

**PHOTOELASTIC MEASURING OF EFFECT OF THE POSITION AND THE MODE
OF SUPPORTING OF THE EXTENSIONAL BRIDGE ON THE STRESS
DISTRIBUTION IN CROSS SECTION OF THE BRIDGE****FOTOELASTICIMETRICKÉ VYŠETŘENÍ VLIVU MÍSTA A ZPŮSOBU
PODEPŘENÍ VYSOUVANÉHO MOSTU NA ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ
V PŘÍČNÉM ŘEZU****Čenský M.**

The present work is concerned with the photoelastic measuring of the state of stress of the cross section over the support of extensional bridge. A stress distribution has been obtained in two variants of loading, each at four positions of the support. The first variant represents the effect of loading distributed proportionally to the mass of cross section, while in the second variant the whole mass is concentrated into the centroids of both halves of cross section. Positions of support are 0, 150, 300 and 600 mm from the bottom edge of the cross section.

I. Úvod

V návaznosti na dlouholetou spolupráci s pracovníky rozvoje Staveb silnic a železnic, a.s. a našim oddělením modelových metod katedry stavební mechaniky stavební fakulty ČVUT jsme byli požádáni o posouzení vlivu místa a způsobu podepření vysouvaného mostu na rozložení napětí v příčném řezu. Vzhledem k časovým potřebám dodání výsledků se předpokládalo použití rovinné fotoelasticimetrie. Jelikož se ve skutečnosti jedná o velmi složitý problém prostorové napjatosti konstrukce vysouvaného mostu při jeho montáži, jehož prostorové řešení by bylo časově i náklady mnohonásobně náročnější, přistoupili jsme k vyšetření příčného řezu nad podporou s tím, že není možné stanovit spolehlivě kvantitativní hodnoty namáhání v daném řezu, ale je možné velmi spolehlivě stanovit a posoudit vliv způsobu podepření na rozložení napětí.

Za tím účelem bylo na rovinném modelu zjištěno rozložení napětí při čtyřech variantách podepření, každé pak pro dva různé způsoby rozložení zatížení v daném průřezu. Idea našeho řešení spočívala ve zjištění vlivu polohy podepření mostu tím, že byly vyřešeny extrémní možnosti uložení podpory od úplného okraje až do vzdálenosti 600 mm. Abychom zahrnuli do řešení možné případy přenosu zatížení vlastní hmotnosti do vyšetřovaného průřezu, zvolili jsme dva možné extrémy, a to nejprve přenos z celé převislé části rovnoběžné s osou mostu do vyšetřovaného průřezu a druhý extrém působení zatížení v těžších polovin průřezu. Skutečnost musí být mezi těmito dvěma extrémy, přičemž lze předpokládat, že bude blíže druhému variantě.

Předností fotoelasticimetrické metody je názornost získaných výsledků. Celkové obrazy izochromat dávají jasnou představu o vlivu jednotlivých faktorů na rozložení napětí po celé ploše průřezu, zejména o místech maximálních koncentrací napětí.

II. Model a zatížení

Model byl vyroben v měřítku 1:50 z desky z epoxidové pryskyřice tloušťky 7 mm, jejíž optická citlivost byla změněna $K' = 1,8 \text{ MPa}$.

Podle teorie modelové podobnosti je třeba při měřítku 1:n redukovat síly v poměru $1:n^2$. V našem případě je veškeré zatížení dáno pouze vlastní hmotností konstrukce a montážního zařízení. Při fotoelastické metodě je třeba zatížení vlastní hmotností nahradit vhodně určenou soustavou vnějších sil.

Celková udaná hmotnost je $2 \times 7500 = 15\,000 \text{ kN}$, takže pro získání skutečného namáhání je třeba model zatížit celkovou silou $P = 15\,000 : 2\,500 = 6 \text{ kN}$. Vzhledem k rozdílným modulům pružnosti konstrukčního a modelového materiálu je však třeba provádět měření při zatížení přiměřeně menší a výsledky přepočítat.

Jak bylo konstatováno již v úvodu, byly zvoleny dvě varianty zatížení. V první variantě byly pro obě půlky průřezu stanoveny plochy jednotlivých částí průřezu horní desky a v jejich těžištích byly vypočteny velikosti jim odpovídajících sil. Zbytek do celkového zadaného zatížení byl umístěn do těžiště zbytku průřezu. Při druhé variantě byl model zatížen pouze dvěma silami, působícími v těžištích polovin průřezu.

