727/2. 01



STUPEŇ

ODBORNÝ POSUDEK

NÁZEV AKCE

Odborný posudek lávky pro pěší v obci Černošice

OBJEDNATEL

Hl. město Praha
SVM MHMP
Mariánské náměstí 2
110 01 Praha 1

SCHVÁLIL, DATUM

GENERÁLNÍ PROJEKTANT

MURUS
MONUMENTA RENOVAMUS

PROJEKCE, spol. s r.o
Na Strži 1702/65
140 00 Praha 4

VEDOUCÍ PROJEKTU
Prof. Ing. Jiří MÁCA, CSc

ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT
Ing. Karel POHL, Ph.D.

SPOLUPRACOVAL
Ing. Martin HULAN

DATUM	REVIZE	ČÍSLO ZAKÁZKY
3/2016	-	0677-2015

PARÉ
2

2016

STAVBA Lávka pro pěší Černošice

POSOUZENÍ KONSTRUKCE LÁVKY PRO PĚŠÍ

březen 2016

VYPRACOVAL Prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
Ing. Karel Pohl, Ph.D.

POČET STRAN 11

OBSAH

1. Podklady a použitá literatura 3
2. Identifikační údaje 3
3. Popis konstrukce 4
4. Modální analýza konstrukce 6
   4.1. Metodika výpočtu 6
   4.2. Výpočet vlastních frekvencí 7
5. Závěr 11

1. PODKLADY A POUŽITÁ LITERATURA

[1] Požadavky objednatele
[2] Zaměření skutečného stavu vypracované GK Ing. Dvořáček
[3] ČSN EN 1990 : Zásady navrhování konstrukcí
[4] ČSN EN 1991 : Zatížení konstrukcí
[5] ČSN EN 1992 : Navrhování betonových konstrukcí
[6] ČSN EN 1993 : Navrhování ocelových konstrukcí
[7] ČSN EN 1995 : Navrhování dřevěných konstrukcí
[8] ČSN ISO 13822 : Hodnocení existujících konstrukcí
[9] ČSN 73 6203 : Zatížení mostů
[10] ČSN 73 6205 : Navrhování ocelových mostních konstrukcí

2. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

STAVBA	Lávka pro pěší Černošice
MÍSTO STAVBY	k.ú. Černošice, okres Praha-západ
OBJEDNATEL	MURUS s.r.o. Na Strži 1702/65, 140 00 Praha 4
ZHOTOVITEL	Ing. Karel Pohl, Ph.D. Prof. Ing. Jiří Máca, CSc. Katedra mechaniky, Stavební fakulta, ČVUT Thákurova 7 160 00 Praha 6

3. POPIS KONSTRUKCE

Předmětem této technické zprávy je stanovení modálních charakteristik konstrukce lávky pro pěší přes řeku Berounku v obci Černošice. Bylo provedeno posouzení dosažených výsledků s ohledem na předpokládané zatížení konstrukce chodci a zhodnocení možností konstrukčních úprav a opatření na snížení dynamické odezvy konstrukce.

Výchozí podklady: Požadavky objednatele.
Zaměření skutečného stavu vypracované GK Ing. Dvořáček.

Konstrukce lávky pro pěší je tvořena lehkou ocelovou konstrukcí o třech polích a přístupovou pravotočivou rampou ve směrovém oblouku přístupnou od obce Lipence, viz obr. 3.1. a 3.2. Konstrukce slouží jako lávka pro pěší a cyklisty. Přejezd lehkého vozidla není umožněn.



Obr. 3.1 – Konstrukce lávky pro pěší přes řeku Berounku v Černošicích



Obr. 3.2 – Přístupová rampa ve směrovém oblouku

Každé pole lávky dosahuje světlého rozponu cca 30,1 m. Geometrické rozdíly mezi jednotlivými poli se jeví jako zanedbatelné i s ohledem na teoretické uložení podpor. Každé pole je tvořeno dvojicí ocelových svařovaných nosníků průřezu tvaru I výšky 1090 mm. Osová vzdálenost nosníků v příčném směru je 2210 mm. Uložení ocelových nosníků je řešeno pomocí pevné kloubové podpory na jedné straně a válcového ložiska na opačné straně. Způsob uložení odpovídá předpokladu prostě uloženého nosníku.

