

Miloš RIEGER¹, Pavel MAREK², Antonín LOKAJ³

DLOUHODOBÉ SLEDOVÁNÍ DYNAMICKÉ ODEZVY MOSTNÍHO OBJEKTU

Abstract

This paper turns attention to the long term recording of the response to the traffic load of a steel freeway bridges using special monitoring devices RISTON or DATREQ developed by computer experts in Czech republic. The application of such monitoring system allows for the reliability assessment corresponding to the accumulation of fatigue damage of the main components of steel load carrying systems considering the actual loading history as well as the dynamic response of the bridge to the loading. The safety assessment, referring to the accumulated damage, is performed using the probabilistic Simulation-based Reliability Assessment method, SBRA [2].

1 ÚVOD

Znalost odezvy konstrukce na zatížení, vyjádřená historií napětí či přetvoření, zrychlením apod., je jedním z hlavních údajů vstupujících do posudku spolehlivosti z hlediska bezpečnosti, použitelnosti a trvanlivosti. Mnohdy jsou k dispozici jen omezené údaje a charakteristiky odezvy jsou pouze odhadovány, což ztěžuje spolehlivé posouzení zejména akumulace poškození únavou. V situacích, kdy transformační modely nebo zatížení, působící na konstrukci, obsahují významný podíl neurčitosti, lze použít „zpětnovazebního“ postupu. Konstrukce je navržena a realizována s využitím kvalifikovaného odhadu historie zatížení a následně je proveden záznam skutečného průběhu zatížení působícího na konstrukci v reálných podmínkách. Vyhodnocená data pak slouží jako „zpětná vazba“ při analýze spolehlivosti. Takto získané výsledky mohou vést k úpravám stávajících konstrukcí a lze jich využít i při návrhu konstrukcí nových. Podobně lze na základě znalosti stavu konstrukce a historie působících zatížení určit např. zbytkovou životnost konstrukce či navrhnout efektivní úpravy konstrukce či režimu zatížení tak, aby se zvýšila její životnost.

2 MONITOROVANÝ MOSTNÍ OBJEKT

Pro praktická měření byl vybrán mostní objekt dálničního typu na trase Mosty u Jablunkova – Svrčinovec (SR), který je zatěžován intenzivní tranzitní kamionovou dopravou. Jedná se o spřažený ocelobetonový spojený most o osmi polích (45m + 6 x 60m + 45m) vedený v půdorysném zakřivení a v podélném spádu 0,6%. Příčný řez se skládá ze dvou ocelových svařovaných truhlíků, které jsou prostřednictvím horních pásů spřaženy se železobetonovou deskou. Truhlíky jsou vzájemně propojeny podporovými příčníky. Pro měření byl vybrán střed druhého pole ze směru od Svrčinovce. Prostřednictvím nalepených odporových tenzometrických snímačů firmy Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM) bylo monitorováno nominální napětí dolního pásu v blízkosti stojiny a vnitřní podélné výtzuhy, dolní oblast stojiny a podélné výtzuhy, horní pás a také spodní líc železobetonové desky v blízkosti horního pásu a ve středu rozpětí.

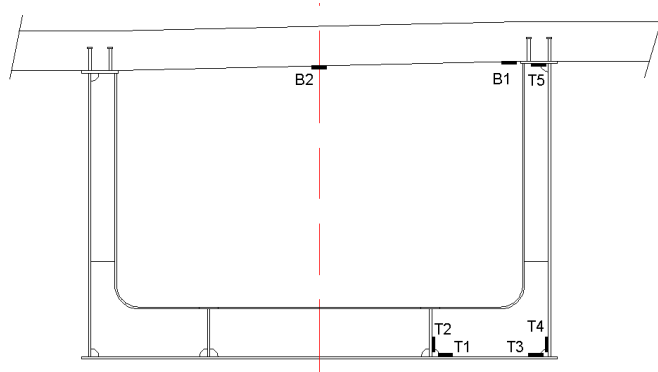
¹ Ing., Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Poděště 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, tel. (+420) 59 732 1349, e-mail milos.rieger@vsb.cz.

