

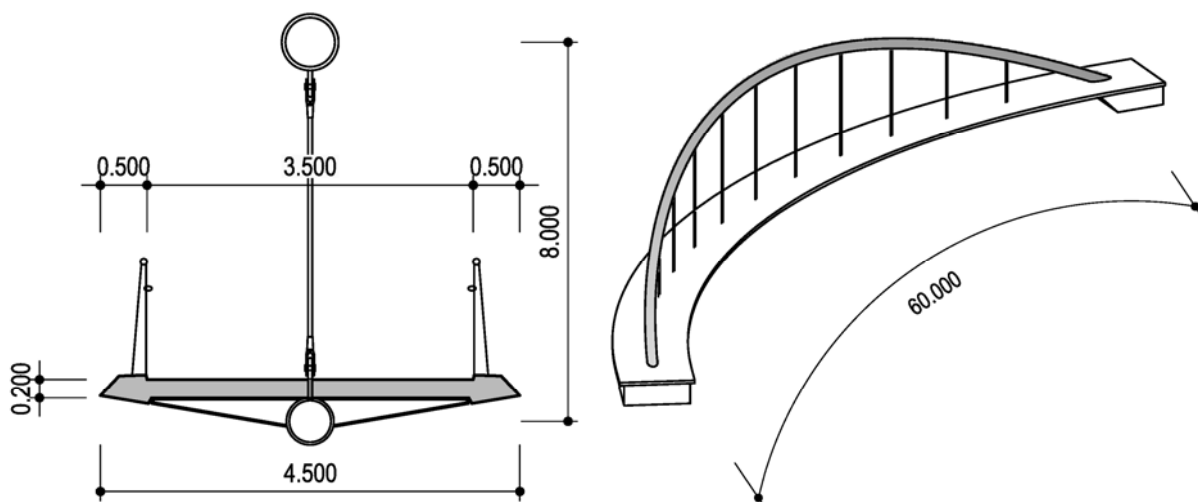
PŮDORYSNĚ ZAKŘIVENÁ KONSTRUKCE ZAVĚŠENÁ NA OBLOUKU

1 Úvod

Architektonickým trendem poslední doby se stalo v segmentu lávek pro pěší navrhování zajímavých konstrukcí netradičního uspořádání, mezi něž lze zařadit i mostní objekty situované ve výrazném půdorysném oblouku. Na Ústavu betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební VUT v Brně se kolektiv autorů věnuje studiu půdorysně zakřivených lávek pro pěší. Současný vývoj navazuje na výzkum provedený v minulých letech, ve kterém byly navrženy a experimentálně ověřeny zakřivené lávky visuté, zavěšené na pylonu nebo tvořené předpjatým pásem. Pozornost je nyní zaměřena na konstrukce nesené oblouky s cílem navrhnout elegantní, atraktivní konstrukci jemných rozměrů.

