

## URČOVÁNÍ ODEZVY NA ZATÍŽENÍ A PROVOZNÍ ZATÍŽITELNOSTI STÁVAJÍCÍCH ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ

Hynek ŠERTLER <sup>a)</sup>, Jaroslav MENČÍK <sup>b)</sup>, Josef VIČAN <sup>c)</sup>

<sup>a)</sup> Katedra dopravní infrastruktury, Univerzita Pardubice

<sup>b)</sup> Katedra dopravní mechaniky a provozní spolehlivosti, Univerzita Pardubice

<sup>c)</sup> Katedra stavebních konstrukcí a mostů, Žilinská univerzita, Žilina

### Úvod

U starších mostů vystupují do popředí otázky jejich zbytkové životnosti a bezpečnosti. V síti Českých drah je vysoký počet kovových mostů, jejichž stáří přesahuje 50 roků, a jejichž opravy, rekonstrukce nebo výměny budou vyžadovat obrovské náklady. Kromě celkových nákladů však velkou roli hraje i otázka potřebného soustředění finančních prostředků a výrobních kapacit. S ohledem na celkovou situaci je možné provádět případné rekonstrukce pouze postupně. Proto je mimořádně důležité objektivní rozhodování o provozuschopnosti jednotlivých mostů. K tomu je nutné mít údaje o skutečném stavu mostu a o jeho zatížení, a vhodná kritéria pro posuzování provozní způsobilosti. Jedním z těchto kritérií je tzv. provozní zatížitelnost. Pracovníci dopravní fakulty Univerzity Pardubice ve spolupráci se stavební fakultou Žilinské univerzity (VŠDS) Žilina v rámci vědeckovýzkumné činnosti věnují pozornost otázkám provozní zatížitelnosti a spolehlivosti mostů z hlediska:

- přesnější definice provozní zatížitelnosti,
- aplikace pravděpodobnostních přístupů při posuzování spolehlivosti,

s přihlédnutím k rozdílné situaci u mostů projektovaných a mostů, které jsou již dlouhodobě v provozu [1÷4]. Nová koncepce posuzování stávajících železničních mostů je podrobněji popsána v [1, 2]; zde proto pouze shrneme hlavní myšlenky.

### Provozní zatížitelnost

Provozní zatížitelnost  $Z_T$  mostní konstrukce lze určit z obecného vztahu [1]

$$Z_T = (R - \sum S_j) / S_T \quad (1)$$

kde  $R$  je odolnost limitujícího prvku mostní konstrukce,  $S_T$  je dynamická odezva téhož prvku na krátkodobé provozní zatížení, a  $\sum S_j$  jsou účinky ostatních zatížení. Provozní zatížitelnost tak představuje relativní únosnost limitujícího prvku mostní konstrukce vztaženou k hladině účinků reálného provozního zatížení. Její hodnota současně rozhoduje o přechodnosti konkrétního provozního zatížení přes posuzovanou mostní konstrukci (musí platit  $Z_T > 1$ ). Při určování provozní zatížitelnosti je nutno respektovat, že všechny tyto veličiny jsou náhodně proměnné. V takovém případě lze výpočet  $Z_T$  realizovat buď polopravděpodobnostní metodou extrémních hodnot (mající pravděpodobnostní podstatu, ale deterministický tvar) nebo pravděpodobnostní metodou extrémní hodnoty funkce spolehlivosti. Pro praktické použití je první z metod vhodnější, ale jejímu širšímu uplatnění brání nedostatek statistických údajů o odolnosti prvků stávajících mostů a o reálném provozním zatížení.

