

MODELOVÁNÍ BETONOVÉHO MOSTU PRO URČENÍ JEHO ÚNAVOVÉ ŽIVOTNOSTI

MODELING OF THE CONCRETE BRIDGE FOR A DETERMINATION OF ITS FATIGUE LIFETIME

Petr Karásek¹

Abstrakt

This article presents the results of modeling of the motorway bridge over Sedlice's creek. The bridge was modeled by FEA in two variants. The first variant models of influence of external cables by changing of the stiffness of the particular finite elements. The second variant models the external cables as a truss finite element. These both variants are compared with the static and dynamic loading tests in situ and the better variant is used for next analysis. The influence of the changing of the axial forces in the external cables on the behaviour of the model of the bridge is done as the next step of the work. Then the calculation of the response of the model of the bridge on the crossing of the vehicles in the measure of the stress is done. The results are used then to a statistical process by the rain flow method. These results are compared with the effects of the real loading of the bridge which was estimated by a installed WIM (i.e. weight-in-motion machine) and a counter of periods - RALSTON. The results are used for a preliminary determination of the fatigue lifetime of the bridge.

Keywords: model, volné kabely, vlastní frekvence a tvary, dynamické chování, MKP, metoda stékající vody, napětí, experimentální modální analýza, FFT.

1 Úvod

Účelem tohoto článku je nastínit cestu k určování dynamického chování mostů s volnými předpínacími kabely s návazností na určování únavového chování těchto mostů. Použití volných kabelů umožňuje opravy starých předpjatých mostů a též výstavbu nových konstrukcí. Pro naše zkoumání máme k dispozici most přes Sedlický potok na 62.5 km dálnice D1 z Prahy do Brna. V tomto místě jsou dva stejné mosty. Tyto mosty byly postaveny v roce 1975 společností IS

¹Ing. Petr Karásek, Katedra stavební mechaniky, Stavební Fakulta, ČVUT, Tháškova 7, Praha 6, 166 29.
tel.: 02-24354483, E-mail: karasek@fsv.cvut.cz

Košice. Jedná se o dvoukomorové trémové mosty postavené segmentovou technologií z předpjatého betonu. Tyto mosty byly v havarijním stavu z důvodu zanedbané údržby. Při náhodné kontrole tohoto mostu byly zjištěno, že kovový žlab vedený vnitřkem komory mostu zajišťující odvod vody z dálnice přes přehradní nádrž pitné vody Želivka kompletně zkorodoval. Z tohoto důvodu všechna voda tekla na spodní desku komůrky kde ničila beton a předpínací výztuž vedenou spodní deskou. Problémem bylo, že předpínací kabely nebyly nijak chráněny v betonu a tudíž většina z nich přestala plnit svojí funkci. To byl důvod kompletní rekonstrukce obou mostů provedenou pomocí volných kabelů. Předmětem výzkumu se stal levý most ve směru Brno - Praha. V současné době jsou k dispozici výsledky statického a dynamického měření mostu in situ před, v průběhu a po skončení rekonstrukce[4, 6]. Dále je možné použít výsledky silniční váhy která je nainstalována před mostem. Toto zařízení registruje rychlost vozidla, váhu jeho náprav. Dalším zařízením je čítač rozkmitů deformací v polovině středního pole.

2 Modelování mostu

Mostní konstrukce byla modelována pro identifikaci mostu a dále pro využití modelu mostu pro výpočet dynamického chování mostu na přejezd vozidel. Byl využit již dříve vytvořený model mostu pomocí metody konečných prvků[5]. Model byl doplněn o vliv deviátorů a volných kabelů, které předchozí model nezohledňoval.

