M. Čenský

FOTOELASTICIMETRICKÝ VÝZKUM NAPJATOSTI PILÍŘOVÉHO SEGMENTU SSŽ-FI

Moderní technologie výstavby segmentových mostů vyžaduje řešení řady problémů daných použitím poměrně složitých prvků extrémně zatížených. Navíc se často diametrálně liší způsob namáhání ve stadiu montáže od namáhání hotové konstrukce. Jelikož se většinou jedná o rozsáhlé stavby velké důležitosti, je vhodné ověřovat návrhy a výpočty také experimentálně. Proto se státní podnik Stavby silnic a železnic již řadu let obrací na naši fotoelasticimetrickou laboratoř se žádostí o spolupráci na výzkum napjatosti vybraných prvků navrhovaných konstrukcí.

Inovovaný pilířový segment SSŽ-FI je mohutný železobetonový prvek 3 m vysoký a 1,8 m široký, jehož zjednodušený tvar je patrný na obr. výsledků experimentálního výzkumu. Pro komplexní experimentální ověřování statického namáhání uvedeného segmentu byla provedena řada modelových výzkumů. Nejprve byl zhotoven rovinný model představující pilířový segment a z každé strany dva běžné segmenty. Spáry mezi jednotlivými segmenty byly vyplněny igelitovou folií odpovídající tloušťky, svislé síly byly aplikovány pákou přes staticky určitý roznášecí systém a předpínací síly byly vyvozeny lanky procházejícími po obou stranách modelu, napínanými pomocí šroubu. Velikost předpínací síly byla měřena optickým siloměrem. Na tomto modelu byl ověřen zejména vliv spar na přenášení sil mezi jednotlivými segmenty.

V další serii experimentálních výzkumů byla vyšetřována napjatost samotného pilířového segmentu při pěti stavech zatížení a podepření. Jako první případ, který chci podrobněji popsat, byl řešen metrový výřez v místech, kde působí v montážním stavu jednostranně horní a spodní předpínací síla 3800 kN. Působení již smontovaných segmentů bylo nahrazeno opřením. Model v měřítku 1:30 byl vyroben z opticky citlivého deskového materiálu z dovozu. Předpínací lana byla pro zatížení modelu nahrazena ocelovými strunami o průměru 1 mm. V modelu pro ně byly vyfrézovány z každé strany drážky 2,6 mm široké do hloubky 2 mm. Průběh drážek odpovídal umístění předpínacích lan ve skutečné konstrukci. V místě ukotvení lana byl umístěn půlváleček s drážkou, přes který struna přecházela zpět a oba její konce byly pak upevněny v napínacím zařízení s optickým siloměrem, opírajícím se o speciálně vyrobený pevný rám, v němž byl model umístěn. Zatížení a opření modelu bylo realizováno tak, aby odpovídalo matematickému modelu. Ve stěně i v žebru probíhaly volné kabely, v každém z nich působila síla, odpovídající 3800 kN ve skutečnosti, působení již smontované konstrukce bylo nahrazeno opřením v oblasti horní a dolní desky segmentu. Na desku modelující ložisko byl model volně položen a nebyl zajištěn proti možnosti nadzvednutí.

Na zatíženém modelu byly pak ve fotoelasticimetru FMB 52 v přímkově polarizovaném světle zakresleny křivky izoklinné, udávající směry hlavních napětí a v monochromatickém sodíkovém světle kruhově polarizovaném byly zakresleny obrazy izochromat celých a poloviční řádů, doplněné měřením dalších potřebných hodnot metodou goniometrické kompenzace (obr.1.). Z obrazce izoklinných křivek byl běžnou grafickou metodou získán celkový obraz izostat (obr.2.), určující v každém bodě modelu směry hlavních napětí.

Izochromaty představují průběhy konstantních hodnot rozdílů hlavních napětí $\sigma_1 - \sigma_2$, respektive maximálních smyků $\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$, kterážto hodnota je vhodná pro porovnání s výsledky matematického řešení. Z hodnot izochromat na nezatíženém okraji modelu lze přímo určit průběhy obvodových napětí ve směru tečny k obvodu modelu (obr.3.), neboť napětí ve směru normály je nulové.

