

VLIV CYKLICKÉHO ÚNAVOVÉHO NAMÁHÁNÍ NA ZMĚNU MODÁLNÍCH CHARAKTERISTIK PRVKU Z PŘEDPJATÉHO BETONU

THE INFLUENCE OF THE CYCLIC FATIGUE LOADING ON THE MODAL CHARACTERISTIC CHANGES OF THE PRESTRESSED CONCRETE ELEMENT

Tomáš PLACHÝ, Michal POLÁK, Antonín REZEK¹

Abstrakt

V této experimentální studii byl sledován vliv dynamického cyklického zatěžování na změnu modálních charakteristik desky z předpjatého betonu. Tento jednoduchý stavební prvek byl zatěžován čtyřbodovým ohybem, aby bylo dosaženo konstantního ohybového momentu ve střední části desky. Cyklické zatěžování proběhlo v několika krocích. Před začátkem zatěžování a po každém zatěžovacím stupni byly určeny modální charakteristiky desky. Modální charakteristiky, které byly naměřeny po jednotlivých zatěžovacích krocích, byly vzájemně porovnány. Nejprve byla vyhodnocena změna vlastní frekvence $\Delta f_{(j)}$. Pro porovnání tvarů vlastního kmitání desky byla použita změna křivosti tvaru vlastního kmitání CAMOSUC_{(j),x}, změna matice modální poddajnosti $\Delta[\delta]$ a druhá derivace změny matice modální poddajnosti $\Delta[\delta]''$.

Klíčová slova: modální analýza, únava, předpjatý beton, matice modální poddajnosti.

Abstract

This experimental study was focused on monitoring of the influence of the dynamic cyclic loading on the change of the modal characteristics of the prestressed concrete slab. This simple structural element was loaded by four point bending to get the constant moment in the midsection of the slab. The cyclic load was applied to the slab in several steps. Before the test and after each load step the dynamical response of the slab was measured with a separate test arrangement. Modal characteristics of the slab, which were measured after each loading step, were mutually compared. Changes of natural frequencies $\Delta f_{(j)}$ of the slab were computed first. For the comparison of natural modes, changes of a mode surface curvature CAMOSUC_{(j),x}, changes of a modal flexibility matrix $\Delta[\delta]$ and the second derivative of changes of diagonal members of a modal flexibility matrix $\Delta[\delta]''$ were used.

Keywords: modal analysis, fatigue, prestressed concrete, modal flexibility matrix.

ÚVOD

V praxi se na betonových konstrukcích mohou objevit různé typy poškození. Neodhalené poškození může postupně vést ke kolapsu konstrukčního prvku nebo konstrukce jako celku. Proto je detekce poškození v co možná nejranějším stadiu velmi důležitá. Potřeba metod, které by mohly být použity na konstrukci jako celek, vedla k vývoji metod detekce poškození založených na změně modálních charakteristik konstrukce. Metody, které používají výsledky experimentální

¹ Ing. Tomáš PLACHÝ, PhD., doc. Ing. Michal POLÁK, CSc., Ing. Antonín REZEK, KME, FSv ČVUT v Praze, plachy@fsv.cvut.cz, polak@fsv.cvut.cz
Lektoroval: doc. Ing. Vladimír KRIŠTOFOVIČ, CSc., KSM, SvF TU v Košiciach, vladimir.kristofovic@tuke.sk

modální analýzy, je vhodné ověřovat na jednoduchých stavebních prvcích, kde známe jejich stav poškození. Vliv narůstajícího poškození na změnu modálních charakteristik železobetonových prvků byl zkoumán mnoha vědci, např. [1-4].

Experiment popsáný v tomto článku byl zaměřen na sledování vlivu vysokocyklického únavového zatěžování na změnu modálních charakteristik stavebního prvku z plně předpjatého betonu.

