

DŘEVĚNÝ MODEL PRO OVĚŘENÍ POLOHY VISUTÉHO LANA

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.

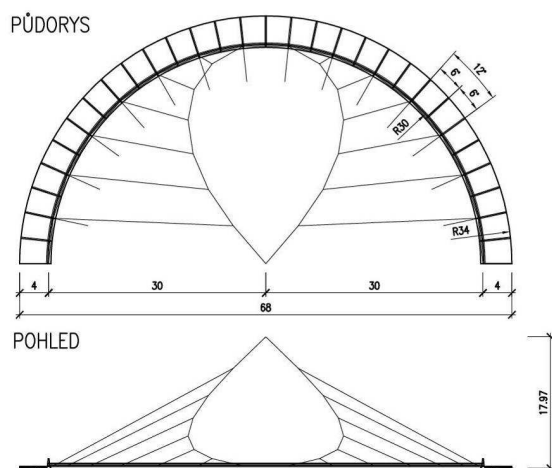
Při analýze těchto lávek, konkrétně ve variantě visuté, je důležitým krokem nalezení polohy visutého lana. Tato problematika si zaslouží hlubší porozumění a proto byla takováto konstrukce analyzována a výsledky analýzy byly ověřeny na dřevěném modelu v měřítku M1:100.

Tento příspěvek popisuje studii visuté konstrukce, analýzu jejího výchozího stavu a dále provedení a výsledky fyzikálního modelu pro ověření výchozího stavu.

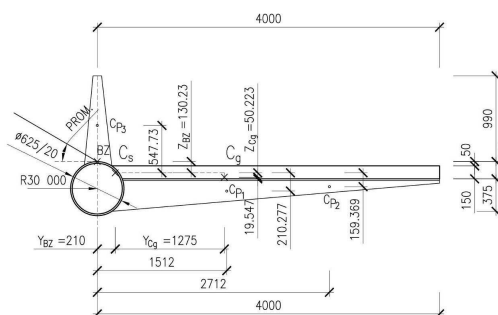
2 Studovaná visutá půdorysně zakřivená konstrukce

2.1 Popis konstrukce

Jedná se o konstrukci lávky, která bude tvořena zakřiveným betonovým pásem, který bude vyztužen ocelovou trubkou vloženou na vnitřní hranu.



Obr. 1 Schematický půdorys a pohled na lávku



Obr. 2 Příčný řez

Lávka bude mít rozpětí 60 m a je situována v půdorysném oblouku, kde osa lávky je v poloměru 32 m. Lávka vyplní úhel přesně 180°. Betonový pás a ocelová trubka budou

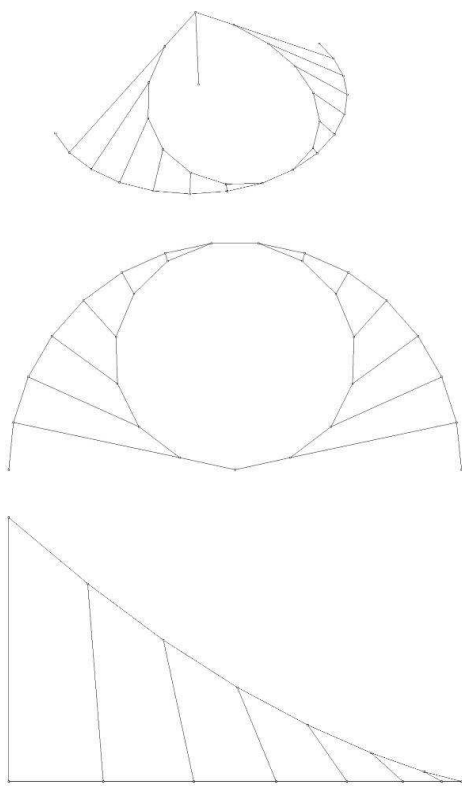
vetknuty do opěr. Předpětí bude vedeno jednak v zábradlí a jednak pod mostovkou ve výztužných příčnicích. Lávka bude na 14-ti závěsech zavěšena na visutém laně, které bude ukotveno v pylonu, který je umístěn ve středu půdorysného oblouku.