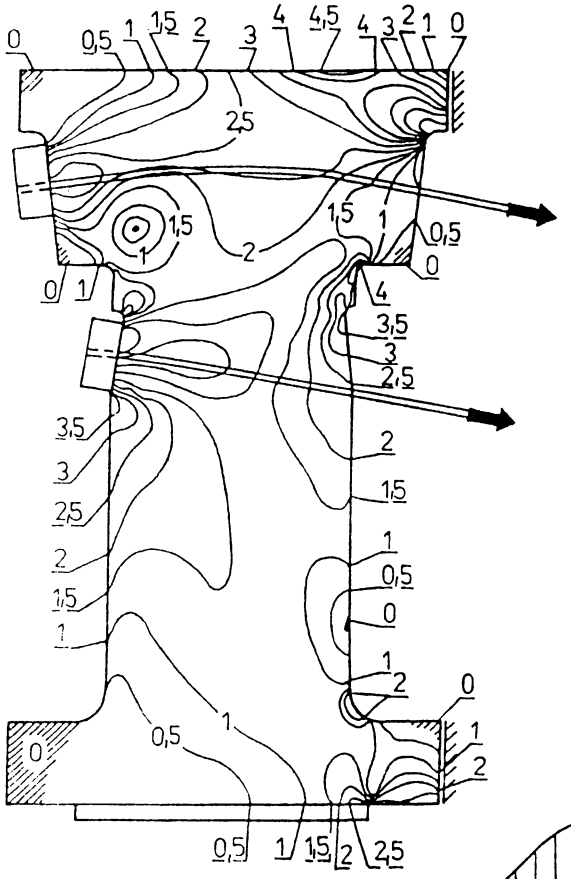
Za použití teorie modelové podobnosti vyjde na základě měřítka modelu, tloušťky modelového materiálu, jeho optické citlivosti a použitého zatížení hodnota rozdílu hlavních napětí v místě izochromaty n-tého řádu $\sigma_1 - \sigma_2 = n.4,13$ MPa na skutečné konstrukci při daném zatížení. Obdobně pro hodnoty maximálních smyků platí, že v místě izochromaty n-tého řádu $\tau_{max} = n.2,06$ MPa.

Význam tohoto výzkumu spočívá zejména v tom, že podává obraz napjatosti po celé ploše modelu, umožňuje velmi dobře vystihnout způsob zatížení a vliv přenášení sil i při složitých případech, jako je postupný přenos síly z lana do betonové konstrukce a i při zjednodušeném modelu dává spolehlivé kvalitativní a orientačně i kvantitativní výsledky.

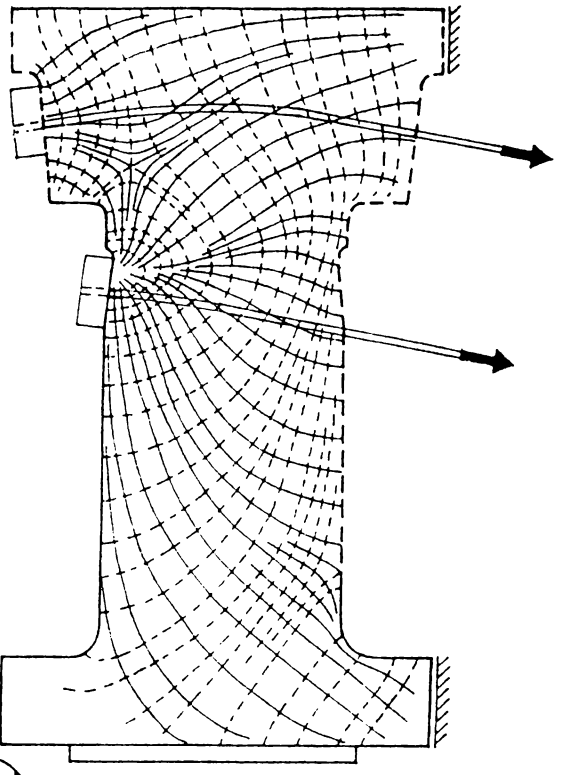
Dalším důležitým a teoreticky obtížně řešitelným prvkem používaným v konstrukcích segmentových mostů je deviátor. Je to železonetonový blok pevně spojený se segmentem, sloužící ke změně směru předpínacích lan. Předpínací lano volně procházející segmentem prochází deviátorem v trubce o poloměru křivosti 3 m. Síla v laně je 3800 kN a změna směru je až 13°.

Pro zjištění způsobu přenášení síly do deviátoru a rozložení napětí byl fotoelasticimetrickou metodou vyšetřován nejprve podélný řez deviátorem. Z opticky citlivého materiálu tloušťky 10 mm byl vyroben model v měřítku 1:15. Předpínací lano bylo vedeno drážkou 2 mm hlubokou, vyfrézovanou symetricky z obou stran jako kružnice o poloměru 200 mm. 2 mm tlusté ocelové lanko bylo umístěné v drážce a napínané zařízením opatřeným optickým siloměrem.