POPIS DESKY Z PŘEDPJATÉHO BETONU

Pro účely tohoto projektu byly firmou SMP CONSTRUCTION a.s. vyrobeny tři desky z plně předpjatého betonu. Desky byly 130mm vysoké, 1155mm široké a 4500mm dlouhé. Na obou koncích byla deska rozšířena na výšku 400mm vzhledem k nutnosti ukotvení předpínacích tyčí (obr.1). Desky byly vyrobeny z betonu C45/55 s jedenácti předpínacími tyčemi o průměru 15.7mm. Deska byla podél kratších stran prostě podepřena tak, aby rozpětí mezi podporami bylo 3500mm a převislé konce 500mm (obr.1).

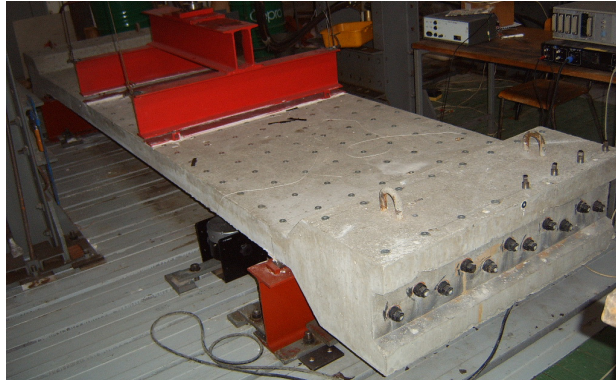
Zkoušená deska z plně předpjatého betonu byla navržena tak, aby nebyla splněna podmínka bezpečnosti v dolní části desky pro navržené vysokocyklické únavové zatěžování.

ZATĚŽOVÁNÍ DESKY

Zatěžování desky bylo provedeno v laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Deska z plně předpjatého betonu byla zatěžována čtyřbodovým ohybem, aby bylo dosaženo konstantního ohybového momentu ve střední třetině rozpětí desky (obr.1). Dynamické cyklické zatěžování bylo na desku aplikováno v několika krocích. Toto únavové zatěžování desky bylo vyvoláno harmonickou silou o frekvenci 5Hz. Amplituda dynamické síly byla zvolena tak, aby nebyla splněna podmínka bezpečnosti pro únavové namáhání betonu.

MODÁLNÍ ANALÝZA DESKY

Pro buzení prvku z předpjatého betonu v průběhu modální analýzy byl použit budič firmy Bruel & Kjaer typ 2732. Budič byl umístěn pod desku (obr.1) a s deskou byl spojen pomocí řídicí tyče. Budič vyvozoval sílu náhodného charakteru s frekvenčním rozsahem 5 až 400 Hz. Budicí síla byla měřena snímačem síly Endevco 2311-10, který byl umístěn mezi řídicí tyč a desku. Odezva desky byla měřena třemi piezoelektrickými snímači zrychlení 4507 B 005 (obr.2) ve zvolené síti bodů na horním povrchu desky (27 příčných řezů, 8 bodů v příčném řezu) (obr.1). Budicí bod byl zvolen tak, aby z tohoto bodu bylo možno vybudit základní ohybové tvary vlastního kmitání desky ve zvoleném frekvenčním rozsahu. Hodnoty přenosových funkcí byly získány jako průměr z deseti měření, délka okna v časové oblasti byla 32s s překrytím 50%.



Obr.1 Deska z předpjatého betonu



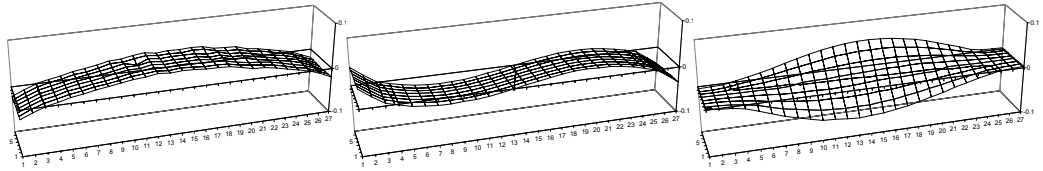
Obr.2 Piezoelektrické snímače zrychlení Bruel & Kjaer 4507 B 005