² Prof., Ing., DrSc., ÚTAM AV ČR Prosecká 76, 190 00 Praha 9, tel. (+420) 28 388 2462, e-mail marekp@itam.cas.cz, FAST VŠB TU Ostrava, e-mail pavel.marek@vsb.cz.

³ Ing., Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Poděště 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, tel. (+420) 59 732 1302, e-mail antonin.lokaj@vsb.cz .



Obr.1 Monitorovaný mostní objekt - objekt SO 401 - Mosty u Jablunkova.

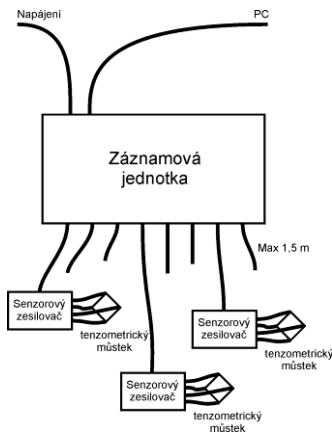


Obr.2 Rozmístění tenzometrů.

3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

3.1 Systémy dlouhodobé registrace odezvy zatížení

Pro praktické nasazení a měření dlouhodobé odezvy zatížení v reálných podmínkách byly vybrány specializované přístroje RISTON a DATREQ.

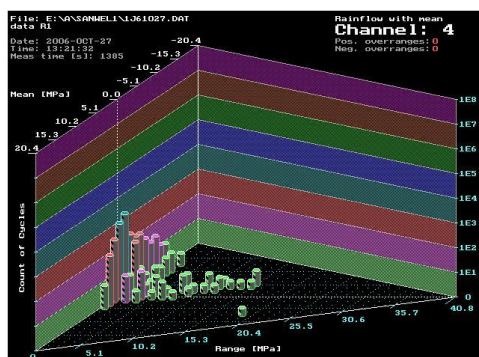


Obr.3 Schéma systému DATREQ.

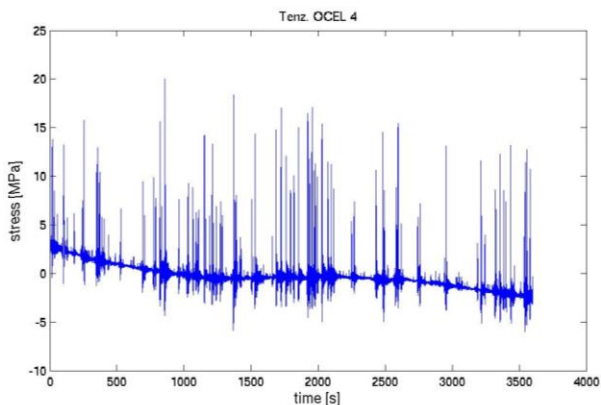


Obr.4 Systém RISTON.

Přístroje vykazují minimální spotřebu energie a současně disponují potřebnou kapacitou paměti, což umožňuje registrovat velké množství zatěžovacích cyklů a dovoluje dlouhodobý bezobslužný provoz. Oba typy přístrojů se skládají ze zdroje napájení, záznamové jednotky, která slouží k převodu vstupních analogových signálů (příp. upravených pomocí senzorových zesilovačů – Datreq) do číslicové podoby a jejich dalšímu zpracování, pro konečné vyhodnocení slouží specializované software. Posloupnosti digitalizovaných dat jsou vyhodnocovány metodou Rain-flow a takto získané údaje o počtu zatěžovacích cyklů jsou společně s odpovídajícími středními hodnotami zatížení rozděleny do příslušných tříd a uloženy do paměti. Kapacita použité paměti dovoluje zaznamenat až 2^{32} cyklů v třídě. To umožňuje provádět měření po extrémně dlouhou dobu bez potřeby sběru naměřených dat. Zaznamenaná data jsou uchována i v případě výpadku napájecího napětí. Výstupy obou přístrojů jsou opět obdobné. Rain-flow metodou vyhodnocené rozkmity napětí jsou podle tříd seřazeny buď v přehledných tabulkách nebo zobrazeny pomocí grafů. Informace o rozkmitech jsou doplněny jejich středními hodnotami, viz obr. 5.