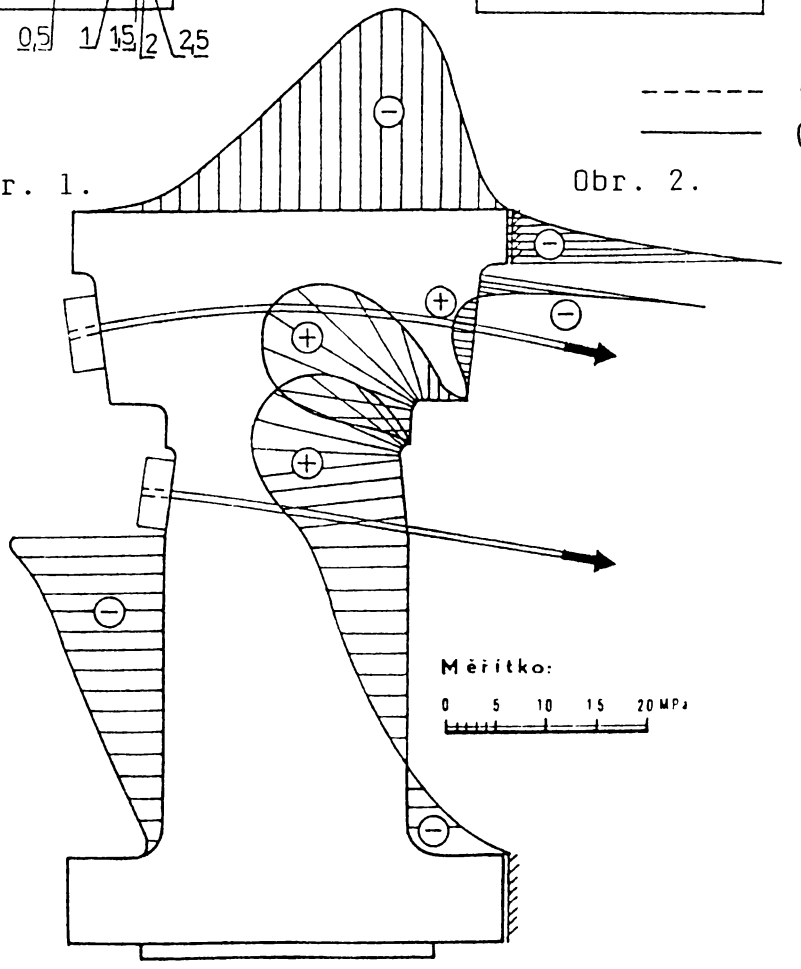
Metodou rovinné fotoelasticimetrie byly získány celkové obrazy izochromat pro dvě varianty změny úhlu předpínacího lana. Ukázalo se, že rozložení namáhání na kontaktu lana s deviátorem je velmi rovnoměrné a že maximální napětí jsou v koření deviátoru v přechodu do spodní části segmentu. Lze však předpokládat, že tyto koncentrace budou ve skutečnosti výrazně menší, neboť značná část síly bude přecházet v příčném směru přímo do masivní stěny segmentu, se kterou tvoří jeden celek.



Obr. 1.



Obr. 2.



Obr. 3.

Jelikož se tato skutečnost nemohla na rovinném modelu projevit, byl na její ověření zkoumán model příčného řezu deviátorem. Model v měřítku 1:15 byl zatěžován v otvoru průchozí trubky prostřednictvím válečku o průměru nepatrně menším, než je průměr otvoru. Model byl podepřen v dostatečné vzdálenosti od zkoumané oblasti, aby byl vliv způsobu podepření zanedbatelný. Byly opět získány celkové obrazy izochromat pro dvě varianty, a to pro průřez v místě s nejmenší a největší vzdáleností otvoru od povrchu deviátoru. I v těchto případech jsou výrazná maxima v kořeni deviátoru v místě přechodu do dna segmentu.

Stručně popsaný komplex výzkumů pomohl projektantům objasnit celou řadu problémů při maximálně náročném řešení výrazně exponované konstrukce a umožnil ověřit správnost předpokladů početního řešení. Hlavní význam fotoelasticimetrické metody spočívá v tom, že podává obraz rozložení napětí po celé ploše modelu a ukazuje názorně vlivy jednotlivých faktorů a místa maximálních koncentrací. Důležité je, že i při řešení problémů metodou rovinné fotoelasticimetrie lze při správně navrženém modelu a způsobu zatížení velmi dobře postihnout i vlivy faktorů, matematicky obtížně formulovatelných, jako jsou zejména kontaktní problémy. Formulaci početního řešení lze pak na základě experimentálně získaných výsledků vhodně korigovat.

Seznam literatury: M. Milbauer - M. Perla: Fotoelasticimetrické přístroje a měřicí metody, NČSAV 1959,
Čenský M. - Kocian V.: Fotoelasticimetrický výzkum napjatosti inovovaného pilířového segmentu SSŽ-FI, zpráva FS-ÚL 100/89.

Ing. Miloš Čenský, CSc. - stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6