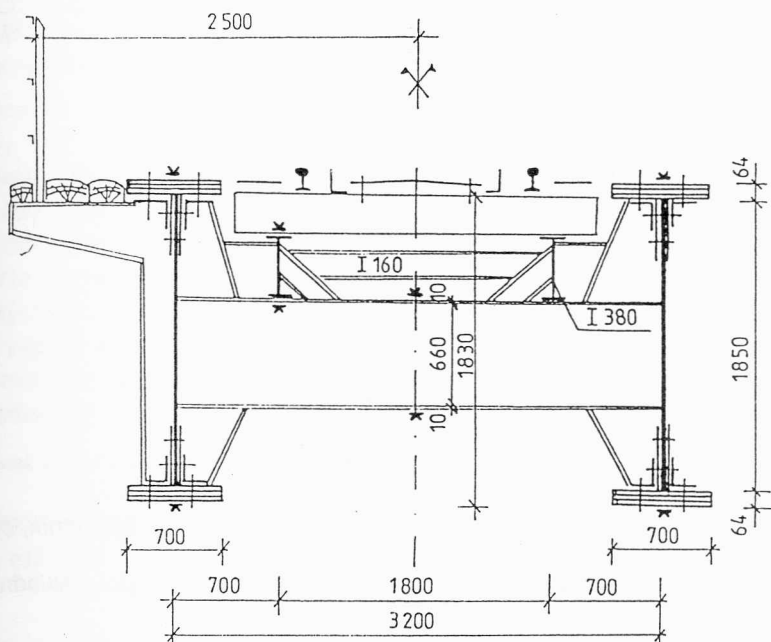
Pokud se týče odolnosti prvků stávajících železničních ocelových mostů, lze statistické údaje o materiálových vlastnostech (histogramy, střední hodnoty, směrodatné odchylky a součinitele asymetrie rozdělení) převzít částečně z literatury; viz např. [5]. Totéž platí i pro statistické charakteristiky průřezových veličin. U velmi starých mostů, jejichž materiály a prvky mohly být vyrobeny např. jinými technologickými postupy, je ale nezbytné doplňovat a korigovat příslušné údaje hodnotami zjištěnými měřeními nebo zkouškami na konkrétních konstrukcích.

Také hodnoty provozního zatížení ve výrazu (1) musejí vycházet z údajů zjištěných měřeními. Zde je tento požadavek ještě naléhavější, a to z více důvodů. Pravděpodobnostní způsob posuzování bezpečnosti konstrukcí připouští určitou, i když prakticky zanedbatelnou pravděpodobnost poruchy. Ta odpovídá pravděpodobnosti, že skutečné zatížení bude vyšší než skutečná únosnost konstrukce. Je zřejmé, že v delším uvažovaném časovém úseku existuje vyšší pravděpodobnost, že se vyskytne nepřipustně vysoké zatížení. Proto je předpokládaná doba provozu zohledněna i v normě pro navrhování, resp. pevnostní výpočty ocelových mostů [6]. Autoři tohoto příspěvku navrhli vycházet při posuzování starších mostů ze skutečnosti, že se mostní konstrukce periodicky prohlížejí v intervalech mnohem kratších, než je celková doba života, a doporučili přizpůsobit hodnotu přípustné pravděpodobnosti poruchy těmto kratším intervalům [1]. Na základě tohoto přístupu je tak možno povolit provoz i starších konstrukcí, u kterých by striktní posuzování podle předpisů pro nový, resp. navrhovaný most, mohlo znamenat jejich vyřazení. Zohlednění kratších intervalů je důležité i proto, že se v průběhu času mění zatížení tratí, a dlouhodobé odhady jsou nejisté. Je dobře známo, že po mírném nárůstu zatížení našich hlavních tratí v první polovině tohoto století následoval velmi prudký růst, který trval zhruba až do roku 1990. Od této doby došlo opět k výraznému poklesu objemu přepravovaného zboží a tedy i intenzity zatížení. Je proto žádoucí, při přepočtech, resp. posuzování provozuschopnosti mostů vycházet z údajů o zatížení, které lze očekávat v nejbližší časové etapě rozumné délky.

Nejspolehlivější údaje o skutečném provozním zatížení lze získat experimentální cestou, měřeními na reálné konstrukci. Sledováním provozu po delší dobu je pak možné získat statistické charakteristiky zatížení, vhodné pro aplikaci pravděpodobnostních metod, a to i v širším měřítku. Pro ověření těchto přístupů uskutečnili pracovníci DFJP měření napětí na vybraném železničním mostě s 24-hodinovým monitorováním provozu.

## Měření

Měření se uskutečnilo na značně frekventovaném mostě na trati Praha - Česká Třebová (km 270,366). Jedná se o ocelový most s plnostěnnými nýtovanými nosníky profilu „I“. Na obr. 1 je znázorněno dispoziční řešení mostní konstrukce s označením umístění snímačů. Celkem 8 tenzometrických drátkových snímačů (zn. Kyowa) bylo nalepeno poblíž středu rozpětí mostu na obou hlavních nosnících, jednom podélníku a jednom příčniku (vždy nahoře a dole), tak, aby zaznamenávaly především svislé účinky provozního zatížení. Vývody snímačů byly připojeny k zesilovací aparatuře Mikrotechna M 1000, jejíž výstupy byly zavedeny na měřicí kartu ADC 1216 firmy Adicom Praha osazenou do osobního počítače. Měření probíhalo vzorkovacím způsobem (frekvence odběru dat byla zvolena 70 Hz), s digitalizováním a ukládáním naměřených hodnot do paměti, resp. na diskety. Měření a ukládání dat bylo řízeno programem INMES téže firmy. Tento program také umožňuje vlastní zpracování signálů, grafické zobrazení průběhů napětí, základní statistickou analýzu jednotlivých měření a popřípadě dynamickou analýzu (spektrální analýza kmitání apod.), třídění rozkmitů napětí metodou rain flow a posouzení únavové životnosti pomocí standardních postupů.

