

PŮDORYSNĚ ZAKŘIVENÁ VISUTÁ A ZAVĚŠENÁ KONSTRUKCE

1 Úvod

Na Ústavu betonových a zděných konstrukcí VUT v Brně se v současné době zabýváme vývojem zavěšených a visutých půdorysně zakřivených štíhlých lávek pro pěší. Tato tematika je nyní v mostním stavitelství poměrně aktuální, přičemž zavěšené a visuté konstrukce, které jsou zavěšené pouze na jedné straně příčného řezu, již tak známé nejsou a zaslouží si hlubší porozumění.

V současnosti se stále více vyskytují konstrukce ať už visuté nebo zavěšené, které jsou zakřivené nejen v podélném směru, ale i v půdoryse. Mostovka může být zavěšena buď na obou stranách, nebo pouze na vnitřním či vnějším okraji průřezu. Dále může a nemusí být mostovka doplněna předpínacími kabely, jejichž trasování umožňuje lépe vyrovnat účinky stálých zatížení. Uspořádání je závislé na místních podmínkách, poloměru zakřivení a požadovaném rozpětí.

Pro lepší porozumění těchto konstrukcí byly analyzovány dvě varianty lávek pro pěší: zavěšená a visutá. Z analýz těchto konstrukcí vyplývá, že nosná konstrukce lávky s mostovkou půdorysně zakřivenou a zavěšenou pouze na vnitřním okraji, může velmi dobře přenášet běžné zatížení působící na lávkách, jak pro prosté zavěšení, tak i pro použití visutého lana ve variantě vnitřní. Teoretické poznatky je však vhodné experimentálně ověřit a proto bylo rozhodnuto o vytvoření jediného fyzikálního modelu, který v sobě zahrnoval jak variantu zavěšené lávky, tak i lávky visuté.

Tento příspěvek popisuje přípravu, provedení a výsledky tohoto fyzikálního modelu.

2 Modelová podobnost

Při řešení konstrukcí na modelech obecně měníme geometrické rozměry skutečné konstrukce i velikost vnějších sil. Vzhledem ke skutečnosti, že byl pro model použit stejný materiál jako na skutečné konstrukci, použijeme fyzikální podobnost, tj. napětí na modelu odpovídá napětí na skutečné konstrukci. Z principů podobnosti dále vyplývá, že má-li být dosaženo stejných napětí na modelu, jako na skutečné konstrukci, je nutné provést tzv. zvýšení stálého zatížení (balastní zatížení) v příslušném poměru za předpokladu zachování ostatních případů podobnosti.

Volba měřítka definující celkovou velikost modelu pak závisí například na velikosti zkušební haly. Pro studované konstrukce s půdorysnými rozměry cca 64×64 m bylo zvoleno měřítko $M = 10$ (1:10), což znamená, že konstrukce byla zmenšena 10× oproti skutečnosti na modelový rozměr $6,4 \times 6,4$ m.

3 Popis konstrukce modelu

Model lávky o rozpětí 6,0 m je situován v půdorysném oblouku o poloměru 3,2 m (**Obr. 1**). Model spojuje variantu zavěšenou a visutou v jeden celek, přičemž mostovka vyplňuje úhel

a)

N_s , $V_s = G + G_z$, H_s , r , H_{ECI} , h_{ECI} , T_{hEC} , M_v , G , h_{EC}

$H = H_s + \Sigma H_{ECI}$
 $M_H = H_s \times h_s + \Sigma H_{ECI} \times h_{ECI}$
 $M_H = M_v = V_s \times r = (G + G_z) \times r$

b)

Zábradlí
Externí kabel
Spřáhovací prvek
Externí kabel
Trubka Ø63/3.6
Závaží

Příčník tl. 4 mm

130 270 400

20 110 173 25 63 18

Na **Obr. 2a** je uvedeno působení sil v příčném řezu mostovky. Z obrázku je zřejmé, že tíha mostovky mezi dvěma závěsy včetně modelové zátěže $G+G_z$ je přenášena svislou složkou síly závěsu V_s . Moment od této dvojice svislých sil je vyrovnán součtem momentů

vodorovných sil H_i působících ke středu smyku (Shear Center SC). Vodorovné síly H_i jsou působením radiálních složek vnějších přepínacích kabelů a také vodorovnou složkou síly v závěsech.