2.2 Příčný řez

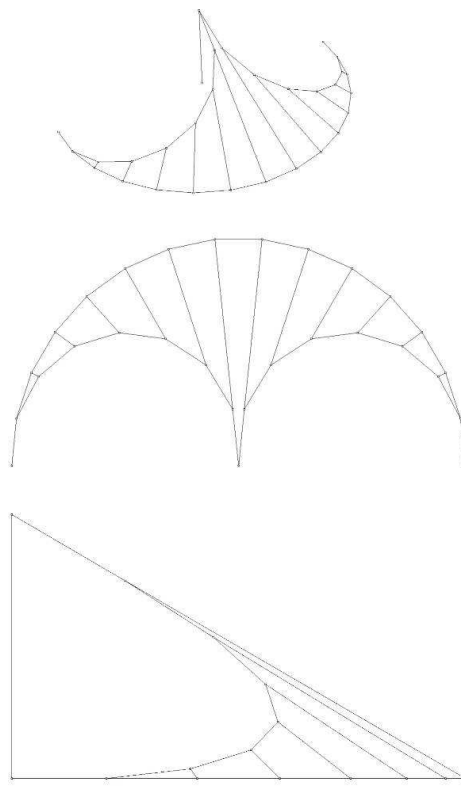
Jako příčný řez (Obr. 2) byla zvolena kombinace ocelové trubky a betonové. Je počítáno s tím, že betonová deska bude spřažena s ocelovou trubkou. Rozměry byly voleny s ohledem na namáhání, které bylo zjištěno ve studii příčného řezu s předpětím. Ocelová trubka bude mít průměr 625 mm a tloušťku stěny 20 mm. Zábradlí, které bude po cca 3,13 m (odpovídá úhlu 6°) přivařeno na trubku, je tvořeno plechem tloušťky 60 mm. V zábradlí je vynechán otvor na předpínací kabel. Na trubku bude dále přivařen ocelový příčník, který bude vynášet betonovou desku. Vzdálenost příčníků opět tvoří úhel 6°. Příčník bude tvaru T a stojina i příruba bude tvořena ocelovým plechem tloušťky 20 mm. Ve stojině pak budou opět vynechány otvory pro vedení předpínacích kabelů.

3 Hledání výchozího tvaru lana

Důležitým krokem při výpočtu visutých konstrukcí je najít výchozí polohu visutého lana.



Obr. 3 Varianta s vnitřním visutým lanem



Obr. 4 Varianta s vnějším visutým lanem

Visuté lano v našem případě tvoří 12 lan strand o průměru 15 mm (0,6", plocha jednoho lana 150 mm²) napnutých na předpokládané napětí. Za výchozí stav je považován takový stav deformace a jemu odpovídající stav napjatosti konstrukce, který zaručuje rovnováhu celého systému v požadované geometrii od vlastní tíhy a předpětí. Z hlediska vedení visutého lana, se dá rozhodovat mezi dvěma konstrukcemi: vnější a vnitřní, jak je ukázáno na Obr. 3 a Obr. 4. V našem případě bylo rozhodnuto o vnitřní variantě, která byla zkoušena vůbec poprvé. Výchozí tvar se hledá iteračním postupem a dá se rozdělit na výpočet směru svislého a vodorovného.