Měření varianty a) bylo prováděno při celkové síle 226 N, tedy $6\,000 : 226 = 26,55$ krát menší než vypočtené, varianty b) při síle 797 N, tedy $6\,000 : 797 = 7,53$ krát menší. Tloušťka modelu 7 mm představuje skutečnou šířku průřezu 350 mm, tedy $600 : 350 = 1,714$ krát menší než je hloubka opěry (600 mm). Z toho vyplývá, že 1Δ (izochromata 1. řádu) značí při variantě

$$a) \frac{1,8 \cdot 26,55}{1,714} = 27,88 \text{ MPa}$$

$$b) \frac{1,8 \cdot 7,53}{1,714} = 7,91 \text{ MPa}$$

Zde je třeba opět upozornit na to, že nepůjde o skutečné hodnoty, neboť odporující šířka průřezu se bude zvětšovat se svislou vzdáleností od podpory a v horní desce bude podstatně větší.

Pro obě varianty zatížení byl model proměřen při čtyřech polohách podpor, a to:

- 1) na kraji spodní hrany průřezu
- 2) 3 mm od hrany (představuje 150 mm)
- 3) 6 mm od kraje (představuje 300 mm)
- 4) 12 mm od kraje (představuje 600 mm ve skutečnosti).

III. Měření na modelu

Model byl podle zadání usazen do zatěžovacího rámu na podložku se sklonem 1,5 %, takže horní hrana byla skloněna 2,9 %. Pákov 800 : 165 byl zatížen podle uvedených schémat jednotlivých variant. Ve fotoelastickém FMB 52 byly nejprve v bílém světle určeny izochromaty nultých řádů (černé pruhy a body) a kompenzaci stanoveny tažené a tlačené oblasti na obvodě průřezu. Dále byly v monochromatickém sodíkovém světle kruhově polarizovaném proměřeny a vyfotografovány izochromaty celých řádů a v polarizaci doplňující izochromaty polovičních řádů. Obdobným způsobem bylo vyšetřeno všech osm uvedených případů. Při zatížení varianty a) byla zatěžovací síla 226 N, při zatížení varianty b) pak 797 N. K této volbě zatížení jsme byli nuceni přistoupit proto, že obě varianty zatížení vyvolávaly při stejné zatěžovací síle velice rozdílný počet izochromat. Tato skutečnost svědčí pro již dříve vyslovenou domněnku, že skutečností bude mnohem blíže varianta b) nežli varianta a).

IV. Vyhodnocení měření

Z fotografií izochromat a subjektivního měření byly pro jednotlivé varianty zakresleny celkové obrazy izochromat. Isochromaty jsou čáry, v nichž rozdíly hlavních napětí $\sigma_1 - \sigma_2$ jsou konstantní. Celkový obraz izochromat je tedy vrstevnicové pole velikosti rozdílů hlavních napětí a udává v každém bodě hodnotu maximálního smyku, neboť $\max \tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$.

Na nezatiženém okraji mají hlavní napětí směr totožný se směrem tečny a normály k obvodu modelu, při čemž hlavní napětí kolmé k okraji je nulové, takže hodnota izochromaty udává přímo velikost normálového napětí ve směru tečny k obvodu - tedy obvodového napětí.

Jak bylo uvedeno již v II. kapitole udává izochromata prvního řádu při variantě a) hodnotu napětí 27, 88 MPa a při variantě b) 7,91 MPa. Na základě těchto hodnot byly pro všechny uvažované případy vyneseny průběhy hlavních napětí na celém vnitřním obvodu průřezu. Pro všechny případy jsme úmyslně volili stejné měřítka, aby porovnání bylo názorné. Znovu musíme důrazně upozornit na skutečnost, že uvedené hodnoty jsou vyřešeny pro případ, že by celé zatížení, tj. 15 000 kN působilo na průřez šířky 600 mm. To platí pochopitelně pouze v místě podložky. Dále se bude odporující průřez rozšiřovat - podrobnější rozbor je uveden v závěru, na který zde upozorňujeme.

Ačkoliv původně měl být zkoumán zejména vliv místa a způsobu uložení na horní desku mostovky, stojí za povšimnutí i značný nárůst tlaků ve stěnách průřezu při posouvání podpory dále od kraje spodní hrany nosníku.

Velmi názorný obraz o rozložení napětí podávají obrazy izochromat, které na nezatižených okrajích udávají přímo velikost napětí a po celé ploše ukazují místa maximálních koncentrací.

Pro názorný přehled vlivu vzdálenosti podpory od kraje nosníku na velikost namáhání jsou hodnoty maximálních tahů v horní desce a tlaků ve svislých trámech pro různé vzdálenosti podpory uvedeny v tabulce I.