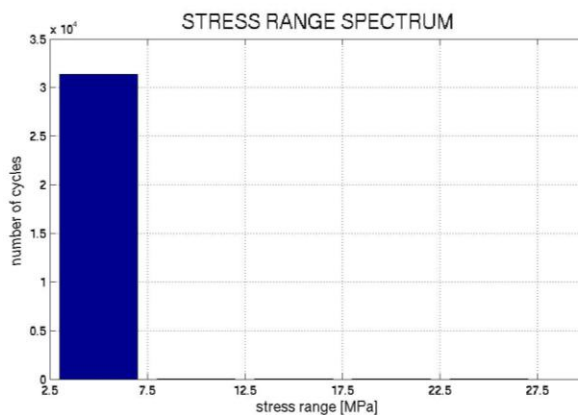


Obr.5 Ukázka výstupu 1-hodinového měření systémem RISTON.

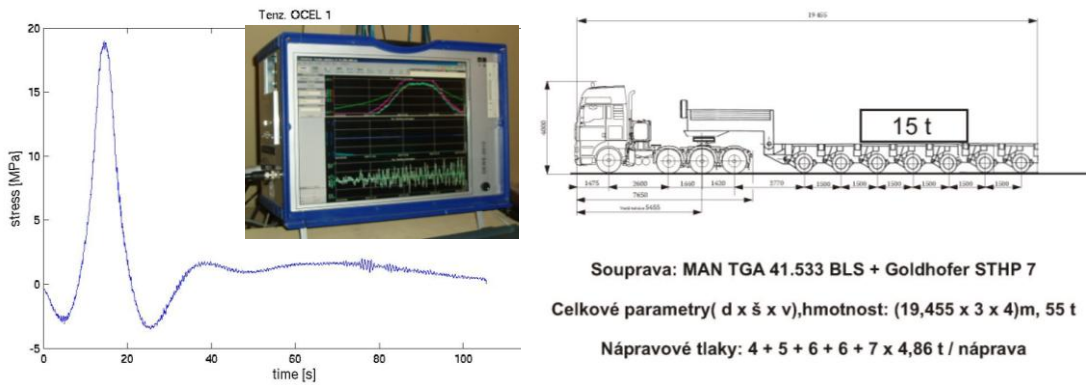


3.2 Vyhodnocení měření

Cílem naplánovaných experimentů bylo porovnat spektrum rozkmitu napětí získaného na základě dlouhodobých měření s teoretickými (normativními) předpoklady, podle kterých byla mostní konstrukce navržena a provést srovnávací posouzení akumulovaného poškození, případně zbytkové životnosti konstrukce. Současně se podařilo zorganizovat a zajistit i měření přejezdů těžkým kalibrovaným vozidlem, které projíždělo po mostu jako jediné vozidlo rychlostmi 10, 30, 50, 70 a 90 km/hod. V návaznosti na měření tenzometrická byla prováděna také měření dynamometrická. V rámci experimentálního měření se podařilo získat referenční spektra rozkmitů napětí pro jednotlivá měřená místa, během kontrolního 1-hodinového měření se podařilo zachytit i vliv výrazného nerovnoměrného oteplení konstrukce, obr.5.



Ze získaných dat vyplývá, že na akumulaci poškození se výhradně podílí „těžká“ kamionová doprava, přičemž naměřené rozkmity dosahují hodnot cca 50-60% oproti hodnotám dle normového postupu ve statickém výpočtu. Částečným překvapením bylo zjištění, že napěťová odezva přejezdů těžkého kalibrovaného vozidla se pohybovala na úrovni běžné kamionové dopravy, projevil se zde zřejmě účinek rovnoměrněji rozloženého zatížení a odpružení podvozku.



Obr.6 Odezva přejezdu těžkého kalibrovaného vozidla při 30 km/hod.