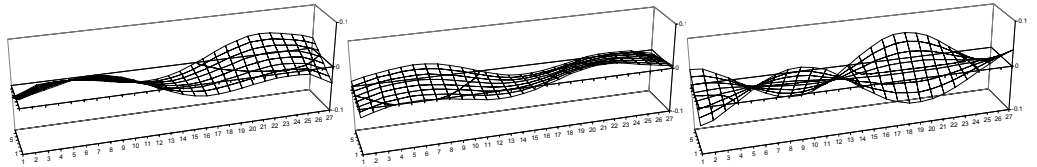
Obr.3 Měřicí linka

POROVNÁNÍ MODÁLNÍCH CHARAKTERISTIK

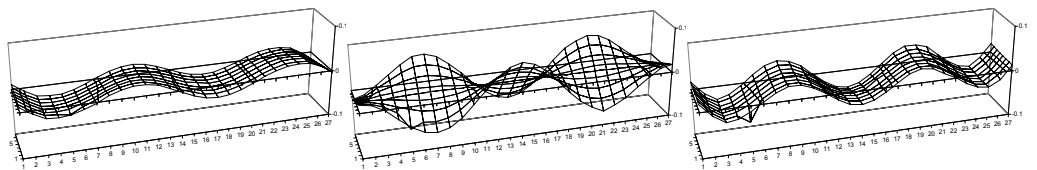
Pro vyhodnocení modálních charakteristik z naměřených přenosových funkcí byl použit program MEScopeVES. Vzhledem k použitému frekvenčnímu rozsahu při modální analýze bylo vyhodnoceno devět frekvencí a tvarů vlastního kmitání desky. Frekvence a tvary vlastního kmitání vyhodnocené po 125 000 zatěžovacích cyklech jsou ukázány na obr.4-6. Modální charakteristiky desky, které byly naměřeny po každém kroku zatěžování, byly vzájemně porovnány. Pro porovnání tvarů vlastního kmitání byla použita změna křivosti tvaru vlastního kmitání $CAMOSUC_{(j),x}$, (obr.7-9), změna matice modální poddajnosti $[\delta]$ (obr.10) a druhá derivace změny diagonálních členů matice modální poddajnosti $\Delta[\delta]''$ (obr.11).



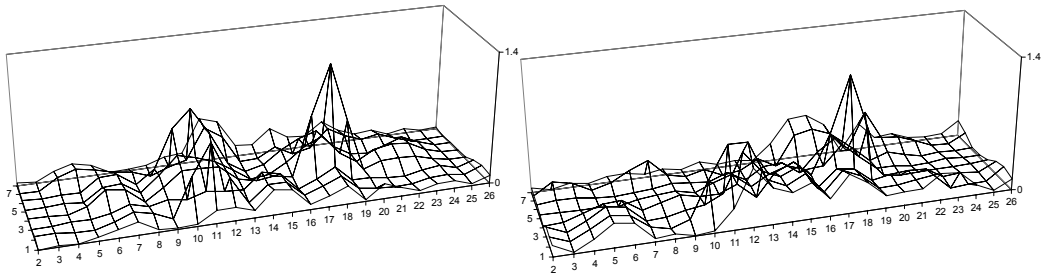
Obr.4 1., 2. a 3. tvar vlastního kmitání desky ($f_1=20.1$ Hz, $f_2=55.3$ Hz, $f_3=98.9$ Hz) po 125 000 zatěžovacích cyklech