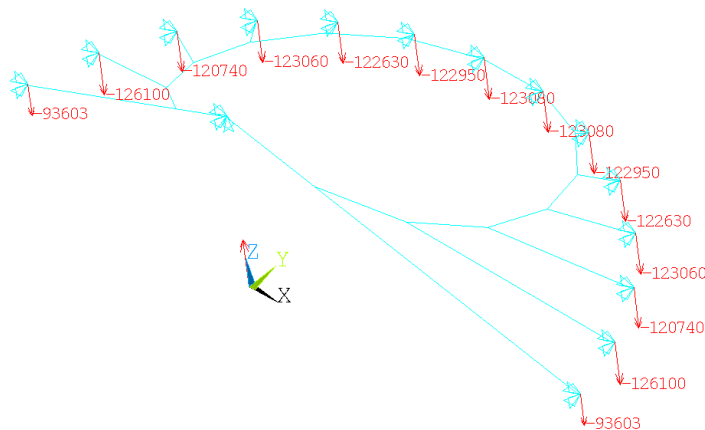
3.1 Výpočet svislého směru

U těchto konstrukcí se postupuje tak, že se rozvine mostovka v úrovni bodu zavěšení. V každém bodu zavěšení známe sílu G , což je vlastní tíha segmentu, který působí na každý závěs. Tím, že známe výšku pylonu nad bodem zavěšení, můžeme řešení visutého kabelu v podélném řezu převést na řešení rovinného, dokonale ohebného lana o jednom poli. Tato metoda byla již několikrát popsána a bylo na ni vytvořeno uživatelské makro v MS Excel. Výsledkem této analýzy jsou svislé z-tové souřadnice, které budou potřeba pro výpočet ve směru vodorovném.

3.2 Výpočet vodorovného směru

Výpočet vodorovného směru je daleko složitější. V našem případě byl vytvořen jednoduchý model v ansysu, který se skládal pouze z visutého lana a závěsů, jak je vidět na Obr. 5. Konce závěsů na straně mostovky jsou podepřeny pouze ve vodorovném směru a je na ně naneseno zatížení, které odpovídá tíze G , která působí na každý závěs.

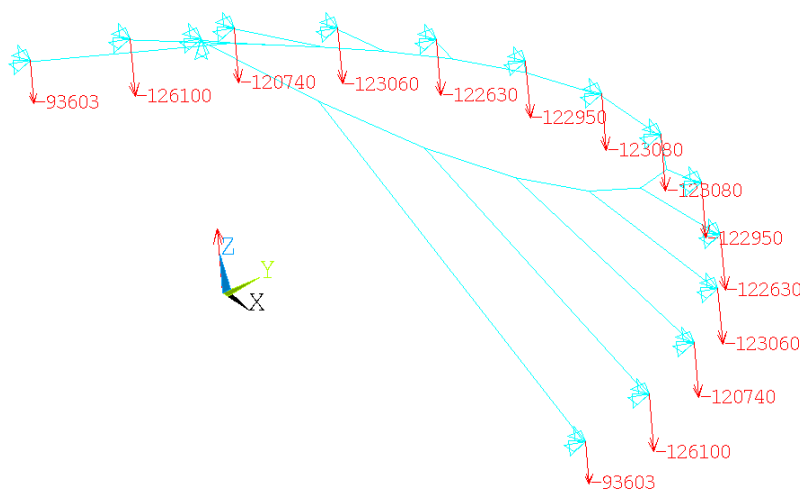
Visuté lano má vstupní geometrii takovou, že každý závěs je nejdříve tvořen spojnici vrcholu pylonu a bodu zavěšení. Výška nad bodem zavěšení byla vzata z řešení svislého směru a určila nám tak body visutého lana na této spojnici.



Obr. 5 Jednoduchý model pro iteraci vodorovného směru

Původně jsme se mylně domnívali, že tato vstupní geometrie odpovídá výchozímu tvaru. Při spuštění výpočtu byla ale zjištěna deformace v řádu metrů, proto byla tato geometrie vzata jako první krok iterace. Při každém dalším kroku iterace byla zároveň opravována geometrie visutého lana o jeho posunutí - pouze ve směrech x a y , a dále přetvoření lana a závěsů na