Tabulka I

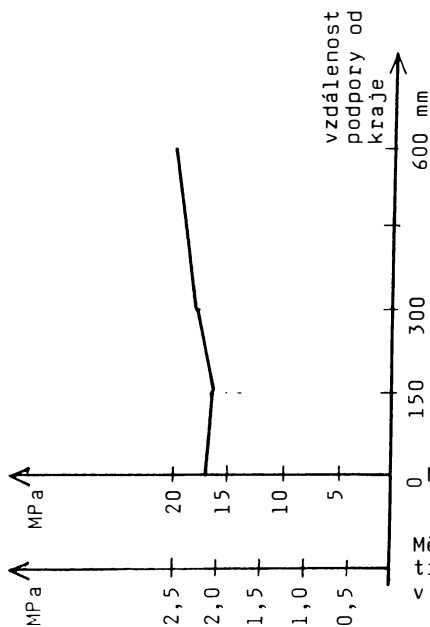
Vzdálenost podpory	Tahy v horní desce		Tlaky ve svislém trámu	
	varianta a)	varianta b)	varianta a)	varianta b)
0	16,94 MPa	0,44 MPa	82 MPa	63 MPa
150 mm	16,17 MPa	2,85 MPa	95 MPa	63 MPa
300 mm	17,71 MPa	4,60 MPa	102 MPa	94 MPa
600 mm	20,02 MPa	5,69 MPa	110 MPa	127 MPa

Stejně závislosti jsou vyneseny v grafech na obrázcích 1 a 2 pro variantu a) a b).

V těchto grafech je vedle pravého měřítka, které udává hodnoty pro šířku průřezu 600 mm uvedeno ještě měřítka za předpokladu rozložení napětí od podložky pod 45°. Varianta a) - obr. 1 - ukazuje, že posunutím podpory 300 mm od kraje se tahy zvýší přibližně o 12 % a při 600 mm o 23 %. Tlaky pak o 25 % a 36 %. Znovu připomínáme, že vliv zatížení aplikovaný při variantě a) se bude podílet jen velmi malým procentem. U varianty b) - obr. 2, který je mnohem blíže skutečnosti, se posunutím podpory ze 150 mm na 300 mm zvětší tahové namáhání o 60 % a na 600 mm o 100 %. Tlaky ve svislém trámu pak při stejném posunutí podpory o 51 % a více než 100 %. Tyto hodnoty jsou vypočteny vzhledem ke vzdálenosti podpory 150 mm od kraje, neboť umístění podpory na kraji je z praktických důvodů vyloučeno.

V A R I A N T A a)

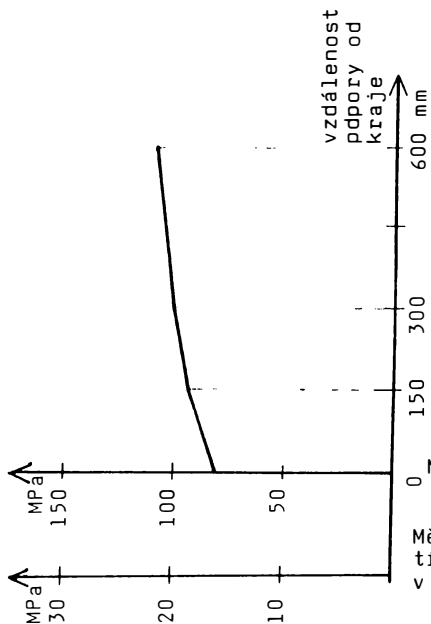
Maxima tahů na spodní hraně horní desky



Měřítko pro šířku 600 mm

Měřítko pro redukované napětí za předpokladu roznášení v podélném směru pod 45° .

Maxima tlaků na vnitřní straně svislého trámu



Měřítko pro šířku 600 mm

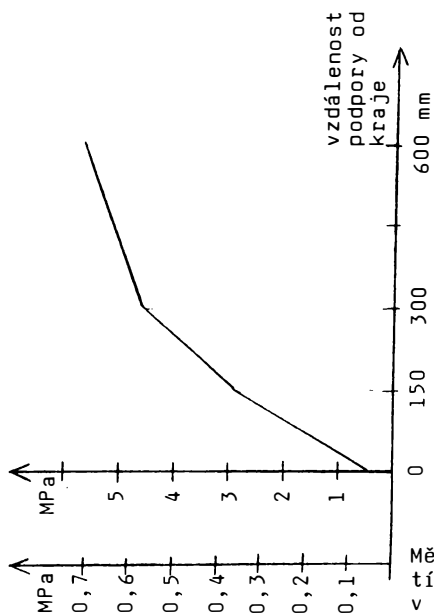
Měřítko pro redukované napětí za předpokladu roznášení v podélném směru pod 45° .

Obr. 1.

Grafy závislosti maxim tahů a tlaků na vzdálenosti podpory od kraje-varianta a).

