



COMPARISON OF
NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS
OF STRESS CONCENTRATIONS IN ORTHOTROPIC BRIDGE DECK

SROVNÁNÍ
NUMERICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZY
KONCENTRACÍ NAPĚTÍ V ORTOTROPNÍ MOSTOVCE

Roun P.

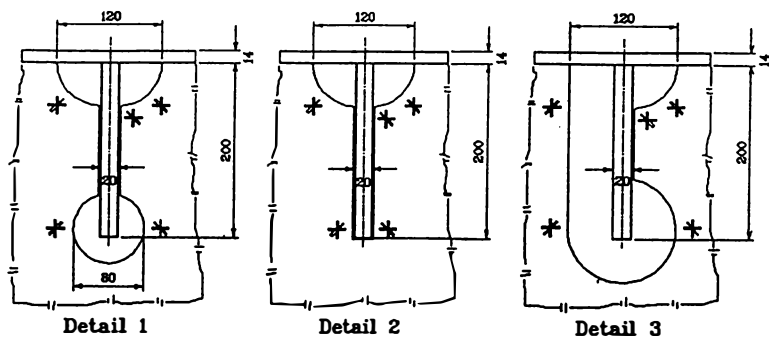
Various European railways boards use steel bridges with the orthotropic bridge deck on their railways. The mutual interconnection of longitudinal and transverse beams is one of the critical places of these structures. Three different details of this welded interconnection were tested. To determine the stress state in this region experimental strain gauges measuring and numerical finite element analysis were performed. Comparison of the results of both approaches was used to get more complex and more reliable image about behaviour of tested structure.

V současné době se ÚTAM AV ČR spolupodílí na mezinárodním výzkumném programu zaměřeném na zjištění únavové pevnosti železničních ocelových mostů s ortotropní mostovkou. Jedním z kritických míst těchto mostních konstrukcí je oblast styku tří konstrukčních prvků – vlastní desky mostovky, příčníku a podélné výztuhy. V rámci výzkumného programu je zkoumána odezva konstrukce v závislosti na konstrukčním uspořádání tohoto místa. Různými experimentálními a numerickými metodami jsou sledovány tři různé detaily průchodu podélné výztuhy příčníkem (obr. 1).

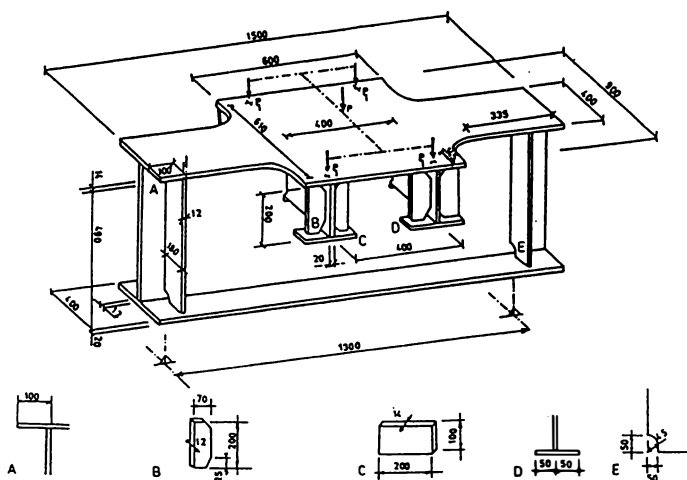
Tento příspěvek se zabývá srovnáním výsledků tenzometrických měření staticky zatěžovaných zkušebních modelů a numerických výpočtů metodou konečných prvků.

- Tenzometrická měření

Pro potřeby experimentálních měření byla vyrobena sada zkušebních modelů v měřítku 1:1 (obr. 2).



Obr. 1 Uvažované detaily průchodu podélné výztuhy příčnickem

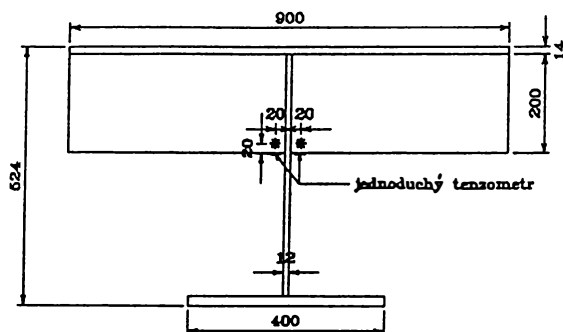


Obr. 2 Zkušební vzorek

Zkušební model představuje okolí styku tří výše jmenovaných konstrukčních prvků mostu. Modely byly provedeny ve třech variantách odpovídajících třem zkoumaným detailům průchodu podélné výtuhy příčnickem.

Při tenzometrických měřeních byly použity odporové tenzometry a to jednak tenzometrické růžice 0° – 45° – 90° , a tenzometry jednoduché. Tenzometry byly nalepeny do míst předpokládaných koncentrací napětí na jednotlivých konstrukčních prvcích mostu. Největší pozornost byla logicky věnována příčniku, který byl konstrukčním řešením svařovaného spojení s podélnou výztuhou nejvíce ovlivněn. Místa, do kterých byly na příčniku nalepeny tenzometrické růžice jsou ukázána na obr. 1. Na podélnou výztuhu

byly nalepeny různé téhož typu podle obr. 3. Růžice byly jak na příčník tak na podélnou výztuhu lepeny vždy z obou stran konstrukčního prvku. Na podélné výztuze byly navíc ještě použity dva jednoduché tenzometry na spodní hraně výztuhy (viz. obr. 3).