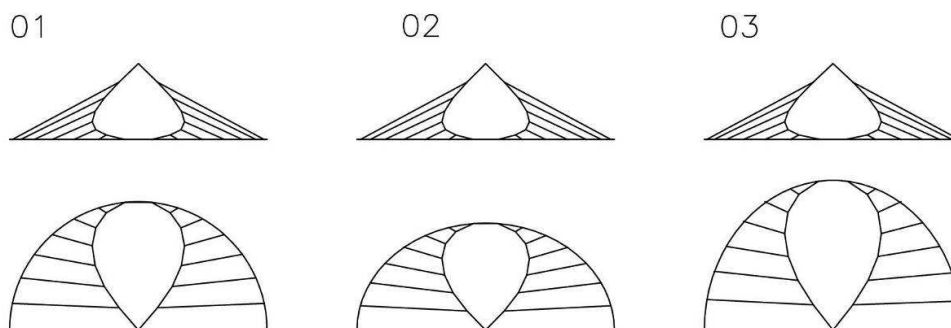
základě jejich normálové síly. Počet iteračních kroku byl v desítkách, než se visuté lano ustálilo v poloze na Obr. 6. Tento vyiterovaný tvar měl nejmenší posunutí U_z a byl prohlášen za výchozí tvar lana.



Obr. 6 Vyiterovaný tvar visutého lana

Tento tvar byl dále analyzován. Vlivem toho, že půdorysný průmět závěsu není kolmý na kružnici mostovky, vzniká v mostovce další tečné tahové namáhání mostovky. Aby bylo toto namáhání minimální, musel by být v každém bodě půdorysný průmět závěsu téměř kolmý ke křivce mostovky. Tato křivka se nepodařila najít. Proto byly zkoušeny, postupem uvedeným v této kapitole, vybrané základní tvary (některé z nich jsou na Obr. 7):

- | | |
|---|--|
| 1. kružnice o poloměru 30 m | 6. parabola III. stupně (vzepětí 30 m) |
| 2. elipsa s osami 30 m a 25 m | 7. parabola IV. stupně (vzepětí 30 m) |
| 3. elipsa s osami 30 m a 35 m | 8. parabola V. stupně (vzepětí 30 m) |
| 4. parabola druhého stupně (vzepětí 30 m) | 9. křivka podle prof. Schleicha |
| 5. parabola II. stupně (vzepětí 30 m) | 10. parabola II. stupně (vzepětí 35 m) |



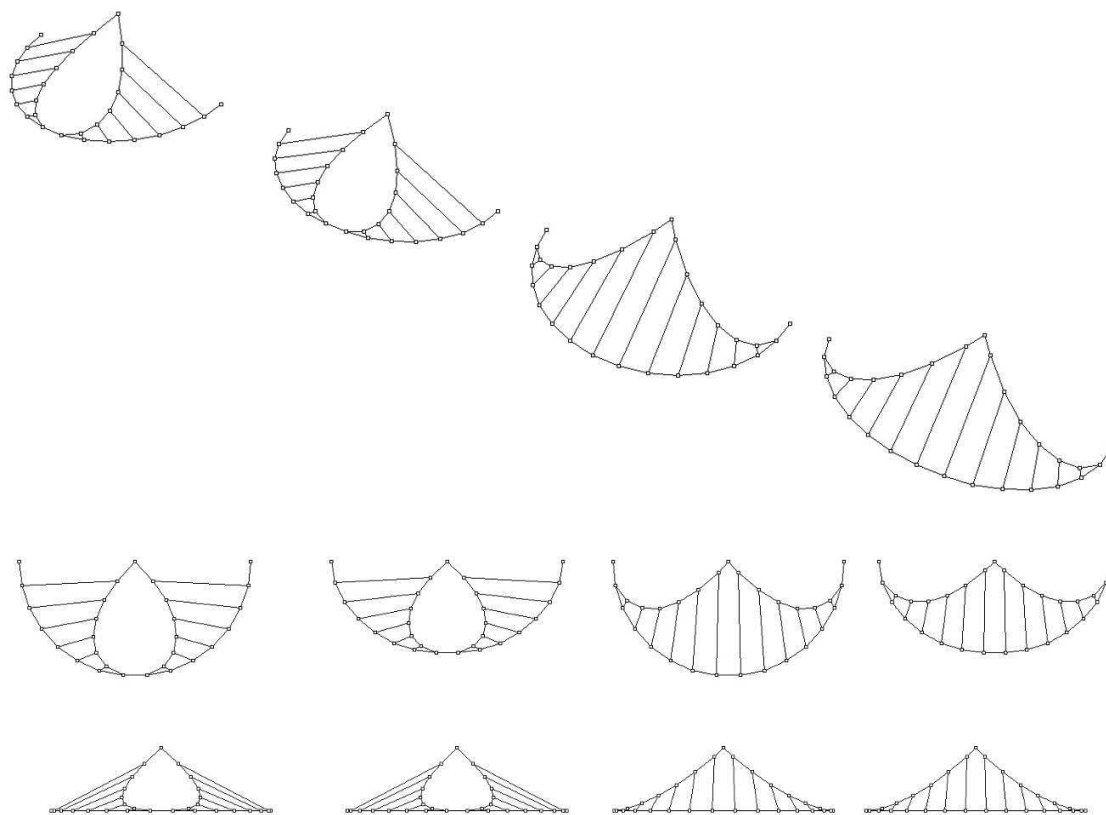
Obr. 7 Vybrané varianty půdorysného zakřivení