Mostovka lávky je tvořena propojením ocelových nosníků válcovaným profilem U140 v úrovni spodní pásnice nosníku. Toto propojení, realizované přes šroubové spoje, se opakuje po cca 1,5 metrech a slouží jako liniová podpora pro dřevěný rošt, který tvoří pochozí část mostovky. Dřevěná konstrukce roštu je tvořena trámy průřezu 140x80 mm, které jsou umístěny pravidelně vedle sebe na sraz v podélném směru lávky a jsou přes příčný dřevěný nosník propojeny s válcovaným profilem U140, viz obr. 3.3.

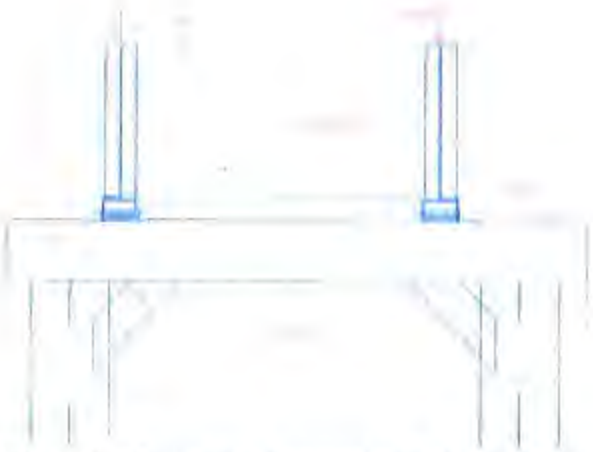


Obr. 3.3 – Dřevěná konstrukce mostovky lávky pro pěší

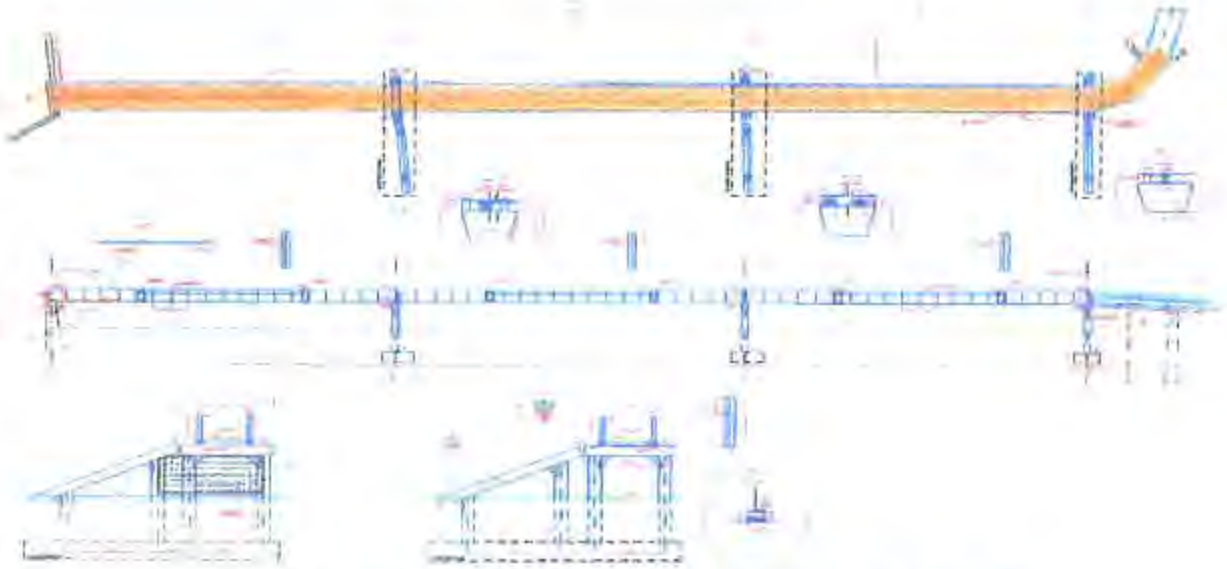
Typický příčný řez konstrukce lávky je znázorněn na obr. 3.4. Půdorys s bokorysem konstrukce je na obr. 3.5.