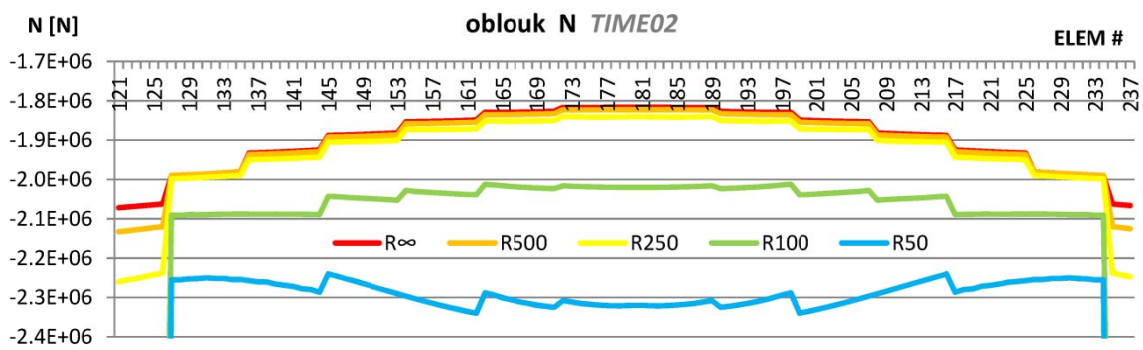
2 Studie vlivu zakřivení

Vlastnímu návrhu studované konstrukce předcházela parametrická studie s cílem zjistit možnosti půdorysného zakřivení mostovky. Výchozí konstrukce byla tvořena rovinným ocelovým obloukem, na kterém byla zavěšena mostovka sestávající z ocelové trouby a pochozí betonové desky. viz obr. 1. Rozpětí lávky bylo uvažováno 60 m měřené v ose mostovky a vzepětí oblouku 8 m. Oblouk byl při zakřívování situován vždy v ose mostovky. Postupně byla konstrukce analyzována na prutovém prostorovém modelu pro poloměry zakřivení 500, 250, 100 a 50 m. Nejprve byl stanoven výchozí stav konstrukce a poté bylo aplikováno nahodilé zatížení (4 kNm^{-2}) umístěvané na mostovce ve třech polohách.

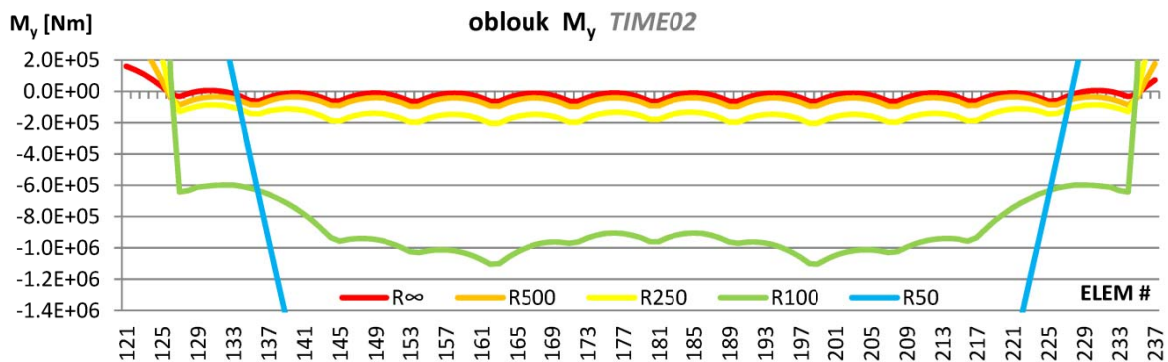


obr. 1 Příčný řez a axonometrický pohled

Na obr. 2a obr. 3 lze srovnat průběh normálové síly a ohybového momentu v oblouku ve sledovaných poloměrech. Tyto průběhy vnitřních sil odpovídají výchozímu stavu konstrukce. Z výsledků je patrné, že pro velké poloměry (přibližně do 250 m) je chování konstrukce blízké přímé variantě lávky. Pro snižující se poloměry je logicky ohybové namáhání oblouku a mostovky několikanásobně vyšší. V poloměru zakřivení 100 m je možné navrhout lávku pouze se značným nadvýšením. Deformace mostovky jsou v řádu centimetrů a oblouku přibližně 1,0 m. Pro menší poloměry se použité konstrukční uspořádání lávky jeví jako nereálné.



