



▲ Obr. 1 Celkový pohled na lávku proti proudu (foto: Tomáš Malý)

Lávka přes Otavu v Písku



Ing. Vladimír Janata, CSc.

Absolvent Fakulty stavební ČVUT, doktorskou práci na téma statika a dynamika kotvených stožárů obhájil na ÚTAM AV ČR. V roce 1990 založil s kolegy společnost EXCON. Ve své praxi se věnoval projektům kotvených stožárů v ČR i v zahraničí a stožárům pro mobilní operátory. V projektech nosných ocelových a ocelobetonových konstrukcí zpravidla využívá globálního předpínání konstrukce za účelem nadvýšení a příznivé redistribuce vnitřních sil. E-mail: janata@excon.cz

K situování a prostorové konfiguraci nové lávky pro pěší a cyklisty nad jezem u Václavského předměstí vedlo píseckého rodáka Josefa Pleskota mnoho silných urbanisticko-architektonických podnětů.

Lávka se půdorysně láme pod úhlem 135° nad pilířem P2 na čtvercové plošině (obr. 1, 4, 6) poblíž václavské strany. Pravá část je visutá asymetrická lávka s rozpětím 81,7 m, která křížuje jez a směřuje

přímo proti kostelu sv. Václava (obr. 2). Levou část tvoří zavěšená lávka s rozpětím 46,7 m, která směřuje ke kultovnímu vrchu Hradiště (obr. 3). Předmostí byla vybudována ve vhodných místech s ohledem na vazby k okolí, bez zásahu do soukromých pozemků a s důrazem na přirozený pohyb a pohodlí chodců.

Dispoziční řešení

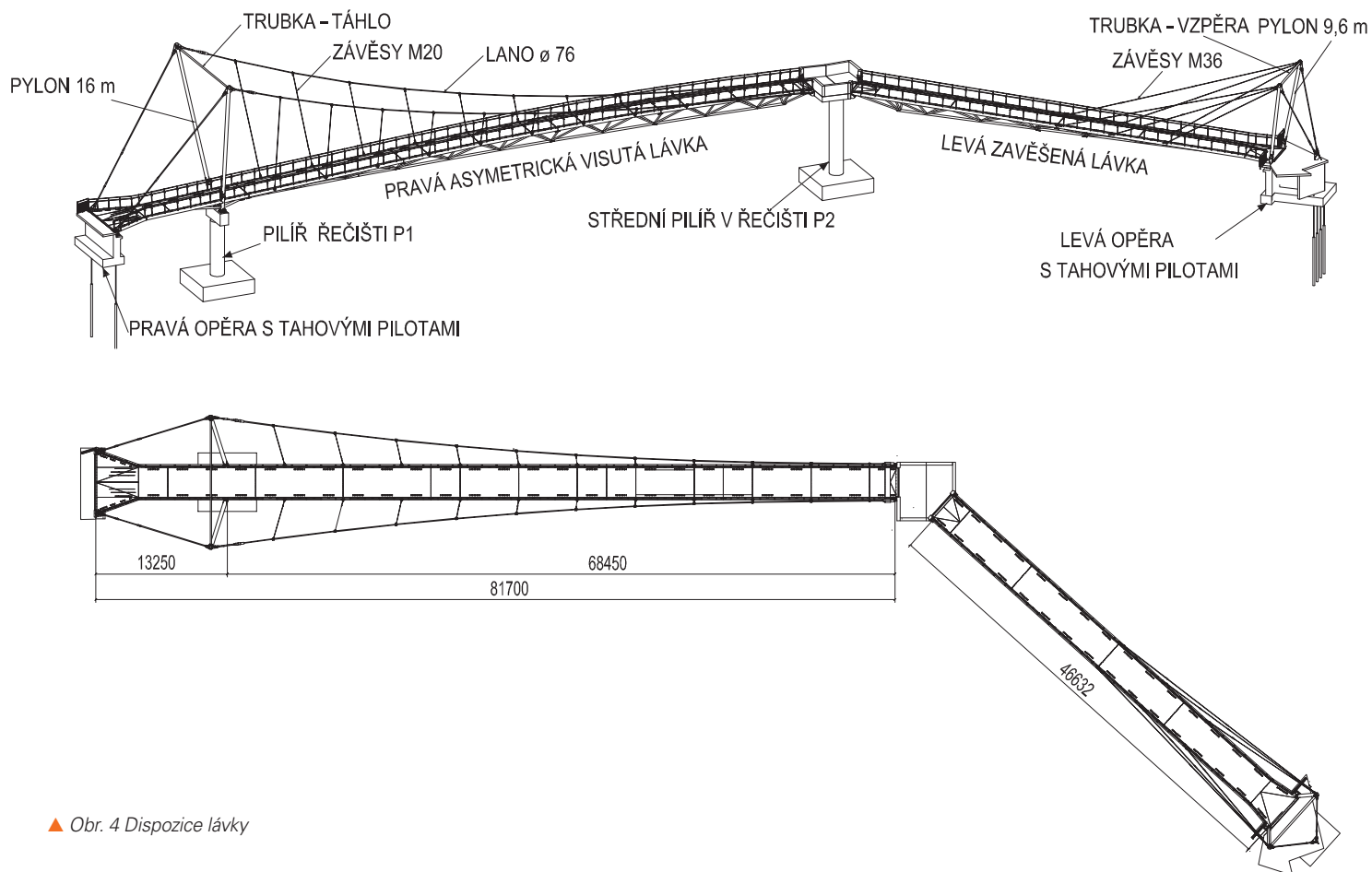
Jedním z přání architekta bylo, aby výšky pylonů nepřesáhly limity výšek místa a aby se negativně nekonfrontovaly s jakýmkoliv architektonickými či přírodními dominantami. Zavěšení a tvar levé lávky vyplynulo přirozeně z daných podmínek. Základním parametrem je hladina stoleté vody. V části u opěry, kde lávka visí na třech dvojicích závěsů M36, je lávka štíhlá. Kdyby byla zavěšena po celé délce, musela by mít pylony výrazně vyšší. Ve své druhé polovině lávka působí už jako nosník díky tomu, že mostovka stoupá se sklonem 5 % a spodní pas se sklonem pouze 1,5 %. Tuhost tělesa lávky se tak postupně zvyšuje. Pylony z trubek $\varnothing 324$ mm, kloubově kotvené do krajních pasů lávky, jsou mírně skloněny směrem k opěře a rozvírají se vně lávky pod vertikálním úhlem 9° . S ohledem na potřeby dispozičního řešení předmostí jsou pylony stabilizovány dvěma zadními táhly M76, kotvenými do jednoho bodu v podélné ose lávky (obr. 3). Ve vrcholu jsou pylony propojeny trubkovou vzpěrrou, která zajišťuje jejich rozteč a přenáší tlakovou sílu, jež je výslednicí sil v závěsech