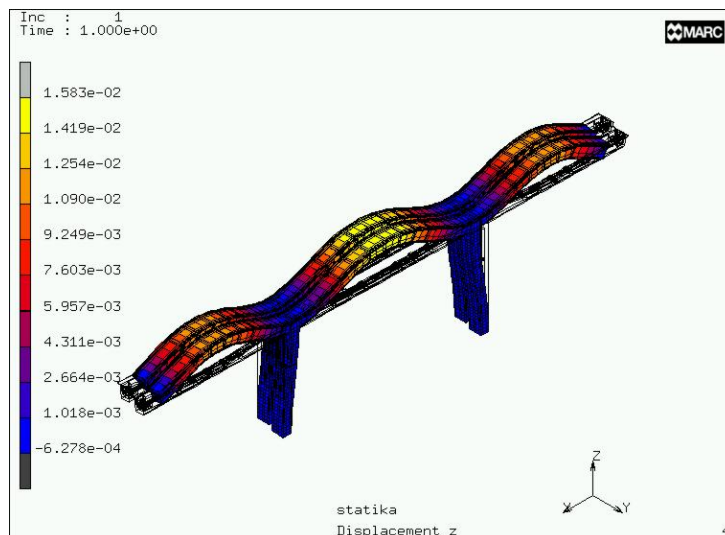
2.1 Model mostní konstrukce

Model mostu je proveden metodou konečných prvků (obr. 1). Betonová část mostní konstrukce je modelována osmi-uzlovými izoparametrickými prostorovými prvky s lineární aproximací posunů v uzlech a s plnou numerickou integrací matice tuhosti. Tyto prostorové prvky mají 24 stupňů volnosti kterými jsou jen posuny u, v, w . Volné předpínací kabely jsou modelovány dvou-uzlovými izoparametrickými tyčovými prvky s plnou integrací maticet tuhosti. Tyčové prvky nemají ohybovou tuhost, mají 6 stupňů volnosti kterými jsou jen posuny u, v, w v obou uzlech. Matice hmotnosti jsou uvažovány konzistentní. Volné kabely jsou modelovány jako tyčové prvky protože délka těchto kabelů je malá a tedy není nutné vzít v úvahu vliv průvěsu volného kabelu.

2.2 Vliv volných kabelů

Vliv předpínacích sil ve volných kabelech mostu je zaveden do výpočtu vlastních frekvencí a tvarů mostní konstrukce. Předpínací síly jsou zavedeny formou matice počátečních napětí. Rovnice pro řešení obecného problému s vlivem počátečních deformací a počátečních napětí za předpokladu malých deformací[2, 9,10] je ve tvaru rovnice (1)

$$[K_t + K_\varepsilon + K_\sigma] v(t) + [C] \dot{v}(t) + [M] \ddot{v}(t) = 0 \quad (1)$$



Obrázek 1: Statický tvar mostu s předepnutými volnými kabely

kde

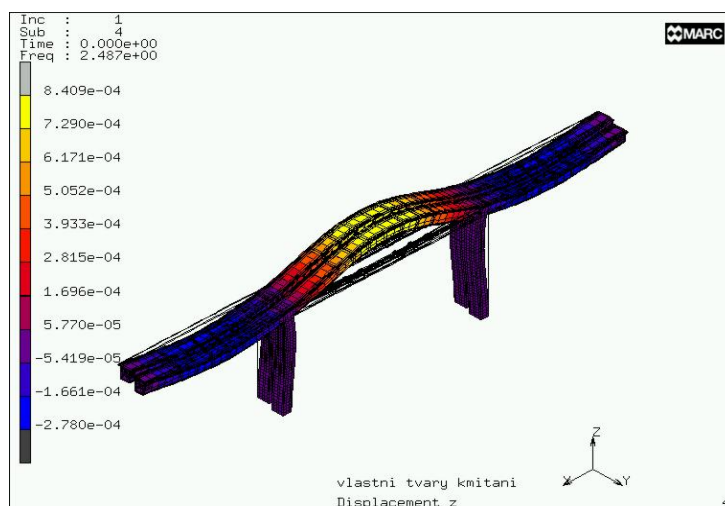
- K_t je matice lineární tuhosti
- K_ε je matice počáteční deformace
- K_σ je matice počátečních napětí
- C matice tlumení
- M matice hmotnosti
- $v(t)$ vektor posunů
- $\dot{v}(t)$ vektor rychlostí
- $\ddot{v}(t)$ vektor zrychlení

Pro výpočet vlastních tvarů a frekvencí nebylo uvažováno tlumení tudíž rovnice (1) se zjednoduší na tvar (2). Tato rovnice je všeobecně známá jako problém vlastního netlumeného kmitání.