4 Postup výstavby

Model byl postaven ve Sdružených laboratořích pro zkoušení nosných konstrukcí Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí. Vlastní práce na modelu byly prováděny pracovníky a doktorandy Ústavu betonových a zděných konstrukcí ve spolupráci s Ústavem stavebního zkušebnictví.

Během listopadu a prosince 2010 byly vyrobeny ve specializované zámečnické dílně všechny ocelové části modelu - mostovka, pylon, všechny závěsy a spojovací prvky mezi visutým lanem a závěsy. Vidličky pro spojení závěsů s mostovkou a visutým lanem a příslušenství k nim byly zapůjčeny od firmy Macalloy, která dodala i visuté lano - jednopramenné vinuté lano 1 x 19 o průměru 16 mm.



Obr. 3 Betonáž kotevního bloku



Obr. 4 Bednění mostovky - sřahovací prvky

Práce na vlastní montáži modelu započaly v lednu 2011 a díky velmi pečlivé přípravě trvaly pouze 5 týdnů včetně veškerých bedněních a vyztužovacích prací a betonáže.

Základ modelu tvořily 2 základové betonové bloky, které se osadily do projektované pozice. Bloky svými rozměry zajišťují také dostatečnou stabilitu celého modelu v příčném směru. Pro zajištění stability v podélném směru byly bloky mezi sebou v horní části spojeny ocelovým profilem HEB 200 a v dolní části bylo předepnuto předpínací lano typu monostrand průměru 12,5 mm (systém táhlo a vzpěra).

Po vyrobení a dovozu ocelové konstrukce mostovky a pylonu byla provedena její montáž na základové bloky. Ocelová trubka mostovky byla montážně podepřena na každé straně pomocí tří stojek.

Poté bylo aktivováno visuté lano. Při aktivaci visutého lana se lano několikrát zatížilo a odlehčilo s průběžným sledováním napětí a deformace. Aktivace skončila ustálením vztahu mezi napětím a deformací podle Hookova zákona.

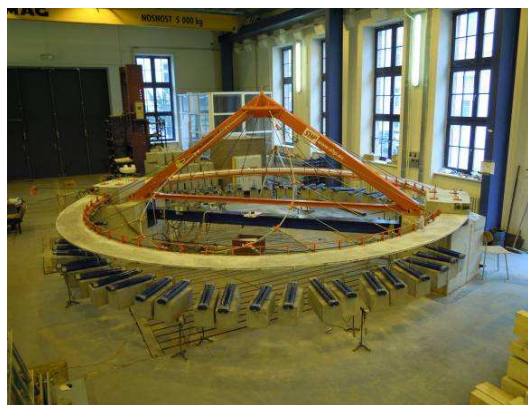
Aktivované visuté lano se spolu se závěsy osadilo na model a začaly práce na bednění, výztuži a betonáži kotevních bloků (**Obr. 3**). Kotevní bloky byly umístěny na základových blocích na tvrdé pryži, která umožnila při odstraňování modelu snadnější demontáž.

Po vytvrdnutí betonu kotevních bloků se provedlo napnutí kabelů zábradlí na obou polovinách modelu na 50% jejich finální síly.

V další fázi výstavby bylo na model zavěšeno závaží, které dle modelové podobnosti doplňuje stálé zatížení modelu. Závaží bylo tvořeno betonovými kvádry a dvěma ocelovými tyčemi. Poté byly rektifikovány závěsy a visuté lano tak, aby byla mostovka ve vodorovné poloze. (poloha mostovky byla měřena pomocí nivelačního přístroje).



