

# DYNAMICKÁ STUDIE ŽELEZOBETONOVÉHO TRÁMU POŠKOZENÉHO TRHLINAMI DYNAMIC STUDY OF A REINFORCED CONCRETE BEAM DAMAGED BY CRACKS

TOMÁŠ PLACHÝ

V rámci disertační práce [2] byly sledovány změny modálních charakteristik (frekvencí a tvarů vlastního kmitání) tří železobetonových trámů v závislosti na míře jejich poškození.

*The main aim of the PhD thesis [2] was to study the influence of damage on changes of the modal characteristics (natural frequencies and mode shapes) of three reinforced concrete beams.*

Včasná detekce poškození stavební konstrukce ve stavu, kdy je co možná nejméně poškozena, je velmi důležitá. Pro použití současných metod detekce poškození je nutné znát přibližnou polohu poškození a toto místo musí být přístupné. Potřeba metod, které by mohly být použity na konstrukci jako celek, vedla k vývoji metod detekce poškození založených na změně modálních charakteristik stavební konstrukce. Tyto nové metody a postupy je vhodné ověřovat na jednoduchých stavebních prvcích.

## POPIS ZKOUŠENÝCH TRÁMŮ

Pro účely disertační práce byly vyrobeny tři shodné železobetonové trámy o rozměrech 0,2 x 0,3 x 4,5 m (obr. 1). Trámy byly uloženy na ocelolitinová ložiska tak, aby působily jako prosté nosníky o rozpětí 4 m s převislými konci 0,25 m na obou stranách a aby bylo dosaženo co nejvěrněji teoretických okrajových podmínek.

## LOKALIZACE POŠKOZENÍ TRÁMŮ

Poškození trámů bylo vyvoláváno statickým a dynamickým únavovým zatěžováním provedeným v několika stupních. Po každém stupni statického a dynamického zatěžování byla provedena experimentální modální analýza. Pro každý zatěžovací stav byly určeny celkem čtyři frekvence a tvary vlastního kmitání sledovaného prvku – první tři frekvence a tvary příslušné k svislému ohybovému vlastnímu kmitání a první frekvence a tvar vodorovného ohybového vlastního kmitání.

Modální charakteristiky určené při jednotlivých zatěžovacích stupních byly vzájemně

Obr. 1 Zkoušený železobetonový trám

Fig. 1 The reinforced concrete beam

porovnány. Kromě výpočtu změny vlastních frekvencí mezi jednotlivými zatěžovacími stupni, koeficientů  $MAC_{(j)}$ ,  $COMAC_{(j)}$  a změny matice modální poddajnosti  $\Delta[\delta]$  byla k lokalizaci poškození použita změna křivosti tvarů vlastního kmitání  $CAMO-SUC_{(j),x}$  definovaná v [1] a druhá derivace změny diagonálních členů matice modální poddajnosti  $\Delta[\delta]''$  definovaná v [2].

## ZÁVĚR

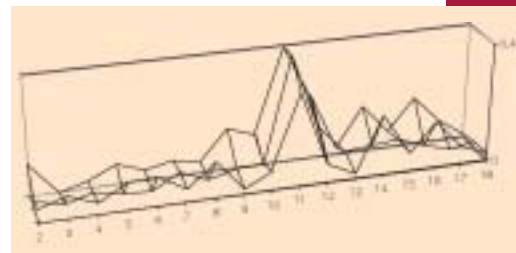
Za základní parametr změn modálních charakteristik pro stanovení úrovně poškození stavební konstrukce lze považovat změnu vlastních frekvencí  $\Delta f_{(j)}$ . Právě v ní se nejzřetelněji projevil vznik prvních trhlin v tažené oblasti sledovaných nosníků i jejich další šíření. Z experimentů i z teoretických výpočtů se ukazuje, že na narůstající poškození nosníků je nejvíce citlivá vlastní frekvence příslušná k 1. vlastnímu tvaru svislého ohybového kmitání.