Ocelová konstrukce lávky je vystavena vnějšímu vlivu prostředí, který se projevuje korozí materiálu. Tato koroze může mít významný vliv na snížení únosnosti konstrukce a provedených spojů. Geometrie konstrukce je také poznamenána nadměrnými deformacemi ve svislé a vodorovné rovině, které mohly vzniknout v době významných záplav, kterým již byla konstrukce vystavena, či poklesem podpor. Konstrukce se nachází v poměrně neudržovaném stavu, jenž má dopad na její životnost.

Cílem této technické zprávy není zhodnocení současného technického stavu konstrukce, s dopadem na stanovení a posouzení únosnosti konstrukce, ale posouzení její dynamických vlastností (vlastních frekvencí), které mohou být příčinou nežádoucích amplitud výchylek a zrychlení při předpokládaném zatížení chodci a cyklisty.



Obr. 3.4 – Příčný řez konstrukcí lávky pro pěší



Obr. 3.5 – Půdorys, bokorys a typické řezy konstrukce lávky pro pěší

4. MODÁLNÍ ANALÝZA KONSTRUKCE

4.1. METODIKA VÝPOČTU

Konstrukce je modelována v programu Dlubal RFEM 5.05 s použitím modulu RF-DYNAM. Program umožňuje řešení prostorových prutových a stěnodeskových konstrukcí pomocí MKP. Pro výpočet vlastních čísel a tvarů konstrukce byla použita metoda řešení kořene charakteristického polynomu. Při použití statické analýzy byla konstrukce počítána metodou II. Řádu, tzv. iterační metodou Newton-Raphson.

Byly vypočteny rozhodující vlastní frekvence konstrukce lávky pro stanovení citlivosti chování konstrukce na dynamické zatížení. Dle ČSN 73 6203 není nutné při posouzení konstrukce použít dynamické součinitele pohyblivého zatížení, jestliže vlastní frekvence konstrukce leží v intervalu:

$$1.4\ \text{Hz} < f_{(i)} < 3.3\ \text{Hz}$$

Vyhodnocení vlastních frekvencí je provedeno nejen pro 1. vlastní tvar, ale i pro další tvary, ve kterých lze předpokládat kmitání konstrukce lávky. V případě, že vlastní frekvence leží v uvedeném rozmezí, je nutno provést dynamický výpočet na odezvu konstrukce zatížené chodci.

V odborné literatuře je oblast frekvencí, ve kterých jsou konstrukce typu lávky pro pěší a cyklisty náchylné na kmitání stanovena v rozmezí:

1,6 – 2,4 Hz pro chůzi

2,4 – 3,5 Hz pro běh a poskakování

3,5 – 4,5 Hz pro cyklisty

4.2. VÝPOČET VLASTNÍCH FREKVENCÍ

Výpočet modálních vlastností byl proveden pro několik výpočetních modelů s rozdílnou charakteristickou hmotností. První výpočet se týkal nezatížené konstrukce (pouze vlastní tíha bez chodců). Na obr.4.1. je znázorněn I. vlastní tvar pro konstrukci modelovanou bez dodatečného ztužení, tzn. model odpovídající stavu, ve kterém se aktuálně konstrukce nachází. Na obr.4.2. a obr.4.3. jsou pro tuto konstrukci znázorněny II. a III. vlastní tvar.