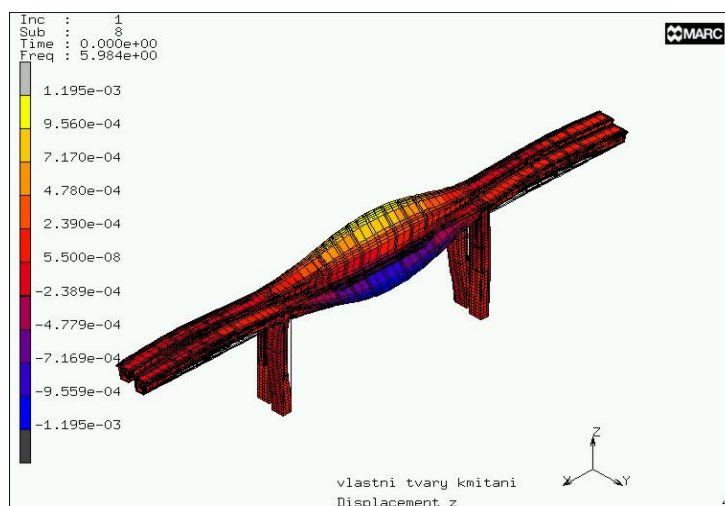
$$[K_t + K_\varepsilon + K_\sigma] v(t) + [M] \ddot{v}(t) = 0 \quad (2)$$

2.3 Výpočet vlastních frekvencí a tvarů kmitání mostní konstrukce

Řešení výpočtu vlastního kmitání modelu mostní konstrukce je provedeno programem $MARC^{TM}$ [7], který je k dispozici ve Společném Výpočetním Středisku ČVUT a VŠCHT v Praze Dejvicích. Vlastní řešení problému vlastních čísel je provedeno Lanczosovou metodou. Aby bylo možné vzít v úvahu vliv předpínacích sil, je nutné v prvním kroku spočítat napětí od předpětí a potom toto napětí v konstrukci převést na matici počátečních napětí K_σ , která se připočítává k matici tečné tuhosti K_t . Další postup řešení je klasický postup výpočtu vlastních čísel a vektorů. Vybrané tvary kmitání jsou uvedeny na (obr. 2,3). Vypočtené vlastní tvary jsou ortonormalizovány vzhledem k matici hmotnosti celé konstrukce.



Obrázek 2: První ohybový tvar kmitání mostu



Obrázek 3: První krouťivý tvar kmitání

2.4 Vliv změny předpínací síly ve volných kabelech na dynamické chování konstrukce

Tento problém byl zkoušen aby bylo vyloučeno nelineární chování konstrukce. Model mostní konstrukce byl zatížen počátečním posunem a byla spočítána dynamická odezva. Byla použita integrační procedura založená na Newmarkově metodě. Odezva mostu v časové oblasti v určitém bodě byla použita pro získání vlastních frekvencí pomocí FFT.

3 Srovnání výsledků modelů s výsledky experimentální modální analýzy

Výsledky z experimentální modální analýzy[4, 6] a modelování tohoto mostu MKP[5] jsou přehledně uspořádány v tabulce [Tab 1]. První řádek uvádí výsledky modální analýzy provedené na mostě 24. - 26. 9. 1997[4], což znamená v podstatě po skončení rekonstrukce mostu [6]. Další tři řádky obsahují výsledky modelování mostní konstrukce metodou konečných prvků. Z uvedené tabulky je vidět, že vliv osových sil ve volných kabelech v jejich odpovídající fyzikální velikosti je malý.

	j-tá vlastní frekvence							
f_j (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8
experiment po rekonstr.	2.500	3.730	4.330	5.850	7.020	8.610	11.60	13.12
model								
bez kabelů	2.479	3.934	4.400	5.991	7.756	9.413	10.89	13.92
s kabely	2.486	3.941	4.404	5.987				
s kabely a před. silami	2.487	3.941	4.403	5.984				

Tabulka 1: Vlastní frekvence kmitání konstrukce

4 Výpočet odezvy na přejezd vozidel

Přejezdy vozidel přes most jsou počítány metodou rozkladu dle vlastních tvarů kmitání. Modely vozidel jsou provedeny metodou konstrukčních prvků[12, 13, 14]. Jsou provedeny přejezdy modelů vozidel přes model mostní konstrukce v různých rychlostech. Protože je sledovaný most jednosměrný jsou přejezdy provedeny jen v tomto směru tedy Brno-Praha. Sledovanou veličinou jsou napětí v nejzatíženějších místech a to vždy ve středu jednotlivých polí mostu.