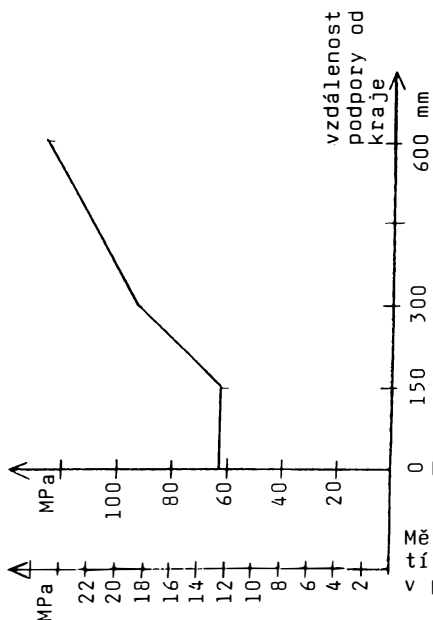
V A R I A N T A b)

Maxima tahů na spodní hraně horní desky



Měřítka pro redukované napětí za předpokladu roznášení v podélném směru pod 45° .

Maxima tlaků na vnitřní straně svislého trámu



Měřítka pro redukované napětí za předpokladu roznášení v podélném směru pod 45° .

Obr. 2.

Grafy závislosti maxim tahů a tlaků na vzdálenosti podpory od kraje - varianta b).

V. Závěr

Úkolem této fotoelasticimetrické studie bylo zjištění vlivu místa a způsobu podepření vysouvaného mostu na rozložení napětí v příčném řezu. Vzhledem k časovým požadavkům bylo určeno použití rovinné fotoelasticimetrie. Problémem bylo vystižení způsobu přenesení zatížení hmotnosti celého mostu a na něm umístěného technologického zařízení do dvou podpor 600 x 600 mm na pilířích. Abychom obsáhli celý rozsah možností tohoto přenesení, jehož způsob zatím neznáme, rozhodli jsme se vyřešit dva extrémní případy a to a) případ, že se hmotnost celého mostu přenesla rovnoběžně s podélnou osou mostu do vyšetřovaného řezu nad podporou a b) případ, že se hmotnost celého mostu soustředí do těžiště polovin příčného řezu již před podporou, takže příčný řez bude zatížen pouze v těchto dvou bodech.

Skutečnost bude pochopitelně někde mezi těmito případy, protože hmotnost z nejbližšího okolí vyšetřovaného řezu se ani nemůže přenést hned do těžiště, ale naopak vzdálenější části konstrukce již budou nad podporou působit prakticky v těžišti. Tuto úvahu potvrzují i výsledky výzkumu, protože napětí při variantě a) by konstrukce nemohla vydržet. Pochopitelně bez jakéhokoliv potvrzení, pouze na základě prováděných výzkumů a tříměsíčního obírání se touto problematikou jsem přesvědčen, že varianta a) se bude podílet na napjatosti příčného řezu nejvýše deseti procenty, zatímco nejméně 90 % připadne na variantu b).

Dalším problémem je určení míry platnosti velikostí napětí, zjištěných na rovinném modelu příčného řezu nad podporou o šířce 600 mm. Vliv vzdálenosti podpory od kraje je zjištěn jednoznačně a vyplývá jasně z tabulky 1 a uvedených grafů s přihlédnutím ke skutečnostem uvedeným v předcházejícím odstavci. Pokud jde o velikost namáhání, je měřítko uvedené pro šířku příčného řezu rovnou 600 mm použitelné jednak k porovnání velikostí hodnot napětí jednotlivých řešených případů, jednak k možnému přepočtu za libovolného předpokladu rozložení namáhání směrem vzhůru od podpory. Pro nejjednodušší předpoklad rozložení pod úhlem 45° jsou na grafech uvedena příslušná měřítka.

Nejobsažnějším zdrojem informací o rozložení napjatosti v příčném řezu při jednotlivých stavech podepření a zatížení jsou však celkové obrazy izochromat. I když bohužel není tento druh informací příliš vžitý, jsme přesvědčeni, že může být pro každého projektanta velkým přínosem, neboť podává názorný obraz rozložení namáhání po celé ploše příčného řezu. Jako příklad doporučuji pozornosti obrazy izochromat ve svislých trámech při variantě b) při posouvání podpory od kraje. Výrazné zvyšování namáhání je dobře patrné jak na fotografiích izochromat tak na jejich celkových obrazech. Rovněž vliv sklonu celého mostu a horní mostovky je dobře na obrazech izochromat patrný.

Ing. Miloš Čenský, CSc.,

Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice

tel.: 2435 4375, fax: 24310775