Obr. 5 Betonáž mostovky



Obr. 6 Konstrukce hotového modelu

Další náročnou operací bylo osazení bednění mostovky včetně náběhů u podpor (**Obr. 4**). Mostovková deska nebyla, díky tloušťce 20 mm a v oblasti nad příčníky pouze 16 mm, vyztužena klasickou betonářskou výztuží, ale výztuží rozptýlenou. Rozptýlenou výztuž tvořily na visuté straně ocelové drátky (drátkobeton) a v zavěšené části plastová vlákna (vláknobeton). Deska byla ošetřována po dobu 10 dní. Díky tomuto postupu nevznikla vlivem smršťování žádná trhлина a deska tak byla homogenní.

Na závěr byly předepnuty kabely mostovky a předpínací kabely vedené v zábradlí na finální síly. Model lávky byl několikrát zatížen a odtížen nahodilým zatížením střídavě na obou stranách. Tento postup umožnil ustálení průhybů a dosednutí všech částí modelu. Výstavba modelu byla ukončena dne 18.2.2011.

5 Osazení modelu měřicí technikou

Osazení modelu měřicí technikou bylo prováděno současně s montáží modelu. Pro měření poměrných přetvoření bylo použito odporových tenzometrů. Tenzometry byly osazeny ve čtvrtinách na betonovou desku a ocelovou trubku mostovky vždy nahoře a dole. Dále byly tenzometry osazeny všechny závěsy, visuté lano a pata ocelového pylonu. Síly v předpínacích lanech byly sledovány kombinací ME snímačů a siloměrů osazených na začátku a na konci předpínacích lan.

Měření průhybů konstrukce modelu bylo zajištěno potenciometrickými snímači, které byly instalovány po odstranění provizorního podepření mostovky (před osazením dodatečného závaží). Měřičské řezy byly zvoleny ve čtvrtinách modelu, 3 řezy na zavěšené a 3 řezy na visuté variantě. V každém měřickém řezu byl měřen posun na obou koncích příčného řezu, tj. na spodní části ocelové trubky mostovky a na konzolovém okraji ocelových příčníků mostovky.

6 Zatěžovací zkoušky modelu a výsledky

6.1 Statická zatěžovací zkouška

Na dokončeném modelu byly nejprve provedeny základní zatěžovací zkoušky ověřující jeho funkčnost a správnost vypočtených výsledků ze statické analýzy konstrukce. Pro obě části modelu (každou polovinu zvlášť) byly uvažovány 4 zatěžovací stavy. Spojité rovnoměrné zatížení o hodnotě 4 kNm^{-2} představující zatížení lidmi bylo postupně umístěno na celé délce mostovky, na jejím středu a na obou polovinách. Zatěžovací zkouška byla provedena 21.2.2011 a všechny stavy byly změřeny během jednoho dne.

Statická analýza modelu byla provedena v programu ANSYS. Výpočtový model vycházel z poznatků předchozí provedené studie [2]. U zavěšené varianty byl měřením zjištěn největší průhyb u zatěžovacího stavu Z-ZSA (zatížení po celé délce mostovky zavěšené varianty), oproti tomu u visuté varianty rozhodoval stav V-ZSB (zatížení uprostřed visuté varianty viz **Obr. 7**). Výsledky přetvoření ukázaly ve všech prvcích velmi dobrou shodu s výpočtovým modelem.



Obr. 7 Zatěžovací stav V-ZSB



Obr. 8 Mezní zatěžovací zkouška - visutá část

6.2 Mezní zatěžovací zkouška

Cílem mezní zatěžovací zkoušky bylo stanovit únosnost konstrukce, mechanismus porušení a získat data pro působení konstrukce v mezní stavu. Mezní zkouška byla provedena pro každou polovinu modelu zvlášť. Zatížení bylo uvažováno jako 1,35 násobek vlastní tíhy na obou polovinách a 2,20 násobek užitého zatížení 4 kNm^{-2} na zkoušené polovině (**Obr. 8**). Mezní zkouška pro obě poloviny modelu byla provedena během jednoho dne 28.2.2011 a prokázala, že konstrukce pro mezní zatížení vyhovuje.