▲ Obr. 2 Visutá asymetrická lávka, směr kostel sv. Václava (foto: Tomáš Malý)



▲ Obr. 3 Zavěšená lávka, směr kultovní vrch Hradiště. V předpolí lávky je patrný systém kotvení zadních táhel (foto: Tomáš Malý).



▲ Obr. 4 Dispozice lávky

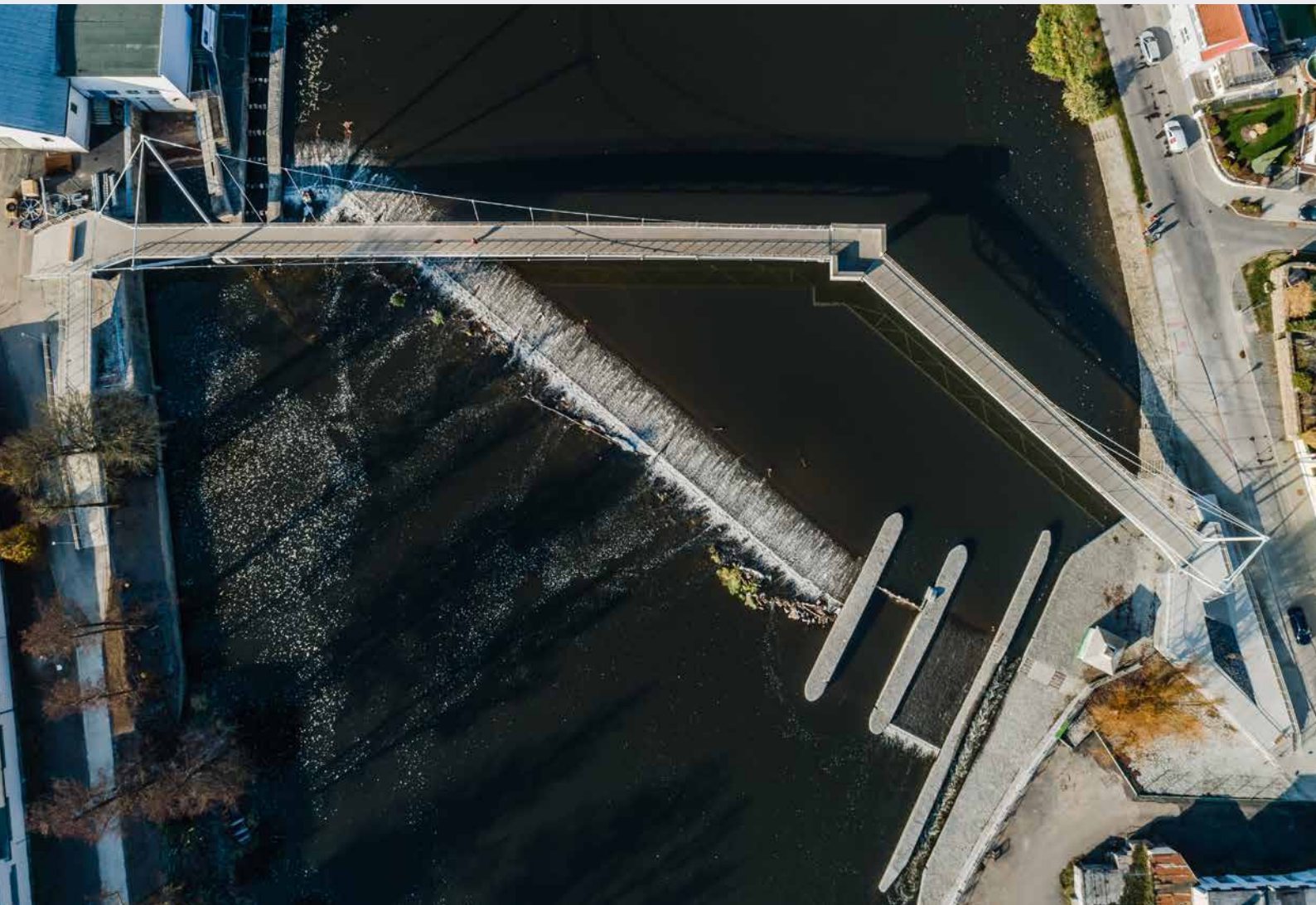


▲ Obr. 5 Uložení visuté lávky na pilíři P1 a rybí přechod (foto: Tomáš Malý)

a zadních táhlech. Tvar lávky a poloha táhel umožňují symetrický průhyb její zavěšené a nezavěšené části.

Pro pravou lávku byla zvolena visutá asymetrická konstrukce (obr. 7). Zatímco u standardní visuté lávky směřují lana z pylonu na pylon, v tomto případě jsou pylony jen na jedné straně a prostorová křivka nosných lan \varnothing 76 mm končí na druhé straně v tečně u mostovky. Efekt zavěšení lávky na lano prostřednictvím tyčových závěsů M20 každých 6 m směrem od opěry opět postupně klesá, a proto tělo lávky díky stoupající mostovce zvyšuje svou tuhost i v tomto případě. Podélný sklon závěsů je navržen tak, že v bočním pohledu směřují paprsky závěsů pod mostovkou do jednoho bodu. Mostovka lávky nejprve stoupá rovnoměrně se sklonem 5 %, poté přechází niveleta do kružnice s vrcholem cca ve třech čtvrtinách délky a následně niveleta zase klesá po kružnici směrem k pilíři v řece. Z čelního pohledu přijíždějícího vodáka tak má lávka jako celek vrchol uprostřed rozpětí a působí jako jeden integrální celek.