Využití koeficientu  $MAC_{(j)}$  pro detekci a lokalizaci poruchy je prakticky nemožné. Při posuzování shody vlastních tvarů, které byly změřeny při určité úrovni poškození nosníku, s výchozími vlastními tvary, které odpovídají jeho neporušenému stavu, se vliv narůstajícího poškození do hodnoty koeficientu  $MAC_{(j)}$  často projevuje pouze velmi malou měrou nebo dokonce i kolísáním jeho velikosti. Také použití koeficientu  $COMAC_{(j)}$  pro lokalizaci poškození vykazuje v případě popisované studie řadu nesrovnalostí. Po vytvoření prvních trhlin sice došlo k drobnému zvýšení hod-

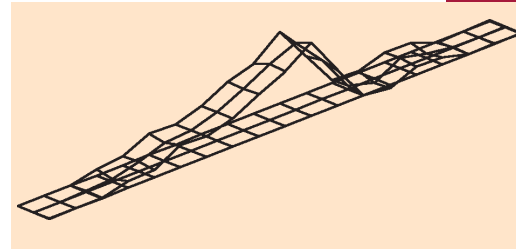
Obr. 2 Porovnání dynamického chování trámu č.3 pro předposlední a poslední zatěžovací stav – funkce  $CAMOSUC_{(3),x}$

Fig. 2 Comparison of dynamic behavior of the beam No. 3 between the last but one and the last load step – function  $CAMOSUC_{(3),x}$



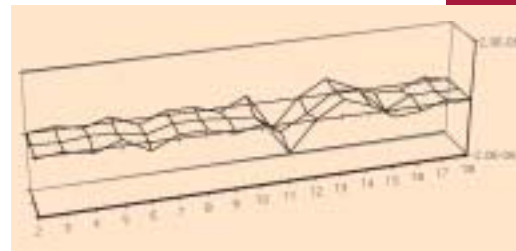
Obr. 3 Porovnání dynamického chování trámu č. 3 pro předposlední a poslední zatěžovací stav – změna matice modální poddajnosti  $[\delta]$

Fig. 3 Comparison of dynamic behavior of the beam No. 3 between the last but one and the last load step – change of the modal flexibility matrix  $[\delta]$



Obr. 4 Porovnání dynamického chování trámu č. 3 pro předposlední a poslední zatěžovací stav – druhá derivace změny diagonálních členů matice modální poddajnosti  $\Delta[\delta]''$

Fig. 4 Comparison of dynamic behavior of the beam No. 3 between the last but one and the last load step – the second derivative of the change of the modal flexibility matrix  $\Delta[\delta]''$



Literatura:

- [1] Pirner M., Urushadze S.: Aplikace dynamické odezvy na identifikaci stavebních konstrukcí a jejich poškození. ÚTAM AVČR, Praha, 2001, 50 str.
- [2] Plachý T.: Dynamická studie železobetonového trámu poškozeného trhlinami – FSV ČVUT Praha, 2003, Doktorská disertační práce, 139 str.

not funkce  $(1 - COMAC_{(x)})$  v místech jejich vzniku, ale po posledním zatěžovacím stupni se vznik závěrečného lomu ve změně hodnot této funkce neprojevil.

Použití funkce  $CAMOSUC_{\phi,x}$  pro lokalizaci míst s počátečním poškozením této

se ve studii příliš neosvědčilo. Funkce se naopak ukázala jako vhodná při lokalizaci řezu, ve kterém došlo k vzniku závěrečného lomu. Po posledním zatěžovacím stupni se výrazně zvýšily hodnoty  $CAMOSUC_{\phi,x}$  u všech tří trámů právě v tomto řezu (obr. 2). Použití funkce  $CAMOSUC_{\phi,x}$  je tedy pro lokalizaci poškození vhodnější, vyskytuje-li se na konstrukci pouze izolovaná porucha.

Změna matice modální poddajnosti  $\Delta[\delta]$  názorně popisuje postupný nárůst poddajnosti v poškozených oblastech na jednotlivých trámech (obr. 3). Druhá derivace změny diagonálních členů matice modální poddajnosti  $\Delta[\delta]''$  se osvědčila při lokalizaci míst, ve kterých se nacházelo menší

poškození, i řezu, ve kterém došlo k závěrečnému lomu (obr. 4).