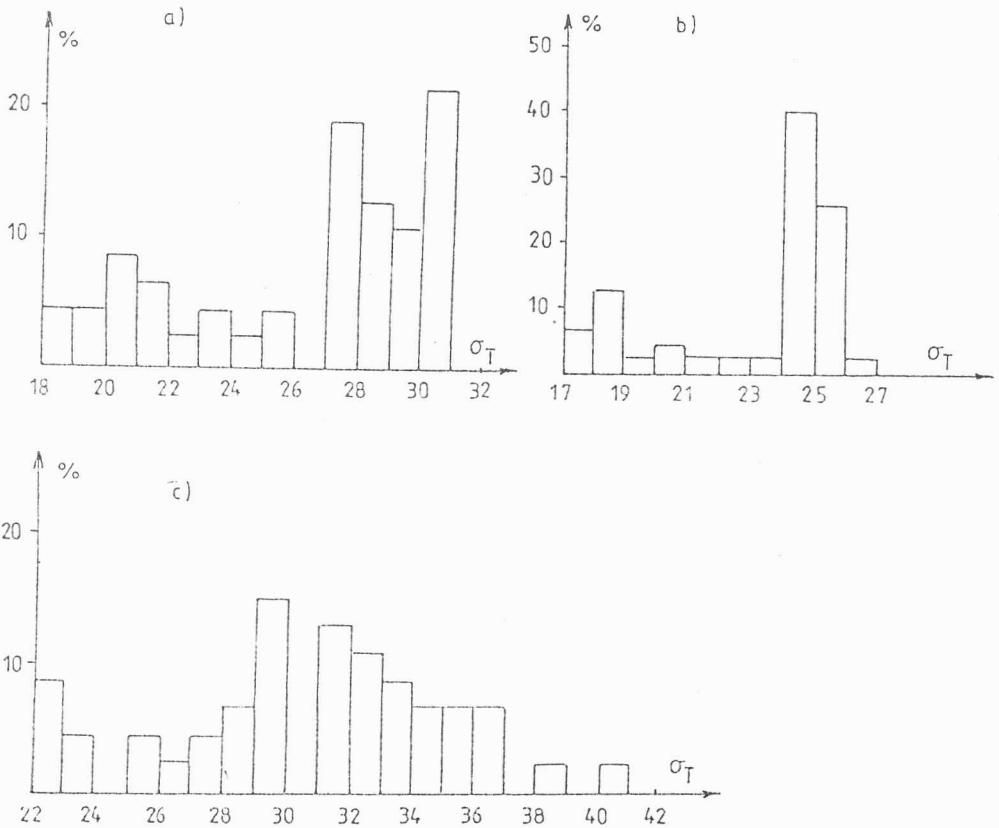


**Obr. 1** Dispoziční řešení sledované mostní konstrukce. *v* - tenzometrické snímače.

Cílem měření bylo jednak zjistit odezvu mostu na konkrétní zatížení, a jednak ověřit, do jaké míry existuje korelace mezi hodnotami napětí zjištěnými měřeními a hodnotami, které se získají statickým, resp. statickodynamickým výpočtem mostní konstrukce (metodou konečných prvků) s užitím údajů o zatížení, získaných pro odpovídající vlaky prostřednictvím programu Bevoz, resp. Cevis. Třetím cílem bylo získat dostatečné množství údajů pro statistickou analýzu zatížení. Měření (monitorování provozu) bylo proto prováděno po 24 hodin, od 6:43 hod. dne 22.5.1996 do 6:45 dne 23.5.96. V dalším uvedeme některé výsledky.

## Vyhodnocení

Celkem bylo zaznamenáno 97 průjezdů vlaků; z toho bylo 48 nákladních vlaků, 43 osobní vlaky, 2 speciální stroje a 4 lokomotivy [7]. Na obr. 2 jsou histogramy maxim odezvy provozního zatížení (vyhodnoceny jsou zde pouze nákladní vlaky) základních prvků nosné konstrukce sledovaného mostu.