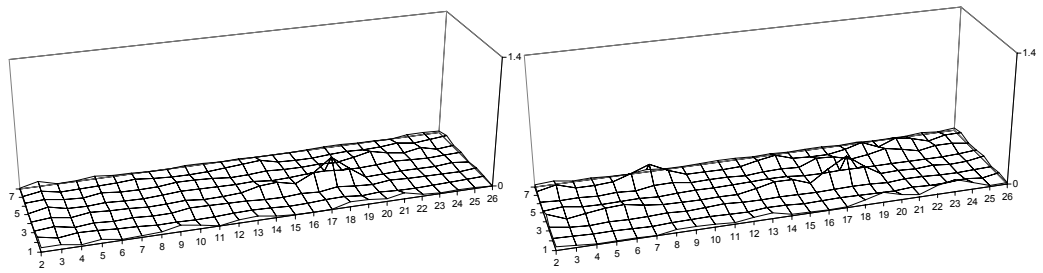
Obr.5 4., 5. a 6. tvar vlastního kmitání desky ($f_4=163.9$ Hz, $f_5=176.3$ Hz, $f_6=221.4$ Hz) po 125 000 zatěžovacích cyklech



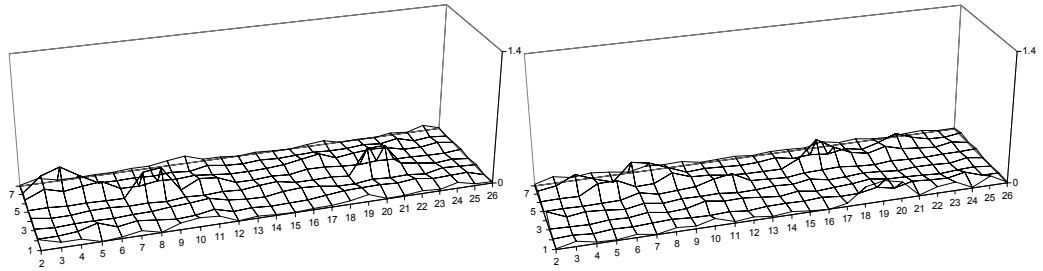
Obr.6 7., 8. a 9. tvar vlastního kmitání desky ($f_7=253.9$ Hz, $f_8=336.1$ Hz, $f_9=348.2$ Hz) po 125 000 zatěžovacích cyklech



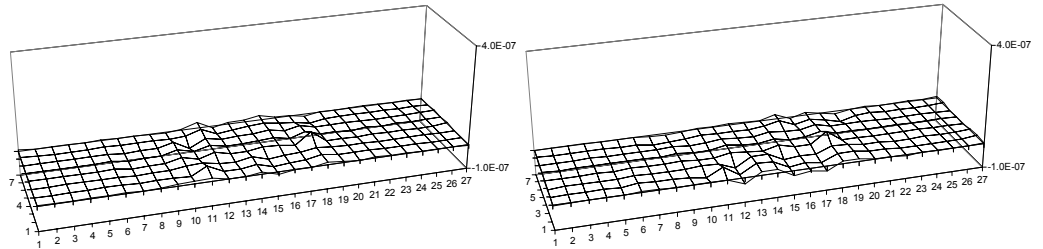
Obr.7 CAMOSUC_{(1),x} porovnání stavu desky před zatěžováním se stavem po 125 000 zatěžovacích cyklech a se stavem po 625 000 zatěžovacích cyklech



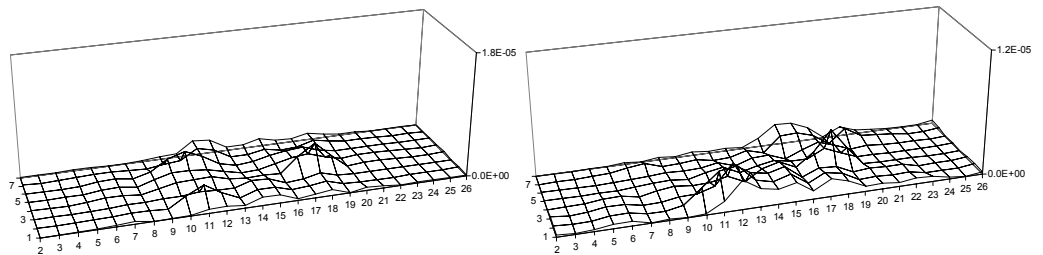
Obr.8 CAMOSUC_{(2),x} porovnání stavu desky před zatěžováním se stavem po 125 000 zatěžovacích cyklech a se stavem po 625 000 zatěžovacích cyklech