▼ Obr. 6 Situace lávky (foto: Tomáš Malý)



Navíc se ukázalo, že kotvení nosných lan v tečně ke klesající mostovce má příznivý efekt. Osová síla vnesená lanem do horních pasů působí proti průhybu lávky. Pylony jsou kloubově uloženy nad horními pasy lávky, podepřeny na pilíři umístěném v řece 13,25 m od krajní opěry (obr. 5). Pylony z trubek \varnothing 355 mm jsou mírně skloněny směrem k opěře a rozvírají se vně lávky pod vertikálním úhlem 19° . Vrcholy pylonů jsou stabilizovány dvěma zadními táhly M90, kotvenými do horních pasů tělesa lávky přímo nad jejich vertikálním kotvením do opěry (obr. 9). Vodorovná složka síly v zadních táhlech je tak vnesena do pasů mostovky a působí proti vodorovné složce síly od kotevních lan a závěsů. Opěra a pilíře lávky jsou tak, kromě třecích sil v ložiscích, zatíženy pouze vertikálními reakcemi. Ve vrcholu jsou pylony propojeny trubkovým táhlem zajišťujícím jejich rozteč a přenášejícím tahovou sílu, která je výslednicí sil v zadních táhlech a hlavních lanech (obr. 8).

Vyklonění pylonů vně mostovky stabilizuje obě lávky v příčném směru staticky i dynamicky. Při dynamické zkoušce se ukázalo, že příčně nelze lávky výrazně rozkmitat ani vandalsky. Rozevření zároveň odlehčuje pocitu chodce.