4 POSOUZENÍ AKUMULOVANÉHO POŠKOZENÍ

Pro posouzení akumulovaného poškození z hlediska únavy je možno postupovat:

- pro předběžnou kontrolu únavové pevnosti je možno podle [10] použít zjednodušeného modelu únavového zatížení založeném na ekvivalentním rozkmitu napětí;
- lze použít ekvivalentního rozkmitu napětí stanoveném pro 2×10^6 cyklů z podmínky rovnosti únavového poškození na základě lineární kumulativní teorie poškození;
- posouzení s použitím spektra rozkmitů napětí s využitím kumulativní teorie poškození;
- přístupem s využitím lomové mechaniky.

Snaha o zohlednění nejistot při definování vstupních veličin a také proces vyhodnocování únavového poškození jednoznačně vedou k využití pravděpodobnostních metod posudku. Do dnešního data se prozatím podařilo předběžně vyhodnotit 23 denní záznam napětí pro dolní pás ocelového nosníku, který odpovídá realizovanému zatížení dopravou. Vzhledem k poměrně malým rozkmitům napětí byly hluboce podprahové hodnoty předem ignorovány a provedena sumace do pouze 5-ti tříd s rozkmitem po cca 5-ti MPa, viz Tab.1.

Tab.1

třída	$\Delta\sigma_i$ [MPa]		Ni [cyklů/23 dní]
	od	do	
1	4,25	9,55	14.076000×10^6
2	9,55	14,86	0.01748×10^6
3	14,86	20,16	0.01518×10^6
4	20,16	25,47	0.00805×10^6
5	25,47	30,78	0.00299×10^6

Poškození odpovídající jednomu bloku zatížení (dopravní provoz za 23 dní) lze za použití Palmgren-Minerovy hypotézy kumulace poškození vyjádřit, např. dle [5]:

$$D_b = \frac{\sum a_i}{N_D} = \frac{\sum n_i \left(\frac{\Delta\sigma_{ef,i}}{\Delta\sigma_D} \right)^m}{N_D} \quad (1)$$

kde $\Delta\sigma_{ef,i} = [1 - pos(\Delta\sigma_L - \Delta\sigma_i)] \cdot \Delta\sigma_i$ je rozkmit efektivního napětí a N_D počet cyklů pro konstantní amplitudu; $m = 3 + 2 \cdot pos(\Delta\sigma_D - \Delta\sigma_{ef,i})$.

Počet opakování uvažovaného bloku do porušení potom bude

$$b = \frac{D_M}{D_b} = \frac{D_M \cdot N_D}{\sum a_i} = \frac{D_M \cdot N_D}{a} \quad (2)$$

kde D_M je mezní poškození.

Rezerva spolehlivosti vztažená k celkové délce života pak může být vyjádřena

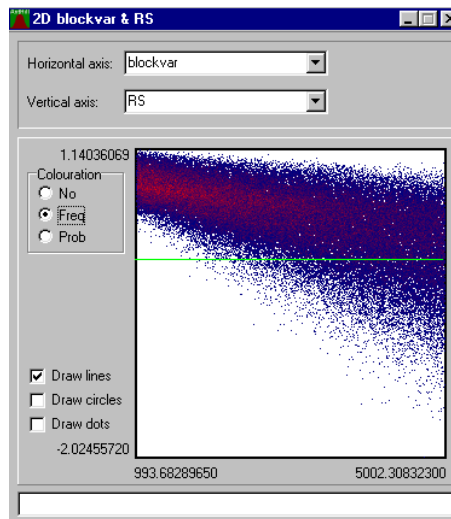
$$R - S = D_M - b \cdot D_b \quad (3)$$

Pro aplikaci metody SBRA byly vstupní veličiny uvažovány následovně:

Pokud by byla uvažována kategorie detailu 56 (přivařené podélné výztuhy) s konstantním rozkmitem $\Delta\sigma_D = 41$ MPa; trilineární křivka životnosti s konstantními exponenty $m = 3$ a $m = 5$; N_D je uvažováno s normálním rozdělením; prahový rozkmit $\Delta\sigma_L$ je vyjádřen pomocí $\Delta\sigma_L = 0,05^{1/m} \cdot \Delta\sigma_D$ a proto je také náhodnou veličinou; mezní poškození D_M má normální rozdělení s min. hodnotou 0,8 a max. hodnotou 1,2.