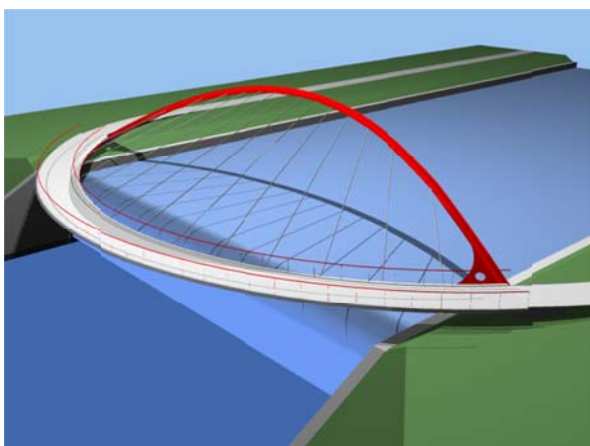
obr. 2 Normálové síly v oblouku



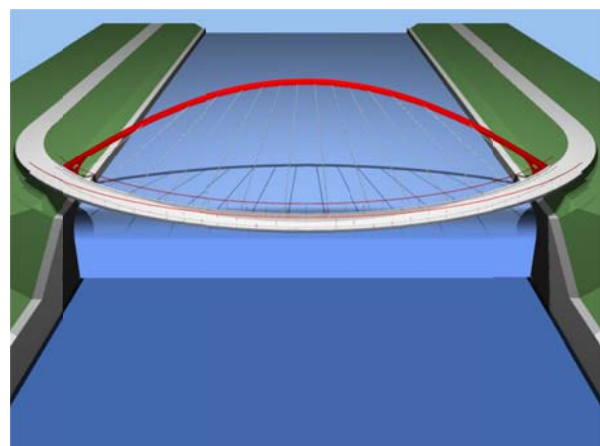
obr. 3 Ohybové momenty v oblouku

3 Návrh lávky

Na základě výsledků z parametrické studie a také s motivací dosáhnout menšího poloměru zakřivení mostovky bylo zvoleno odlišné konstrukční uspořádání lávky. Oblouk je vykloněn mimo zakřivenou osu mostovky viz obr. 4 a obr. 5. Cílem se stalo nalézt nejvýhodnější geometrii oblouku odpovídajícím minimálním ohybovým momentům od stálých složek zatížení.



obr. 4 Vizualizace konstrukce lávky

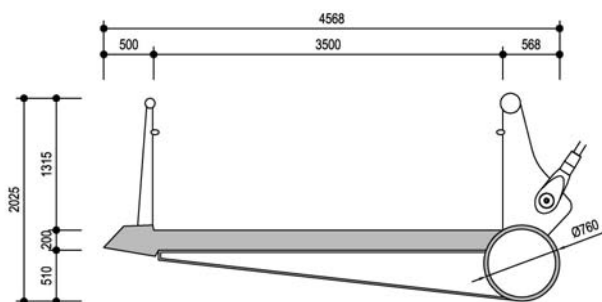


obr. 5 Vizualizace konstrukce lávky

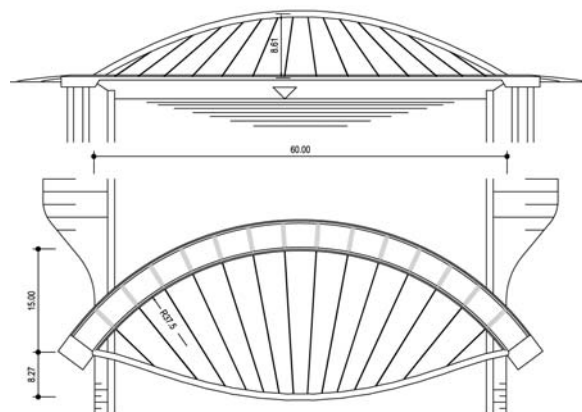
3.1 Popis konstrukce lávky

Konstrukce lávky je navrhována pro rozpětí 60,0 m a je tvořena ocelobetonovým nosníkem zavěšeným na ocelovém oblouku. Oblouk je vetknut do koncových opěr. Mostovka je zakřivena do

části kruhového oblouku o poloměru 37,5 m se vzepětím 15,0 m. Délka mostovky měřená v ose ocelové trouby činí 69,55 m a mostovka vyplňuje úhel 106,3°. Ocelový oblouk je prostorová křivka blízká parabole druhého stupně se svislým vzepětím přibližně 8,6 m. Průřez oblouku sestává z ocelové trouby $\text{Ø}760/40$ mm. V místě radiálně uspořádaných příčníků je kotveno 14 tyčových závěsů, které přenášejí zatížení do oblouku (viz obr. 7).