Na obr.4.4. je znázorněn I. vlastní tvar pro model konstrukce vyztužený o dobetonovanou spřaženou monolitickou desku v úrovni stávající mostovky tl. 120 mm, tzn. model odpovídající stavu, který by mohl být uvažován při rekonstrukci lávky. Na obr.4.5. a obr.4.6. jsou pro tuto konstrukci znázorněny II. a III. vlastní tvar.



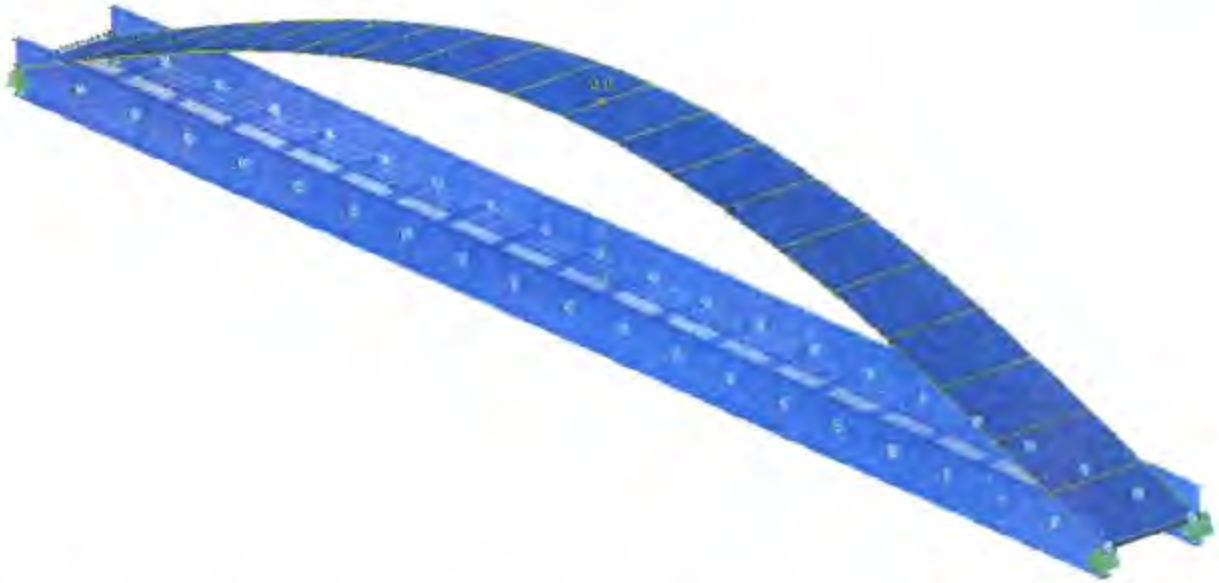
Obr. 4.1 – I. vlastní tvar nezatížené nevyztužené konstrukce, $f_1 = 3{,}21$ Hz.



Obr. 4.2 – II. vlastní tvar nezatížené nevyztužené konstrukce, $f_2 = 12{,}67$ Hz.



Obr. 4.3 – III. vlastní tvar nezatížené nevyztužené konstrukce, $f_3 = 27{,}90$ Hz.



Obr. 4.4 – I. vlastní tvar nezatížené konstrukce, ztužené monolitickou spřaženou betonovou deskou, $f_1 = 2{,}06$ Hz.



Obr. 4.5 – II. vlastní tvar nezatížené konstrukce, ztužené monolitickou spřaženou betonovou deskou, $f_2 = 3{,}76$ Hz.



Obr. 4.6 – III. vlastní tvar nezatížené konstrukce, ztužené monolitickou spřaženou betonovou deskou, f_3 = 12,14 Hz.

V tabulce 4.1 jsou shrnuty výsledky vlastních frekvencí jednotlivých výpočetních modelů. Pro ověření citlivosti výsledků na tuhost konstrukce byl výpočet proveden i pro redukovanou tuhost konstrukce. Tuhost konstrukce hlavních ocelových nosníků zde byla snížena o 10%.