V každé variantě byly v každém závěsu porovnány odchylky průmětu závěsu od tečny ke křivce mostovky a ty byly dále vyhodnoceny. Nejmenších rozptylů těchto odchylek bylo

dosaženo u varianty 04, tj. paraboly II. stupně se vzepětím 30 m. Odchytky se významně nelišily ani u kruhové varianty 01, která byla nakonec ponechána

4 Ověření polohy visutého lana na dřevěném modelu

Pro bližší pochopení tohoto výchozího tvaru se vyrobil dřevěný model z překližky v měřítku 1:100. Dřevěný model se skládal z pylonu tvaru A, z mostovky, která byla tvořena otvory v překližce (otvory představovaly body zavěšení), ze závěsů a visutého lana, které byly tvořeny lankem a z plechovek naplněných pískem, které tvořily náhradu vlastní tíhy G. Pro jednoduchost byl výpočet proveden pro stejnou vlastní tíhu G pro všechny závěsy.



Obr. 8 Varianty pro výrobu dřevěného modelu

Cílem tohoto experimentu bylo verifikovat správnost postupu uvedeného v této kapitole. Proto z výsledků výpočtů byly sestaveny prostorové modely (Obr. 8), ze kterých se zjistila délka polygonu visutého lana a délka závěsů (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Vzala se tedy celková délka visutého lana (součet všech částí), na ni se navázaly závěsy tak, aby s nimi bylo možno posouvat, ale aby neumožnily posunutí při zatížení.

Výsledkem bylo ověření tvaru kružnice o poloměru 300 mm a tvaru elipsy o osách 300 mm a 240 mm v obou případech pro variantu s vnitřním a vnějším visutým lanem. V obou případech byla výška pylonu shodná 173 mm.

Délka visutého lana

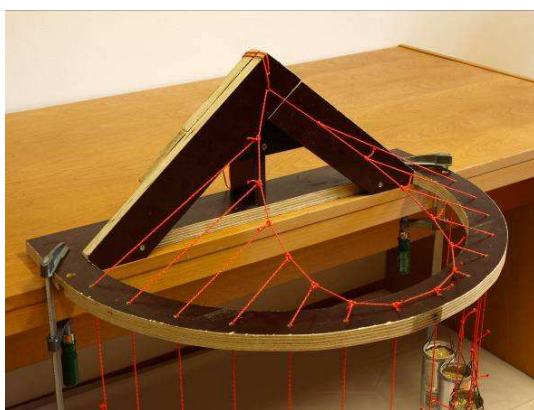
Varianta	01 [mm]	02 [mm]	03 [mm]	04 [mm]
L01	81.1	74.6	62.7	56.4
L02	71.3	64.3	50.7	48.6
L03	61.7	54.2	46.3	45.8
L04	53.1	45.3	50.3	49.9
L05	46.8	39.1	59.0	57.3
L06	45.0	38.1	69.7	66.2
L07	49.9	44.1	81.2	75.7
L08	62.7	56.5	46.4	42.7
Celková délka	880.4	775.9	932.4	885.3