5 Vyhodnocení přejezdů vozidel přes mostní konstrukci

Velikosti rozkmitů napětí mostní konstrukce in situ je sledována čítačem cyklů velikostí rozkmitů napětí RALSTON instalovaným ÚTAM AV ČR [8]. Toto zařízení bylo připojeno k tenzometrům které byly nainstalovány Fakultou stavební ČVUT v čase statických a dynamických zkoušek in situ. Výsledky měření in situ jsou porovnány s řešením na modelu mostu. Velikosti rozkmitů napětí jsou dále zpracovány metodou stékajícího deště.

5.1 Metoda stékajícího deště

Použití této metody umožňuje seřadit rozkmity napětí podle jejich počtu a velikosti[11]. Tato metoda byla použita pro seřazení rozkmitů napětí v mostu od přejezdů modelů vozidel přes model mostu. Seřazení rozkmitů napětí pomocí této metody umožňuje další vyšetřování únavového namáhání mostní konstrukce.

6 Závěr

Navržený postup a model byl ověřen s dobrou shodou s experimentálními výsledky na reálném mostě přes Sedlický potok na dálnici D1(km 62.5). Vlastní frekvence a tvary modelu jsou v dobré shodě s experimentálními výsledky z modální analýzy mostní konstrukce in situ.

Tato práce byla podpořena GAČR grantem č. 103/96/K034.

Reference

- [1] Baťa, Miloslav, Plachý, Václav, and Trávníček, František. *Dynamika stavebních konstrukcí*. SNTL/ALFA. Prague. 1987.
- [2] Clough, Ray W. and Penzien, Joseph. *Dynamics of structures*. McGraw-Hill, Inc. 1993.

- [3] Koloušek, Vladimír a kolektiv. *Stavebné konštrukcie namáhané dynamickými účinkami*. SVTL. Bratislava. 1967.
- [4] Polák, Michal, Sýkora, Jiří. *Modální analýza silničního betonového mostu přes Sedlický potok na dálnici D1 (km 62.5)*. Dílčí zpráva grantu GAČR č. 103/96/K034. KSM FSV ČVUT. Praha. 1997.
- [5] Polák, Michal, Karásek, Petr, Plachý, Tomáš, Samoel, Jaroslav. *Identifikace modelu a výpočet frekvencí a tvarů vlastního kmitání silničního betonového mostu přes Sedlický potok na dálnici D1 (km 62.5)*. Zpráva 132 102/97, Dílčí zpráva grantu GAČR č. 103/96/K034. KSM FSV ČVUT. Praha. 1998.
- [6] Sýkora, Jiří. *Závěrečná zpráva o dynamickém a statickém chování mostu přes Sedlický potok v km 62.5 dálnice D1 v roce 1997*. Zpráva 116196. Ústřední laboratoře K174 FSV ČVUT. Praha. 1998.
- [7] MARC, Analysis Research Corporation. *MARC Manuals v. K7. USA*. 1997.
- [8] Pirner, Miroš. *Long term monitoring of the response of structures*. Acta Technika ČSAV (2000) (in print). Prague.
- [9] Bittnar, Zdeněk, Šejnoha, Jiří. *Numerické metody mechaniky 1,2*. ES ČVUT. Praha. 1992.
- [10] Cook, Robert D., Malkus, David S., Plesha, Michael E. *Concepts and application of finite element analysis*. John Wiley & Sons, Inc. USA. 1989.
- [11] Samoel, Jaroslav. *Softwarové zpracování metody stékající vody*. KSM FSV ČVUT. Praha. 1995.
- [12] Karásek, Petr. *Static and Dynamic estimation of a insterted pier of a cable-stayed bridge*. diploma. Prague. 1997(in Czech).
- [13] Polák, Michal. *Modelování a řešení dynamického systému mostní konstrukce a vozidla (doctoral thesis-in Czech)*. KSM FSV ČVUT. Praha. 1995.
- [14] Brůna, Michal. *Dynamické chování systému mostní konstrukce a vozidla (doctoral thesis-in Czech)*. KSM FSV ČVUT. Praha. 1990.