	Model neztužené konstrukce		
	bez chodců	jeden chodec	skupina chodců
f0(1)	3,21 Hz	3,19 Hz	2,85 Hz
f0(2)	12,67 Hz	12,67 Hz	11,26 Hz
f0(3)	27,90 Hz	27,72 Hz	24,79 Hz
	Model neztužené konstrukce s redukovanou tuhostí		
	bez chodců	jeden chodec	skupina chodců
f0(1)	3,05 Hz	3,03 Hz	2,71 Hz
f0(2)	12,02 Hz	12,02 Hz	10,68 Hz
f0(3)	26,47 Hz	26,30 Hz	23,52 Hz
	Model ztužené konstrukce betonovou mostovkou		
	bez chodců	jeden chodec	skupina chodců
f0(1)	2,06 Hz	2,06 Hz	1,96 Hz
f0(2)	3,76 Hz	3,74 Hz	3,43 Hz
f0(3)	12,14 Hz	12,14 Hz	11,07 Hz

Tab. 4.1 – Vlastní frekvence pro dominantní vlastní tvary

Z tabulky 4.1. je patrno, že změna vlastních frekvencí u konstrukce s redukovanou tuhostí nemá zásadní dopad na změnu modálních vlastností a analyzovat konstrukci na detailnějším modelu by zřejmě nepřineslo významnou změnu ve výsledcích.

Konstrukce lávky je dle dosažených výsledků citlivá na zatížení chodci a cyklisty a při posouzení konstrukce je nutné použít dynamické součinitele pohyblivého zatížení. Při posouzení konstrukce by bylo vhodné použít dynamickou analýzu zohledňující pohyb chodce a skupiny chodců na lávce pro pěší.

Ztužení konstrukce lávky pro pěší pomocí dobetonované zpřažené desky se jeví jako velmi problematické. Dojde ke snížení vlastních frekvencí, které se přesunou do oblasti citlivější na pohyb chodců po konstrukci. Statickým výpočtem přetvoření takto zatížené konstrukce, s uvažovaným charakteristickým zatížením $f_k = 4$ kN/m^2 bez uvážení dynamických součinitelů, získáme svislé max. posunutí konstrukce $w_z = 158{,}4$ mm, což je poměrně značná deformace, která by nevyhověla na požadavek 2.MS.

Vhodným řešením se jeví použít pro stávající konstrukci pohlcovače kmitání, které se skládají z hmoty uložené na pružinách doplněné viskózním tlumičem. Tento pohlcovač je naladěn na frekvenci konstrukce, kterou má utlumit. Vzhledem k výšce mostovky lávky pro pěší nad hladinou řeky, viz obr.3.1, může být ovšem tato zavěšená konstrukce pohlcovače pod mostovkou lávky nevhodná, či přímo nežádoucí.

5. ZÁVĚR

Výpočet modálních charakteristik konstrukce lávky pro pěší a cyklisty potvrdil předpoklad citlivosti konstrukce na zatížení chodci.

Ztužení konstrukce dobetonovanou deskou se jeví jako nevhodné z důvodu přeladění konstrukce do pásma nižších vlastních frekvencí bližších se budícím frekvencím chodce. Nadměrné přetvoření nárůstem hmotnosti konstrukce vyvodí také nadměrné přetvoření od vlastní tíhy konstrukce a uvažovaného užitného zatížení.

Použití pohlcovače kmitání může být velmi účinné ale problematické s jeho vhodným umístěním na konstrukci vzhledem k malé vzdálenosti mezi hladinou řeky a mostovkou konstrukce.

Pro výsledné navržené konstrukční a technické řešení doporučujeme stanovit odezvu na dynamické zatížení chodci a sestavit přenosovou funkci vyjadřující vliv buzení různými frekvencemi na odezvu konstrukce.

V Praze dne 10. března 2016

Vypracoval: Ing. Karel Pohl, Ph.D.
Prof. Ing. Jiří Máca, CSc.