Tab.2 Pravděpodobnosti poruchy pro uvažované počty zatěžovacích bloků b .

P_f	10^{-6}	10^{-5}	$7 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	0,2	0,5	0,9	0,95	0,99
b (blok 23 dní)	1330,2	1359,3	1499,2	1528,8	1820,5	2296,8	3288,9	3896,4	5773,9	11720,0	13763,6	18011,7



Obr.7 Rezerva spolehlivosti pro počty bloků $b = (1000 \text{ až } 5000)$.

5 ZÁVĚR

Príspevek popisuje průběh a vyhodnocení experimentálního měření, které probíhalo ve spolupráci s ÚTAM AV ČR Praha s využitím specializovaných přístrojů RISTON a DATREQ při měření dlouhodobé odezvy zatížení na konkrétním mostním objektu dálničního typu, který je zatížen intenzivní tranzitní kamionovou dopravou. Získaná spektra rozkmitů i ověření dynamického chování mostu jsou přínosem pro reálné zhodnocení chování mostu za provozu. Naměřených dat lze úspěšně využít i při ověřování provozní spolehlivosti a životnosti mostu. Znalost historie odezvy konstrukce na zatížení výrazně proměnné s časem taktéž přispívá k rozvoji pravděpodobnostních metod posudku spolehlivosti.

OZNÁMENÍ

Príspevek byl vypracován v rámci výzkumného projektu MOSTDYN (část SBRA) pro Ministerstvo dopravy České republiky realizovaného v návaznosti na grantový projekt GAČR 103/07/0557, který je zaměřený na rozvoj a aplikaci pravděpodobnostní metody SBRA pro posuzování spolehlivosti konstrukcí.

LITERATURA

- [1] GUŠTAR M, Přístroj DATREQ, ARTech, Nad Vinicí 7, 143 00 Praha 4.
- [2] MAREK P, GUŠTAR M, ANAGNOS T, Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1995.
- [3] MAREK P, and GUŠTAR M, Computer program AntHillTM (Copyright), Distr. ARTech, Nad Vinicí 7, 143 00 Praha 4, 1989-2001.
- [4] MAREK P, LOKAJ A, RIEGER M, Posudek provozuschopnosti konstrukcí založený na dlouhodobém záznamu odezvy k zatížení. In: Proc. of the 4th Int. Conf. on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, Oct 20-21, 2005, Bratislava.
- [5] VLK M, Uplatnění metody SBRA při řešení únavových problémů. Sborník konference Spolehlivost konstrukcí, DT Ostrava, březen 2001, Ostrava.
- [6] VLK M, Posouzení únavové životnosti metodou dílčích součinitelů a metodou SBRA. Sborník konference Spolehlivost konstrukcí, DT Ostrava, duben 2005, Ostrava.
- [7] RIEGER M, Vyhodnocení spolehlivosti průřezů spřažených silničních mostů, Sborník VI. konference se zahraniční účastí „Staticko-konstrukční a stavebno-fyzikální problémy stavebných konstrukcí“, Tatranská Lomnica, 24.11.-26.11.2004, Vysoké Tatry.
- [8] ČSN 73 6203 Zatížení mostů, Praha, ÚNM, 1986.
- [9] ČSN P ENV 1994-2 (73 2089) Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí-Část 2: Spřažené ocelobetonové mosty, Praha, Český normalizační institut, 1998.
- [10] ČSN P ENV 1993-2 (73 6205): Navrhování ocelových konstrukcí-Část 2: Ocelové mosty, Praha, Český normalizační institut, 1999.

Recenzoval: Ing. Lubomír Rozlívka, CSc.