Obr.9 CAMOSUC_{(3),x} porovnání stavu desky před zatěžováním se stavem po 125 000 zatěžovacích cyklech a se stavem po 625 000 zatěžovacích cyklech



Obr.10 $\Delta[\delta]$ porovnání stavu desky před zatěžováním se stavem po 125 000 zatěžovacích cyklech a se stavem po 625 000 zatěžovacích cyklech



Obr.11 $\Delta[\delta]''$ porovnání stavu desky před zatěžováním se stavem po 125 000 zatěžovacích cyklech a se stavem po 625 000 zatěžovacích cyklech

ZÁVĚR

V této experimentální studii byl sledován vliv dynamického cyklického únavového zatěžování na změnu modálních charakteristik konstrukčního prvku z plně předpjatého betonu. Modální charakteristiky prvku byly vyhodnoceny po několika zatěžovacích stavech - vždy po 125 000 cyklech. Na obrázcích 4-6 jsou příklady tvarů vlastního kmitání po prvních 125 000 zatěžovacích cyklech. Tvary vlastního kmitání byly vzájemně porovnány pomocí tří různých metod: CAMOSUC_{(j),x} (obr.7-9), $\Delta[\delta]$ (obr.10) a $\Delta[\delta]''$ (obr.11). Z nízkých hodnot těchto funkcí vyplývá, že se po 125 000 zatěžovacích cyklech neobjevily žádné výraznější změny v dynamickém chování desky z předpjatého betonu. Po 625 000 cyklech se některé hodnoty předchozích funkcí mírně zvýšily, např. $\Delta[\delta]''$ (obr.11), ale stále nedošlo k žádným výraznějším změnám v dynamickém chování desky. Experimentální studie stále pokračuje. Aby bylo možné formulovat obecnější závěry, budou na popisované desce provedena další navazující měření, obdobným postupem budou vyzkoušeny další dvě shodně vyrobené desky.

Závěrem by autoři chtěli poděkovat firmě SMP CONSTRUCTION a.s. za finanční spoluúčast a za výrobu desek pro tento experiment.

Tato experimentální studie vznikla v rámci řešení projektu: „ Detekce poškození prvku z předpjatého betonu na základě změny jeho dynamických vlastností.“ podpořeného Grantovou agenturou České republiky jako grant č. 103/05/P302

LITERATURA

- [1] FRÝBA, L., PIRNER, M., URUSHADZE, S.: *Localization of Damages in Concrete Structures*, In: Proceedings of Computational Methods and Experimental Measurements X, pp. 417-426, 2001.
- [2] NDAMBI, J. M. et al.: *Material Property Assessment in Cracked Reinforced Concrete Beams Using Dynamic System Identification*, In: Proc. of the RILEM - IMEKO Int. Conf. Non - destructive Testing and Experimental Stress Analysis of Concrete Structures, pp. 351-356, Expertcentrum Bratislava, Bratislava, 1998.
- [3] PLACHÝ, T., POLÁK, M.: *Influence of Damage of a Reinforced Concrete Beam on Change of Its Behaviour*, In: Proc. of the 5th Int. Conference on Structural Dynamics – EURO DYN2002, Munich, Germany, pp. 1451 –1456, 2002
- [4] RIZOS, P. F. et al.: *Identification of Crack Location and Magnitude in Cantilever Beam from the Vibration Modes*. In: Journal of Sound and Vibration, 138, pp. 381-388, 1990.