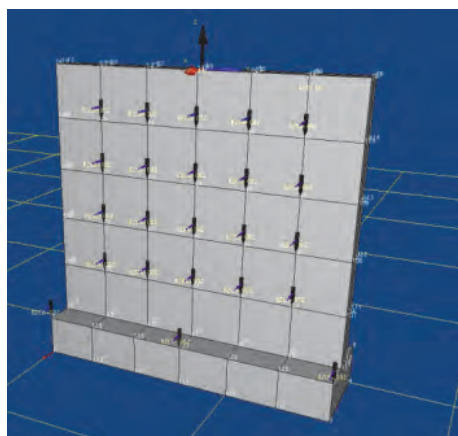
Experimentálne meranie bolo vykonané na zariadení PULSE 12 od firmy Brüel & Kjær. Na meranie boli použité vzorky z keramického materiálu. Experimentálne meranie vlastných frekvencií sa uskutočnilo na nepoškodenej vzorke veľkosti 150×150 mm (obr. 4) a poškodenej vzorke s otvorom v strede dosky priemeru 8 mm (obr. 5). Vzorky boli uchytené jednou stranou vo zveráku na pevno. Na obr. 6 vidieť rozmiestnenie snímačov na vzorke.



Obr. 4 Uchytenie vzorky nepoškodenej
Fig. 4 Fixation of the undamaged sample



Obr. 5 Uchytenie vzorky poškodenej
Fig. 5 Fixation of the damaged sample



Obr. 6 Rozmiestnenie snímačov na vzorke
Fig. 6 Distribution of accelerometers

Výsledky experimentu

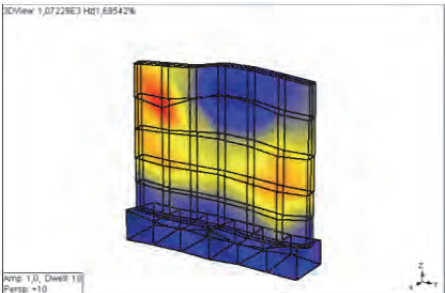
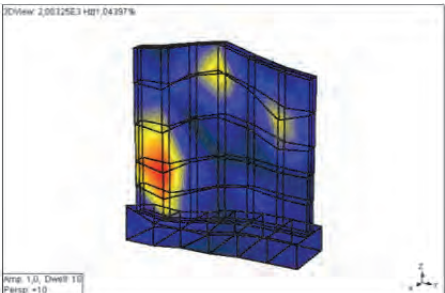
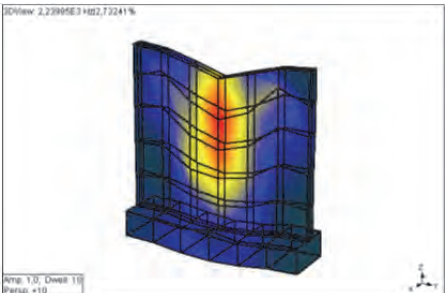
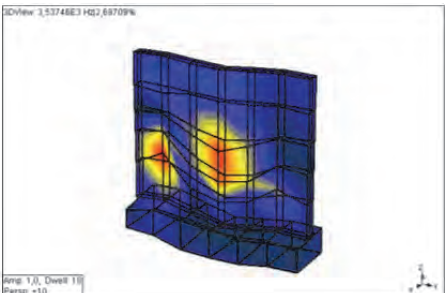
V tab. 2 a 3 je zobrazených prvých 5 vlastných tvarov frekvencií pre nepoškodenú a poškodenú vzorku z keramického materiálu. Namerané vlastné frekvencie sú uvedené v tab. 4.

Tab. 2 Nepoškodená vzorka a jej prvých päť vlastných tvarov frekvencií

Tab. 2 Undamaged sample and eigenfrequencies of its first five shapes

č. f.	Nepoškodený materiál	
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Tab. 3 Poškodená vzorka a jej prvých päť vlastných tvarov frekvencií
Tab. 3 Damaged sample and eigenfrequencies of its first five shapes

č. f.	Poškodený materiál
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

Tab. 4 Namerané hodnoty vlastných frekvencií nepoškodenej a poško-denej vzorky z keramického materiálu

Tab. 4 The measured values of eigenfrequencies for undamaged and damaged samples from ceramic material

Namerané vlastné frekvencie (Hz)		
Č. frekvencie	Nepoškodená vzorka	Poškodená vzorka
1.	1161,42	1072,29
2.	2161,51	2003,25
3.	2492,39	2231,85
4.	3882,38	3537,46
5.	5128,76	4725,71

Záver

Z nameraných vlastných frekvencií (tab. 4) vidieť, že frekvencie poškodenej vzorky sú nižšie ako frekvencie nepoškodenej vzorky. Merací rozsah bol nastavený na meranie frekvencií do 6 400 Hz. Z nameraných frekvencií možno zaznamenať, že čím vyššia frekvencia, tým dochádza k väčšiemu posunu medzi frekvenciami poškodenej a nepoškodenej vzorky.

Pod'akovanie

Práca bola podporená grantami VEGA 1/0358/14, KEGA 006TnUAD-4/2014, KEGA 005TnUAD-4/2016 a projektom „Centrum pre testovanie kvality a diagnostiku materiálov“, ITMS kód 26210120046 Operačného programu Výskum a vývoj financovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- [1] ALLEMANG, R. J. Analytical and Experimental Modal Analysis, UC-SDRLCN, 1994.
- [2] AVITABILE, P. Experimental modal Analysis. A simple non-mathematical presentation. University of Massachusetts, January 2001.
- [3] TREBUŇA, F., et al. An Application of High-speed Digital Image Correlation in Determination of Modal Parameters. *Acta Mechanica Slovaca*, 15 (2011) 4, 6–12.
- [4] TREBUŇA, F., et al. Modal analysis of transport complex and drop tests of container for transport of spent nuclear fuel. [CD]. In *50th Annual Conference on Experimental Stress Analysis EAN 2012*, Tábor, Czech Republic, 4.6-7.6.2012. Praha: ČVUT, 2012, pp. 1–8. ISSN 978-80-01-05060-6.
- [5] CUNHA, A., CAETANO, E. From Input-Output to Output-Only Modal Identification of Civil Engineering Structures. In *1st IOMAC Conference*, Copenhagen, Denmark, 2005.