obr. 6 Příčný řez



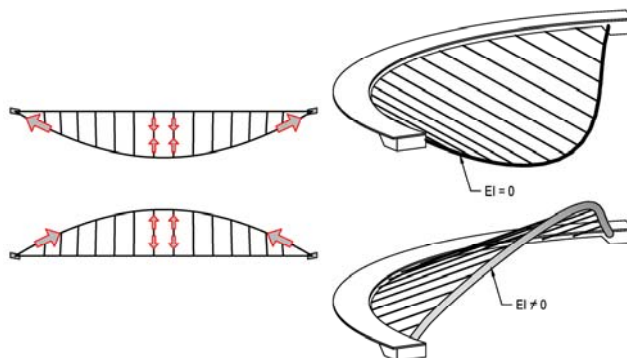
obr. 7 Schematický půdorys a pohled

Hybridní mostovka (obr. 6) sestává z ocelové roury a pochozí betonové desky. Mostovka je široká 4,57 m a volná šířka činí 3,5 m. Ocelové mezilehlé příčníky podporují betonovou desku mostovky jsou vevařeny do ocelové trouby. Příčníky také plní funkci sloupků pro madlo zábradlí. Příčníky jsou ze spodní strany mostovky tvořeny proměnným průřezem profilu I. Z oblouku jsou spuštěny tyčové závěsy, které jsou kotveny ve styčnickovém plechu rozšířených sloupků zábradlí v místě příčníků. Kroucení mostovky je eliminováno působením předpínacích kabelů situovaných v madlech zábradlí. Madla zábradlí jsou tvořena ocelovými trubkami.

Ocelová trouba mostovky je kruhového průřezu $\text{Ø}760/40$ mm. Tloušťka betonové desky činí 200 mm a z vnějšího okraje je doplněna rozšířením tvořícím římsu, ve které jsou kotveny sloupky zábradlí. Betonová deska mostovky je monolitická, spřažená s ocelovou troubou a příčníky.

3.2 Tvar oblouku

Návrh studované konstrukce vychází z řešení rovinných obloukových konstrukcí. Je snaha najít optimální tvar oblouku, abychom docílili tzv. výchozího stavu konstrukce, ve kterém je dosaženo rovnováhy po aplikaci vlastní tíhy a ostatních stálých zatížení s minimálním ohybovým namáháním oblouku.

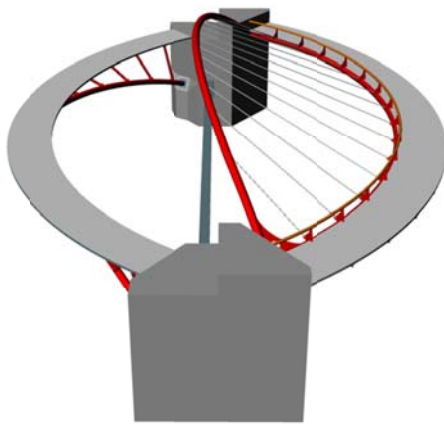


obr. 8 Princip hledání tvaru oblouku

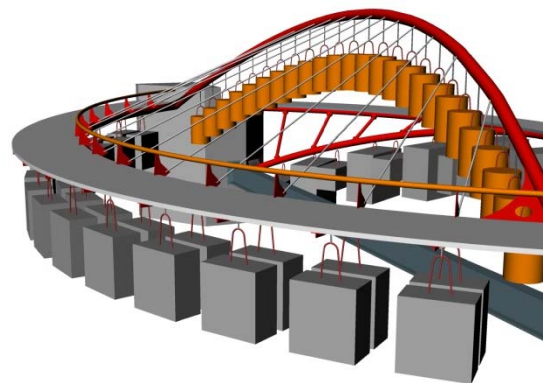
Iterační proces je prováděn na konstrukci, jejímž hlavním nosným prvkem je lano, které nemá ohybovou tuhost. Prostřednictvím tuhých vzpěr je pak podepřena mostovka. Výsledkem tohoto procesu je po dosažení rovnováhy deformovaný tvar lana, který je poté po inverzi použit jako vstupní geometrie oblouku (obr. 8). Pro eliminaci svislých deformací mostovky ve výchozím stavu se dále upraví předpětí v závěsech.