Ing. Tomáš Plachý, Ph.D.  
Fakulta stavební, ČVUT v Praze  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6  
e-mail: plachy@fsv.cvut.cz  
tel.: 224 354 483

**Redakční rada časopisu se rozhodla pravidelně informovat čtenáře o vývoji a výzkumu uskutečňovaném na vědeckých pracovištích v rámci doktorantských disertací se vztahem k betonovému stavebnictví. Publikovaný krátký článek je první ukázkou. Pozn. redakce**

## SYMPOSIUM FIB V AVIGNONU

Ve dnech 26. až 28. dubna t.r. se ve francouzském Avignonu konalo symposium *fib* s názvem **Betonové stavby – výzva tvořivosti**. Ten zcela odpovídal i zaměření symposia. Po slavnostním zahájení a úvodním slově presidenta *fib* J. Forbse byly prezentovány vyzvané přednášky na obecnější téma. Prof. W. Lorenz z Německa zahájil obecným tématem výstavba jako tvořivá činnost s materiálem. Na tuto spíše abstraktní prezentaci navázal J. F. Klein s problematikou postavení stavebního inženýra v moderní společnosti. Úvodní sekci symposia završil pan A. Rito s tradičním, ale vděčným tématem – architektura mostních konstrukcí. Program symposia se odehrával v paralelních sekcích a byl zaměřen na tři základní oblasti:

- vývoj nových materiálů
- konstrukce kombinující různé materiály (zejména beton a ocel)
- nové konstrukce a velké projekty.

Závěr třídenního maratónu byl opět ve znamení vyzvaných přednášek světových kapacit. Mezi nimi přednesl vynikající přednášku též Prof. Stráský.

Místo konání – Papežský palác – dodával symposiu slavnostní ráz. Účast kolem pěti set odborníků z celého světa splnila očekávání pořadatelů. Prostředí města i paláce tvořilo příjemný rámec pro technická jednání a společně s tradiční pohostinností pořadatelů přispělo k úspěchu hlavní akce *fib* v letošním roce.

Před zahájením symposia zasedal výbor a generální shromáždění *fib*. Předmětem jednání byly volby nového presidenta a vicepresidenta. Prof. G. Mancini z Univerzity v Turínu byl zvolen novým prezidentem a pan H. R. Ganz ze Švýcarska viceprezidentem na další období, tj. do roku 2006. Předmětem jednání řídicí-

ho výboru byl zejména nový Model Code. Práce jsou obtížnější než se čekalo, protože se výrazně projevuje snaha o zjednodušení současných přístupů k navrhování s důrazem na koncepční přístup. Zdá se, že na dokončení budeme čekat déle než do roku 2006. Na kongresu proběhlo zasedání pracovních skupin a komisí.

Odborný program byl doplněn technickými exkurzemi na stavby v okolí Avignonu, např. na viadukty vysokorychlostní železnice (TGV). Tyto konstrukce, aby zajistily spolehlivý přejezd vlaků vysokými rychlostmi, jsou náročné na přesnost výstavby a tuhost nosné konstrukce. Předpjatý beton tyto možnosti poskytuje. Mimořádnou mostní konstrukci, jejíž blízkost byla důvodem pro umístění symposia právě do Avignonu, je viadukt u města Millau. Dálniční most převádějící oba směry dálnice přes široké a hluboké údolí má délku téměř 2,5 km, rozpětí hlavních polí 342 m a zejména pozoruhodná je výška jeho pilířů. Nejvyšší pilíř má výšku od paty po úroveň mostu 245 m, pylon nad mostovkou jej navyšuje až na 343 m. Předpjaté pilíře z betonu o pevnosti 60 MPa, samy o sobě mimořádné dílo, jsou nejvyššími mostními pilíři na světě. Koncem května byl dokončen výsuv vodorovné nosné ocelové konstrukce. Projekt je zcela unikátní nejen svými rozměry, ale též využitím technologického zařízení pro výsuv mostu, dočasnými podporami, výstavbou pylonů atd.



Nejvyšší pilíř mostu u Millau (245 m)



Papežský palác



Historický most

Prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc.  
předseda České národní skupiny fib