Délka závěsů

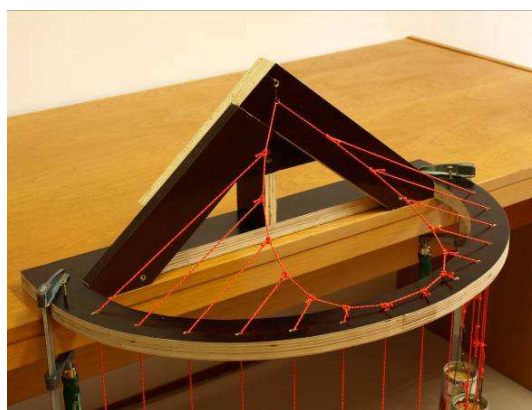
Varianta	01 [mm]	02 [mm]	03 [mm]	04 [mm]
Z01	279.7	278.9	23.1	20.1
Z02	216.0	213.1	61.3	52.3
Z03	156.6	151.8	111.1	93.8
Z04	103.1	97.7	170.1	143.0
Z05	57.6	52.9	236.0	199.1
Z06	22.2	19.6	307.3	261.2
Z07	0.0	0.0	346.4	296.0
Celková délka	1670.7	1627.7	2510.7	2131.0

Tab. 1 Délky polygonu visutého lana a závěsů

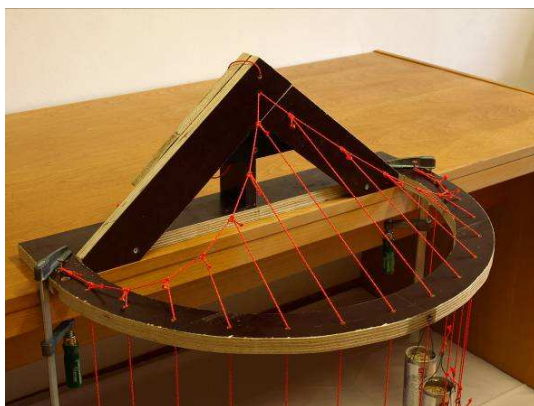
Jak nám ukazují fotky Obr. 9 až Obr. 14 křivka se skutečně pokaždé ustálila přesně v délkách uvedených v Tab. 1 . Pokud jsme nějakým uzlem závěsu posunuly, ať už směrem nahoru nebo dolů, byla křivka visutého lana okamžitě tvarově narušena.



Obr. 9 Varianta kruh vnitřní



Obr. 10 Varianta elipsa vnitřní

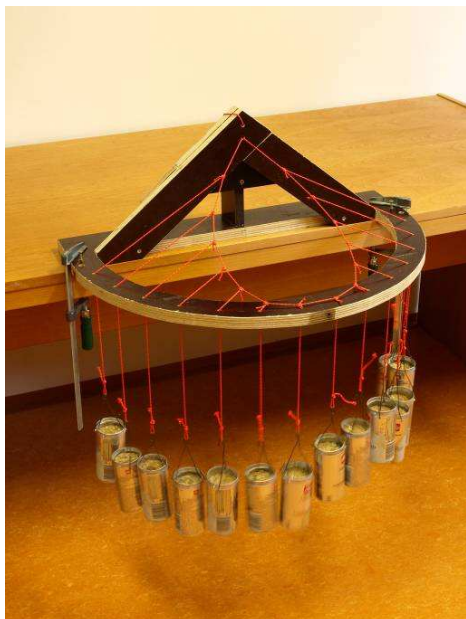


Obr. 11 Varianta kruh vnější



Obr. 12 Varianta elipsa vnější

To nám stačilo jako průkaz správnosti našeho řešení a pro vytvoření budoucího výpočtového modelu a zjištění konečného fungování výpočtového modelu této konstrukce je to naprosto postačující.



Obr. 13 Ukázka modelu se závaží



Obr. 14 Pohled na model z boku