4 Fyzikální model

Pro ověření statického a dynamického chování navrhované lávky pro pěší byl vyroben na ÚBZK fyzikální model v měřítku 1:10 (obr. 9). Model byl společný pro obdobnou konstrukci, která je podporována obloukem. Společný experiment měl v půdorysu čoučkovitý tvar a lávky byly kotveny do společných základových bloků.



obr. 9 Vizualizace společného experimentu



obr. 10 Model s balastním zatížením

4.1 Modelová podobnost

Pro experiment byla vybrána přímá metoda, která předpokládá fyzikální podobnost modelu a skutečné konstrukce a v níž se zatěžuje model stejným způsobem jako reálná konstrukce. Při použití této metody musí být zajištěny podmínky podobnosti mezi skutečnou konstrukcí a jejím modelem. Vzhledem k použití stejných materiálů jako v reálné konstrukci platí pro zachování podobnosti rovnost poměrných přetvoření a tím i napětí. Zvolené měřítko λ je rovno 10. Předpoklad rovnosti napětí je dodržen zvýšením stálého zatížení. Balastní zátěž pak odpovídá $(\lambda - 1)$ násobku vlastní tíhy.

4.2 Popis modelu

Teoretické rozpětí konstrukce modelu činí 6,0 m. Trouba mostovky byla zkružena do poloměru 3,75 m. Pro trubku mostovky a oblouku byl vybrán průřez $\text{Ø}76/4$ mm z oceli S355. V experimentu byl příčný řez mostovkou zjednodušen s ohledem na výrobní možnosti. Ocelové příčníky byly realizovány jako plech oceli S355 tl. 4 mm s navařenou přírubou. V příčnickovém plechu se vyřezaly otvory pro zavěšení balastní zátěže. Tuhé závěsy tvořila dvojice tyčí T25. Betonová mostovka v tl. 20 mm byla navrhována ze speciálního mikrobetonu. Pro betonovou směs byl použit cement CEM 42,5 R SC a kamenivo frakce 0/4 a 2/4 spolu s dalšími přísadami. Jako ztracené bednění pro betonáž posloužil tenký plech tl. 1 mm. Spřažení betonové desky a bednicího plechu bylo provedeno pomocí navařených matic M8 v definovaném rastru. Předpětí typu monostrand bylo vedeno v trubce $\text{Ø}33,7/2,6$ z oceli S355, která byla přivařena k jednotlivým příčnickům. Předpinací kabel byl kotven v nadbetonávce základového bloku.