**Obr. 2** Histogramy odezvy provozního zatížení: a) hlavní nosník, b) příčník, c) podélník

Statistické zpracování naměřených hodnot poskytlo následující základní statistické charakteristiky pro nejvíce namáhaná místa:

- hlavní nosník, dolní pásnice:  $m = 27,4$  MPa,  $s = 2,7$  MPa,  $v = 0,143$ ,  $a = -0,725$ ;
- příčník, dolní pásnice:  $m = 23,2$  MPa,  $s = 4,3$  MPa,  $v = 0,117$ ,  $a = -0,975$ ;
- podélník, horní vlákna:  $m = 30,8$  MPa,  $s = 4,3$  MPa,  $v = 0,140$ ,  $a = -0,243$ ,

kde  $m$ ,  $s$ ,  $v$ ,  $a$  jsou (výběrová) střední hodnota, směrodatná odchylka, koeficient variace a koeficient asymetrie rozdělení napěťové odezvy provozního zatížení sledovaných prvků.

Z uvedených údajů je zřejmé, že namáhání nosných prvků železničního mostu je velmi nízké. Absolutní hodnoty napětí však nejsou obecné a nelze z nich dělat závěry pro všechny podobné mostní prvky. Podstatnějším výstupem z hlediska spolehlivostního přístupu je poměr střední hodnoty odezvy provozního zatížení k nominální odezvě reprezentované normovým

návrhovým zatížením, tzv. bias factor  $\lambda$ . Pokud za nominální odezvu považujeme dynamické účinky ideálního zatěžovacího vlaku UIC-71, potom získáme následující hodnoty tohoto poměru:

hlavní nosník:  $\lambda = 0,46$  ; příčník:  $\lambda = 0,22$  ; podélník:  $\lambda = 0,28$ .

Jde o velmi nízké hodnoty, zejména u mostovkových prvků, kde jsou normové dynamické účinky velmi vysoké. Je však nutno mít na zřeteli dvě věci. Za prvé, most je navrhován nejen z hlediska odolnosti vůči přetížení, ale také z hlediska odolnosti vůči únavě při střídavém zatěžování. Při velmi dlouhé předpokládané době provozu, jako je tomu i v tomto případě, bývají proto návrhové (přípustné) hodnoty napětí velmi nízké. Za druhé, údaje využitě při uvedeném hodnocení představují pouze malý statistický soubor. Z histogramů je zřejmé, že rozdělení experimentálně zjištěných maximálních hodnot napětí, vyvozených jednotlivými projíždějícími vlaky, je značně nerovnoměrné a nelze je (s přijatelnou spolehlivostí) aproximovat žádným z běžných rozdělení pravděpodobnosti, jako je normální, exponenciální apod. Pokud chceme získat dostatečně věrohodné odhady maximálních napětí, která se mohou vyskytnout při provozu (jejichž znalost je nezbytná pro posouzení provozní zatížitelnosti), je nezbytné větší množství údajů. To platí i pro případ, kdy odhady očekávaných maximálních hodnot jsou založeny na neparametrických statistických metodách. Ty nevyžadují žádný apriorní předpoklad o charakteru rozdělení, avšak potřebují značně vyšší počet hodnot než metody parametrické.

Dlouhodobé monitorování provozu s tenzometrickým měřením napětí na mostní konstrukci by bylo velice nákladné. Experimentálně zjištěné hodnoty budou proto doplněny o hodnoty napětí stanovené výpočtem. V tomto případě budou do MKP modelu pro analýzu konstrukce zadávány nápravové síly (v poloze odpovídající vždy maximálnímu zatížení mostu), a to pro dostatečně velký počet vlaků. Tyto síly lze zjistit kombinací údajů o sestavách vlaků a hmotnosti jednotlivých vozů evidovaných v systému Bevoz, resp. Cevis, a údajů o geometrických charakteristikách vlaků (délky vozů, vzdálenosti náprav atd.), uvedených v katalogích vagónů a lokomotiv. První práce v tomto směru již byly podniknuty [8]; je ovšem ještě nutno ověřit korelaci mezi údaji získanými výpočtem a měřením. V současné době se připravuje zpřesněný výpočetní model pro zmíněný most.