Obr. 3 Umístění tenzometrů na podélné výztuze

Zkušební model byl vystaven statickému zatížení zavaděnému postupně v hodnotách 0 – 500 – 1000 – 500 – 0 kN. Tento zatěžovací cyklus byl u každého zkušebního modelu třikrát opakován. Zatížení bylo rozloženo do čtyř působišť dle obr. 2. Rovněž způsob podepření vzorku je patrný z tohoto obrázku.

• Výpočet metodou konečných prvků

K výpočtu metodou konečných prvků byl použit programový systém ANSYS, který umožnil také velice přehledné a názorné grafické zpracování výsledků a tím snadné porovnání numerických výsledků s výsledky experimentu. Model konstrukce použitý při numerické analýze byl tvarově i rozměrově totožný s experimentálním vzorkem. Rovněž podepření vzorku a jeho zatížení bylo uvažováno shodně s experimentem. K vytvoření konečněprvkového modelu konstrukce byl použit stěnodeskový prvek se šesti stupni volnosti v každém uzlu. Podle potřeb geometrie konstrukce byl použit prvek buď čtyřúhelníkového nebo trojúhelníkového tvaru. S výhodou byla při vlastním výpočtu využita symetrie jak konstrukce tak i zatížení, což umožnilo počítat pouze se čtvrtinou řešené konstrukce. Na rozdíl od experimentálních měření bylo při výpočtech uvažováno zatížení pouze o jedné, nejvyšší, hodnotě – 1000 kN. Výpočtem byla získána řada údajů (deformace modelu, hodnoty normálových a smykových napětí po celém modelu, velikosti a směry hlavních napětí, velikost ekvivalentního napětí odpovídajícího Huber–Misese–Henckyho podmínce plasticity), které poskytly informace o chování vyšetřovaného styku desky mostovky, příčníku a podélné výztuhy.

• Srovnání obou postupů

Při porovnávání výsledků obou použitých postupů – tenzometrických měření a nu-

merické analýzy MKP – je třeba si uvědomit řadu aspektů, které toto srovnání ovlivňují. Jsou to především dvě skutečnosti. Konečněprvkový model v sobě nezohledňoval přítomnost svarových spojů na konstrukci. Tyto svary však ve svém okolí mění tuhost konstrukce a v neposlední řadě zanechávají v konstrukci zbytková pnutí. Oba jevy samozřejmě ovlivní rozložení napjatosti v okolí svarů. Druhým významným faktorem je problém tvarových imperfekcí. Numerický model je model naprosto pravidelného tvaru, konstantních tloušťek, ideálního napojení jednotlivých konstrukčních částí a ideálně centricky umístěného zatížení. Experimentální zkušební vzorek však zcela zákonitě ve všech těchto hlediscích vykazuje jisté tolerance. Nejvýznamnější je pravděpodobně problém neexcentrického zatížení, protože působíště zatížení jsou umístěna přímo nad podélnou výztuhu. Zatížení nepůsobící přesně ve střednicové rovině podélné výztuhy tak způsobí její boulení, které může být i velmi výrazné (tento případ nastal u jednoho zatěžovaného vzorku, kdy tenzometrické růžice na protějších površích podélné výztuhy naměřily výrazné rozdílné hodnoty).

Vlastní srovnání hodnot hlavních napětí a jejich směrů získaných tenzometrickými měřeními a metodou konečných prvků v týchž místech potvrzuje výše uvedenou hypotézu. Tenzometrické růžice na příčnicku (obr. 1) umístěné v blízkosti styku příčnicku a horní desky dávají hlavní napětí stejných směrů jako numerický výpočet, avšak jejich velikost je rozdílná. Naproti tomu ostatní růžice na příčnicku a rovněž růžice na podélníku naměřily hodnoty hlavních napětí odpovídající velikostí i směrem hodnotám vypočteným numericky. Větší odchylka v obou postupech se ještě objevuje u druhého detailu, kde byly v důsledku konstrukčního řešení průchodu podélné výztuhy příčnickem tenzometry rovněž v blízkosti svaru. Tato odchylka není však již tak výrazná jako odchylka v okolí svaru příčnicku a horní desky. Nepatrný rozdíl mezi experimentálními a numerickými výsledky ve svarech neovlivněných oblastech naznačuje, že numerický model dobře vystihuje chování skutečné konstrukce.

• Závěr

Souběžně provedená tenzometrická měření a numerické výpočty jednak vzájemně doplňují a ověřují výsledky získané jednotlivými postupy, a jednak ukazují možnost vytvoření spolehlivého numerického modelu reálné konstrukce. Tenzometrická měření napomohla odhalení slabších míst numerického modelu, který lze nyní upravit do takové podoby, aby jeho analýza přinesla reálný a spolehlivý obraz o chování skutečné konstrukce.

Ing. Pavel Roun

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR

Vyšehradská 49, 128 49 Praha 2