obr. 11 Konstrukce hotového modelu



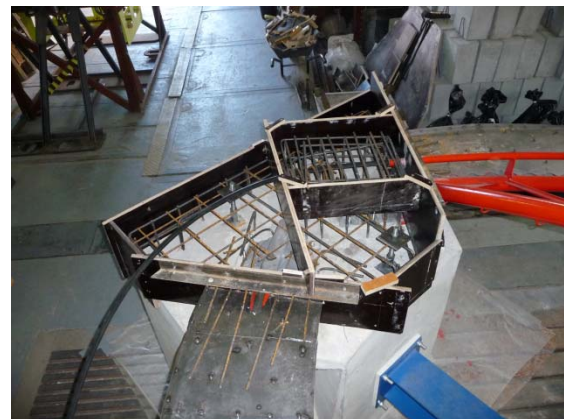
obr. 12 Konstrukce hotového modelu

4.3 Výroba modelu

Výroba ocelové konstrukce probíhala v brněnské firmě MBNS International. Trouby pro oblouky byly mechanicky zkružovány. Poté byly jednotlivé části ocelové konstrukce svařeny. V laboratoři bylo zhotoveno bednění a armokoš pro základové bloky, které byly následně vybetonovány z betonu C30/37. Po usazení bloků do finální polohy byla provedena montáž táhla (HEB200) spojující oba základy a konstrukcí lávek. V další fázi bylo zhotoveno bednění a výztuž nadbetonávky.



obr. 13 Svařování ocelové konstrukce



obr. 14 Vyztužení nadbetonávky základového bloku



obr. 15 Model před betonáží mostovek



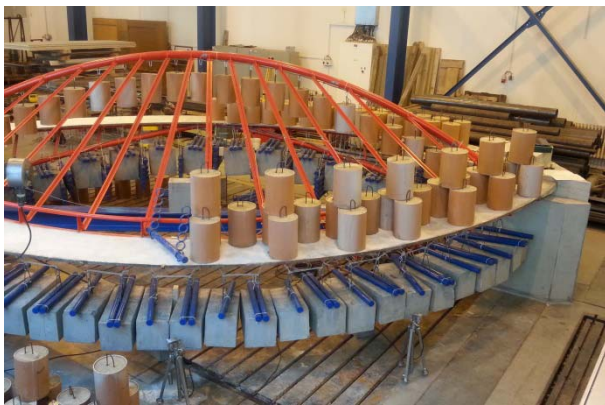
obr. 16 Betonáž mostovky

Dalším krokem bylo osazení experimentu měřicí technikou. Pro sledování napjatosti jednotlivých konstrukčních částí byly použity odporové tenzometry. Velikost předpínací síly byla měřena pomocí dvou siloměrů osazených na kotevní desku. Pro měření průhybů byly použity potenciometrické snímače umístěné v polovinách a čtvrtinách rozpětí mostovky a oblouku.

Aby byl dodržen postup výstavby ve shodě s reálnými konstrukcemi, sledování bylo zahájeno ještě před betonáží mostovek.

4.4 Zatěžovací zkoušky

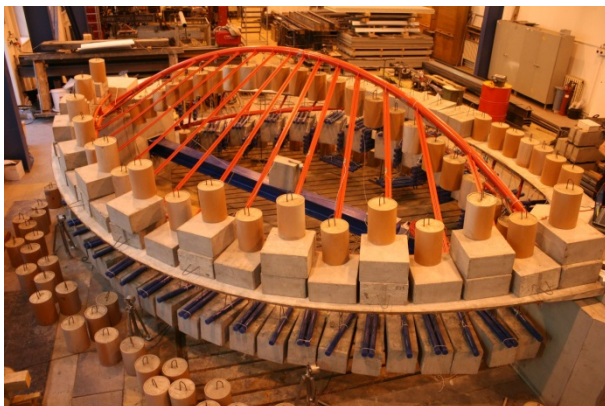
Statická zatěžovací zkouška byla provedena pro tři polohy nahodilého zatížení. Nahodilé zatížení v hodnotě 4 kNm^{-2} bylo aplikováno přidáním betonových bloků a cylindrických závaží na desku mostovky. Při mezní zatěžovací zkoušce bylo na mostovku aplikováno zatížení v hodnotě cca 1,85 násobek užitého zatížení 4 kNm^{-2} . Při tomto zatížení došlo k porušení betonové mostovky (obr. 20) nad prvním příčnickem a současně započala velmi pomalá plastizace oceli. V tento moment byla zkouška ukončena a následovalo odtížení.



obr. 17 Zátěž na polovině mostovky



obr. 18 Mezní zatížení



obr. 19 Mezní zatížení



obr. 20 Trhlina v mostovce při mezním zatížení