*Tento příspěvek vznikl v souvislosti s řešením grantové úlohy GA ČR č. 103 / 97 / 0139.*

*Lektoroval: Doc. Ing. Pavel Marek, DrSc.*

*Předloženo v září 1997.*

#### Literatura

- [1] Šertler, H., Vičan, J.: Nové přístupy k hodnocení stávajících železničních mostů. Nová železniční technika, 1996 / 1, s. 9+12.
- [2] Šertler, H.: Nové přístupy k hodnocení stávajících železničních mostů. Konference Železniční mosty - správa a výstavba. Praha, prosinec 1995, s. 22+26.
- [3] Šertler, H., Vičan, J., Slavík, J.: Spolehlivost stávajících mostních konstrukcí. Konference s mezinárodní účastí „Nové požadavky na stavby a jejich spolehlivost“, Praha, 7.+8. červen, 1994.
- [4] Vičan, J., Šertler, J.: Hodnocení existujících mostů. Konference „Kovové konstrukce a mosty - současný stav a perspektivy rozvoje“. Terchová, 9.+10. 10. 1996, s.179+184.
- [5] Mrázik, A.: Teória spoľahlivosti ocelových konštrukcií. Veda, Bratislava, 1987.
- [6] ČSN 73 6205. Navrhování ocelových mostních konstrukcí. ÚNM, 1984.

- [7] Zikmund, J. - Šaroun, P.: Tenzometrické měření železničního mostu v Chocni. Zpráva TZ 170-96-341. ATEKO, Hradec Králové, 1996.
- [8] Macháček, L.: Analýza spolehlivosti a stanovení provozní zatížitelnosti mostní konstrukce v km 270,366 trati Č. Třebová - Pardubice. Diplomová práce, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, KDI, 1995.

### Resumé

## URČOVÁNÍ ODEZVY NA ZATÍŽENÍ A PROVOZNÍ ZATÍŽITELNOSTI STÁVAJÍCÍCH ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ

Hynek ŠERTLER, Jaroslav MENČÍK, Josef VIČAN

Pravděpodobnostní metody posuzování spolehlivosti konstrukcí spolu s lepší znalostí zatížení umožňují přesnější stanovení skutečné zatížitelnosti stávajících železničních mostů. Spolehlivá vstupní data pro tyto účely lze získat statistickou analýzou hodnot zjištěných na skutečných konstrukcích. V příspěvku je vysvětlena podstata posuzování spolehlivosti vycházející z provozní zatížitelnosti limitujícího mostního prvku, dále jsou uvedeny hlavní výsledky tenzometrických měření napětí na vybraném ocelovém mostě se sledováním provozu po 24 hodin, a naznačeny cesty pro získání většího počtu vstupních údajů.

### Summary

## STRESS MEASUREMENT AND DETERMINATION OF LIVE LOAD RATING FACTOR FOR EXISTING RAILWAY BRIDGES

Hynek ŠERTLER, Jaroslav MENČÍK, Josef VIČAN

The probabilistic methods for the evaluation of structural reliability, together with a better knowledge of the load, make possible a more accurate assessment of the live load rating factor for existing railway bridges. Reliable input data for these purposes can be obtained by statistical analysis of the values measured on real structures. The paper explains the principles of the reliability assessment based on the load rating factor for the limiting bridge element. Further, the results of the stress measurement in a steel railway bridge with 24-hour traffic monitoring are shown and discussed, and it is suggested how a larger amount of data can be obtained.

### Zusammenfassung

## SPANNUNGSMESSUNGEN UND ANALYSE VON BELASTBARKEIT EXISTIERENDER EISENBAHNBRÜCKEN

Hynek ŠERTLER, Jaroslav MENČÍK, Josef VIČAN

Die Wahrscheinlichkeitsmethoden für die Zuverlässigkeitsbeurteilung von Konstruktionen, zusammen mit besserer Kenntnis von Belastung, erlauben eine genauere Bestimmung der Belastbarkeit existierender Eisenbahnbrücken. Zuverlässige Angaben für diese Zwecke können gewonnen werden durch die statistische Analyse von den an realen Konstruktionen gemessenen Werten. In dem Beitrag wird die Methode der Zuverlässigkeitsbeurteilung erläutert, die aus der Betriebsbelastbarkeit des limitierenden Brückenelementes ausgeht. Weiter sind gegeben die Ergebnisse tensometrischer Spannungsmessungen auf einer Stahlbrücke mit 24-Stunden Monitoring des Eisenbahnbetriebes. Hinweise für die Gewinnung von Eingangsdaten ergänzen den Aufsatz.

Hynek Šertler, Jaroslav Menčík, Josef Vičan: