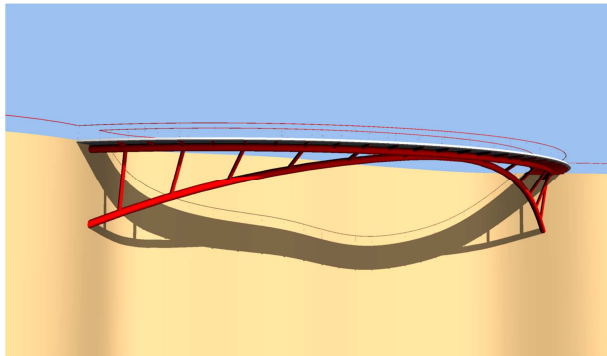


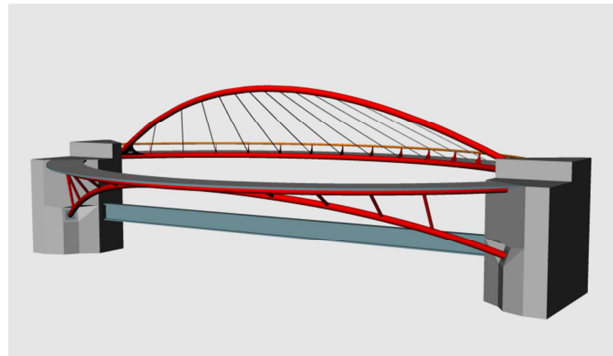
PŮDORYSNĚ ZAKŘIVENÁ KONSTRUKCE PODEPŘENÁ OBLOUKEM

1. Úvod

Tvorba fyzikálních modelů, tj. modelů skutečných konstrukcí v určeném měřítku, navazuje na práci dalších řešitelských týmů z Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně. Ty již v minulosti realizovali modely konstrukcí, které byly následně postaveny, a přispěli tím k rozvoji inženýrských znalostí nejen v České republice. Díky jejich zkušenostem byly zároveň ověřeny předpoklady návrhu modelů, které jsou nezbytné pro správnou interpretaci výsledků výzkumu.



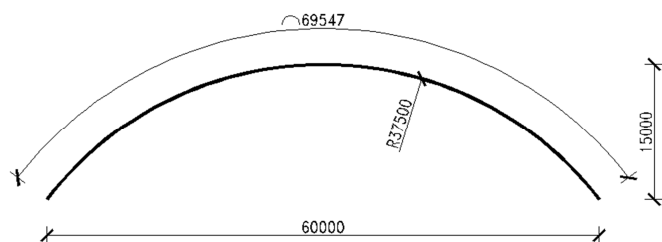
Obrázek 1 – Vizualizace půdorysně zakřivené obloukové konstrukce



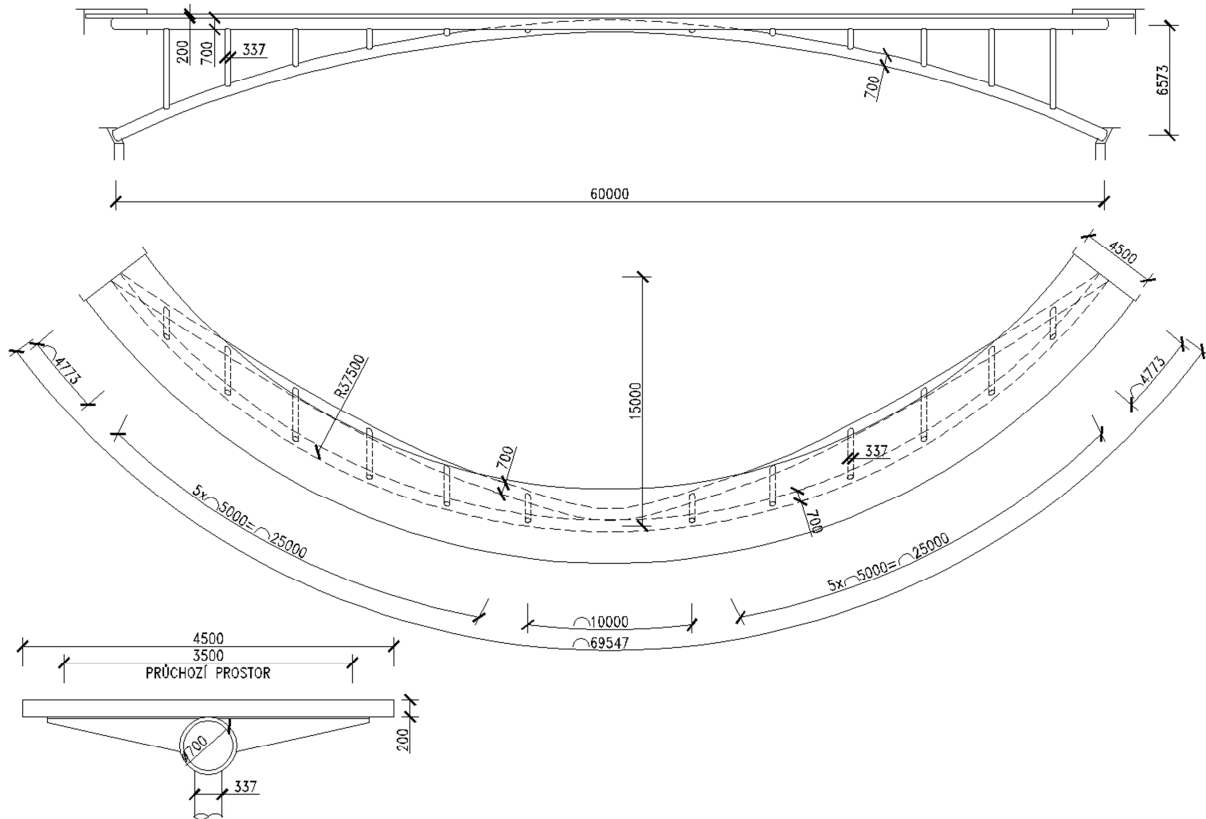
Obrázek 2 – Vizualizace modelu půdorysně zakřivené obloukové konstrukce

2. Popis konstrukce

Zkoumaná konstrukce se skládá ze 3 částí: spřažené mostovky, ocelového oblouku a ocelových vzpěr. Mostovka o rozpětí 60 m je výškově vedena v přímé. Poloměr půdorysného zakřivení byl určen jako 37,5 m. Tomu při daném rozpětí odpovídá vzepětí směrového oblouku 15 m a délka mostovky 69,547 m. Mostovka se skládá z ocelové roury průřezu 700/50 a betonové desky šířky 4,5 m a výšky 0,20 m. Oblouk podporující lávku má totožné rozpětí jako mostovka. Výchozí vzepětí oblouku bylo uvažováno jako 1/10 rozpětí oblouku, tudíž 6 m. Oblouk se dotýká mostovky v jejím středu rozpětí v jediném bodě. Průřez oblouku je totožný s průřezem ocelové roury mostovky. Vzpěry spojující mostovku a oblouk jsou šikmé, mají proměnnou délku a jsou rovnoměrně rozmístěny od poloviny délky konstrukce po 5 m směrem k jejím koncům (poslední vzpěra je od okraje konstrukce vzdálena 4,773 m). Průřez vzpěr je roura 337/26.



Obrázek 3 – Schéma půdorysného vedení konstrukce

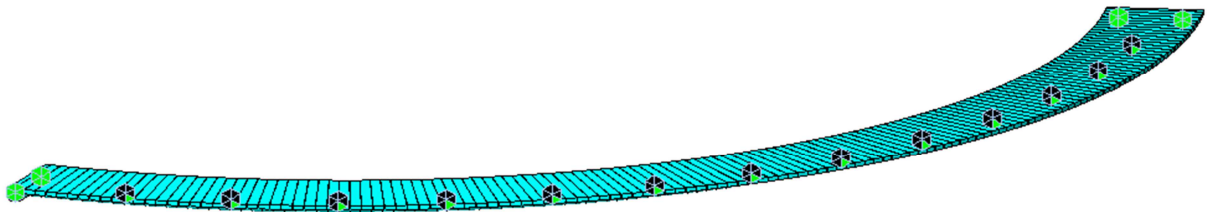


Obrázek 4 – Schéma zkoumané konstrukce

3. Hledání tvaru konstrukce

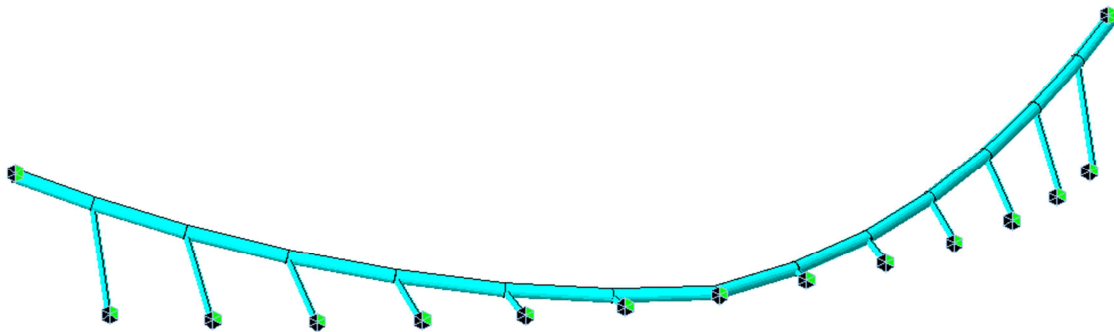
Jelikož se jedná o konstrukci obloukovou, je třeba zajistit, aby byl nosný oblouk namáhán převážně normálovou silou a nejlépe nulovými ohybovými momenty. Z toho důvodu byla v rámci řešení juniorského projektu specifického výzkumu FAST-J-13-2002 „Algoritmizace návrhu tvaru půdorysně zakřivených konstrukcí podepřených oblouky“ vyvinuta metoda, pomocí které byla stanovena geometrie vyráběné konstrukce. Ta spočívala v rozdělení návrhu do 4 fází.

V první fázi byla modelována pouze konstrukce mostovky, přičemž v místech napojení vzpěr byly uvažovány svislé kloubové podpěry. Tento model byl zatížen vlastní tíhou a ostatními stálými složkami zatížení a sledovány byly reakce v mezilehlých podporách.



Obrázek 5 – Model fáze 1 (programové prostředí MIDAS Civil)

V druhé fázi byl modelován visutý kabel se závěsy. Počáteční tvar kabelu byl zvolen tak, aby hypotetický střed mostovky a konce kabelu vytvořili rovinu, do které byla umístěna parabola druhého stupně. Její vrchol byl umístěn tak, aby se kabel dotýkal ocelové roury mostovky (která ale modelována nebyla) právě v jednom bodě a to ve středu délky konstrukce. Konce kabelů byly kloubově uloženy. Ke kabelu se připojily závěsy. Jejich opačné konce byly kloubově uloženy ve směru os x a y (tj. zabraňovalo se jejich posunu ve vodorovné rovině) a ve svislém směru byly zatíženy reakcemi z modelu první fáze. Tyto síly tak nahrazovaly zatížení od mostovky, aniž by bylo nutné zavádět do výpočtu i její tuhost. Do závěsů a přes ně do kabelu bylo vneseno počáteční namáhání. To se vypočetlo pomocí goniometrických funkcí ze zatížení aplikovaného na konce závěsů.

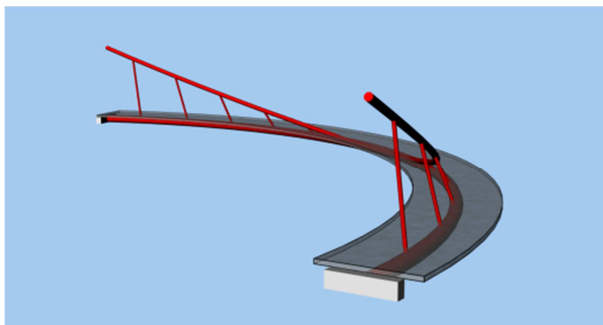


Obrázek 6 – Model fáze 2 (programové prostředí MIDAS Civil)

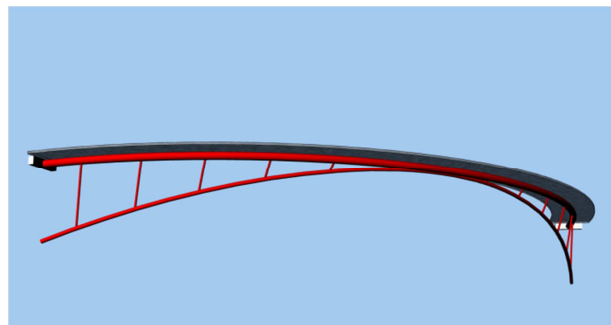
Po provedení nelineárního výpočtu byla geometrie kabelu opravena o jeho vodorovnou a svislou deformaci. Následně proběhl opět výpočet a oprava geometrie kabelu. Ta probíhala tak dlouho, dokud se deformace neustálili. Takto byl nalezen optimální tvar kabelu. Během tohoto postupu se deformovala ve svislém směru i mostovka (reprezentovaná pouze koncovými uzly závěsů). Z toho důvodu bylo nezbytné provádět v průběhu iterace tvaru korekce z -ových souřadnic závěsů tak, aby ve výsledku byla jejich hodnota stejná jako na počátku výpočtu, tj. nulová.

Třetí fáze měla spíše kontrolní charakter. Ke kabelu byla připojena mostovka a bylo sledováno, zda a jak se konstrukce deformuje a jakým způsobem je namáhána. V případě nadměrných deformací by bylo nutno pokračovat v iteraci (tj. v druhé fázi).

Čtvrtá (poslední) fáze již zahrnovala invertování geometrie kabelu a změnu prvků kabelu a závěsů na oblouk a vzpěry, upravení okrajových podmínek konstrukce (oblouk byl v podpěrách vetknutý) a jednotlivých prvků (vzpěry byly na rozdíl od závěsů do oblouku a mostovky také vetknuty).



Obrázek 7 – Vizualizace modelu fáze 3



Obrázek 8 – Vizualizace modelu fáze 4

4. Stavba modelu

Funkční vzorek pro ověření chování výše navržené konstrukce byl vyroben model v měřítku 1:10. Postaven byl ve zkušebně Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí Fakulty stavební. Z toho důvodu bylo nutné upravit uložení konstrukce. Model byl vetknut do dvojice tížných opěr, položených na podlaze zkušebny a spojených ocelovým nosníkem HEB200 (pro zachycení tahových sil). Z důvodu stability modelu byla konstrukce testována zároveň s konstrukcí s dolní mostovkou. Obě konstrukce se tak navzájem vyvažovaly.



Obrázek 9 – Roura oblouku – finální tvar



Obrázek 10 – Ocelová konstrukce po svaření

Z důvodu zmenšení konstrukce se zmenšila i její napjatost. Pokud bychom chtěli na zmenšeném fyzikálním modelu sledovat chování skutečné konstrukce, bylo nutné, aby napětí na skutečné konstrukci odpovídala napětím změřeným (nebo lépe řečeno spočteným ze změřených hodnot poměrného přetvoření) na modelu. Ovšem vzhledem k menším rozměrům modelu (desetinové) bylo zřejmé, že byl menší objem hmoty modelu (tisícina), a tím pádem i vlastní tíha. Průřezové charakteristiky také byly obdobným způsobem zmenšené, tudíž by výsledná naměřená napětí byla nižší. Z toho důvodu bylo nutno konstrukci dovážít tzv. balastním zatížením. To zaručovalo, že napětí na výpočetním modelu reálné konstrukce a napětí na fyzikálním modelu byla totožná. Z literatury vyplývá, že tíha modelu musí být v případě modelu v měřítku 1:10 desetkrát větší, aby bylo dosaženo odpovídajícího napětí mezi konstrukcemi. Z toho důvodu byla konstrukce dovážena devítinásobkem její tíhy.

Výroba ocelové konstrukce modelu proběhla v brněnské společnosti MBNS International. Roura mostovky byla skružena do půdorysného oblouku o poloměru 3,75 m, roura oblouku pak byla zakřivena dle šablony do tvaru rovinné křivky nekonzstantní křivosti; následně pak byla tvarována pomocí tepla do finální podoby. Poté byly všechny části ocelové konstrukce sestaveny a svařeny. Byla použita ocel typu S355. Vzhledem k náročnosti betonování mostovky bylo na horní část konstrukce navařeno ztracené bednění z 1 mm tlustého plechu z oceli S235.

Opěry z vyztuženého betonu pevnostní třídy C30/37 byly betonovány ve zkušebně v bednění se dnem a usazeny do finální pozice až před kotvením ocelové konstrukce. Poté byly spojeny táhlem. Po přikotvení ocelové konstrukce byly koncové příčníky ocelové

konstrukce přebetonovány. Následovalo osazení měřičů deformací a odporových tenzometrů. Po zavěšení balastního zatížení byla vybetonována mostovka.



Obrázek 11 – Betonová opěra a armokoš



Obrázek 12 – Detail koncového příčniku

Zmíněný postup výstavby odpovídal předpokládanému postupu výstavby skutečné konstrukce.



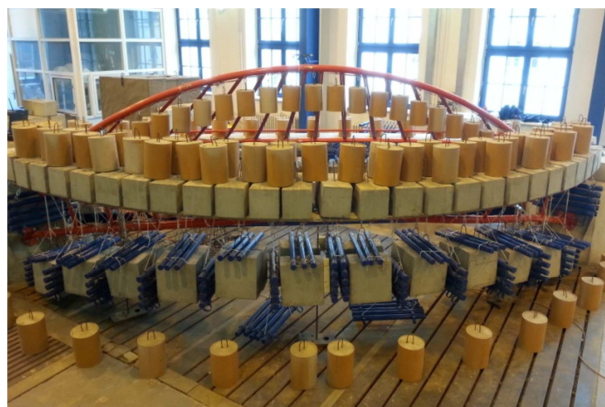
Obrázek 13 – Model po dokončení

5. Testování modelu

Byla provedena série statických zatěžovacích zkoušek modelu. Jeho chování bylo ověřováno sledováním deformací a průběhem napětí od nahodilého zatížení ve třech různých polohách – plné nahodilé zatížení 4 kN/m^2 po celé délce mostovky, nahodilé zatížení 4 kN/m^2 na jedné polovině mostovky a nahodilé zatížení 4 kN/m^2 ve druhé a třetí čtvrtině délky mostovky. Zatížení ve formě betonových bloků bylo kladeno přímo na mostovku. Na závěr bylo zkoumáno chování konstrukce na zatížení odpovídající 2,2 násobku plného nahodilého zatížení, tj. $8,8 \text{ kN/m}^2$.



Obrázek 14 – Testování modelu - plné nahodilé zatížení



Obrázek 15 – Testování modelu – 2,2 násobek plného nahodilého zatížení