Technické řešení lávky

Konstrukční řešení a kotvení lávky

Těleso lávky z materiálu S355 je celosvařované, trojboké, příhradové, proměnné konstrukční výšky, z trubek svařovaných na pronik. Horní pasy lávek v osově vzdálenosti 3300 mm jsou z trubek \varnothing 324 mm, spodní pasy z trubek \varnothing 219 mm. Šikmé stěny jsou tvořeny diagonálami z trubek \varnothing 139 mm. Visutá lávka je kotvena proti vertikální tahové reakci na opěře dvěma kotevními šrouby



▲ Obr. 7 Pro pravou lávku byla navržena visutá asymetrická konstrukce (foto: Tomáš Malý)

s T hlavou $\varnothing 90$ mm do zabetonovaných kotevních roštů. Kotevní rošt tvoří součást svařence, který je spojen s tahovou pilotou. Táhla M76 zavěšené lávky jsou kotvena do společného kotevního roštu. Zavěšená lávka je na opěře kotvena přes konstrukční vahadlová válcová ložiska se zářázkami.

Visutá lávka je pod pylony uložena na pilíři P1 na elastomerových ložiscích, na pilíři P2 jsou obě lávky uloženy na elastomerových ložiscích s posuvem. Na všech opěrách a pilířích lávku navíc v podélné ose zajišťují příčné zářázky. Lávka má ortotropní mostovku sestávající z plechu, příčniců a podélných výztuh. Mostovka je v příčném směru vyklenutá se středním vzepětím 35 mm, což zajišťuje odvod vody ke krajům do otvorů v mostovce. Plech mostovky je podélně přivařen k horním pasům tělesa lávky. Mostovka je opatřena přímopochozí hydroizolací s protiskluzovou úpravou. Zábradlí výšky 1300 mm od horní hrany pasu tvoří sloupky z pásové oceli a nerezové sítě. Madlo zábradlí ve výšce 1100 mm je dřevěné, kotvené na podélném ocelovém hranolu (obr. 17).

Konstrukční systém táhel a lan

Konstrukční systém táhel Macalloy M20, M36, M76 a M90 sestává z tyčí s mezí kluzu 520 MPa s válcovaným závitem, z napínákových matic, konických krytek, koncovek a čepů. Pro závěsy M20 visuté lávky byly zkonstruovány rektifikovatelné detaily zakončení s prostorovým kloubovým uložením (obr. 11). Lana o průměru 76 mm jsou vinutá z pozinkovaných drátů a mají uzavřenou konstrukci ve vnějších vrstvách. U tělesa lávky jsou válcové koncovky lan opřeny do boční výztuhy lávky vně pasů (obr. 12). U pylonů jsou lana zakončena koncovkou se závitovou tyčí M120. Dále bylo lano přechodovým dílem převedeno na tyč Macalloy M90 s napínákovou maticí s rektifikací ± 100 mm, která je zakončena koncovkou s čepem. To umožnilo zjednodušení detailu na vrcholu pylonu (z obou stran stejná koncovka). Zároveň byla zajištěna možnost pohodlného dopnutí lana a tenzometrického měření síly v nosném lanu (obr. 13).



▲ Obr. 8 Geometrie kotvení lan a táhel ve vrcholu pylonu (foto: Tomáš Malý)

▼ Obr. 9 Kotvení zadního táhla visuté lávky do horního pasu tělesa lávky





▲ Obr. 10 Plošina na pilíři P2 (foto: Tomáš Malý)

Založení lávky a betonové konstrukce

Spodní stavbu tvoří dvě opěry na nábřeží a dva pilíře situované v korytě řeky. Obě krabicové opěry jsou založeny hlubinně na mikropilotách zřízených z úrovně terénu. Tvar opěr je přizpůsoben architektonickému řešení přístupů na lávku. Pilíře jsou založeny plošně na skalním podloží. Základy byly budovány v těsněných štětovnicových jámkách. Pilíř P1 je integrován do konstrukce jezu u rybiho přechodu a jeho dírk průměru 1,5 m podpírá pylon visuté části lávky. Pilíř P2 je umístěn soliterně v řece a nese betonovou vyhlídkovou plošinu (obr. 10), na které jsou uloženy konce obou ocelových nosných konstrukcí lávky.

Montáž ocelové konstrukce lávky

Po svaření dvou přepravních dílců zavěšené lávky na břehu do jednoho celku byla lávka osazena jeřábem na opěru O2 a pilíř P2. Pro eliminaci nadměrných deformací lávky před vlastním osazením táhel byla konstrukce stále uvázaná na jeřáb. Teprve po instalaci pylonů s příčlím, zadních táhel a jedné dvojice předních táhel mohla být konstrukce definitivně uvolněna z jeřábu. Po kompletaci všech táhel byla táhla dopnuta k dosažení projektovaného nadvýšení konstrukce a projektovaných sil.

▼ Obr. 11 Rektifikovatelný závěs M20

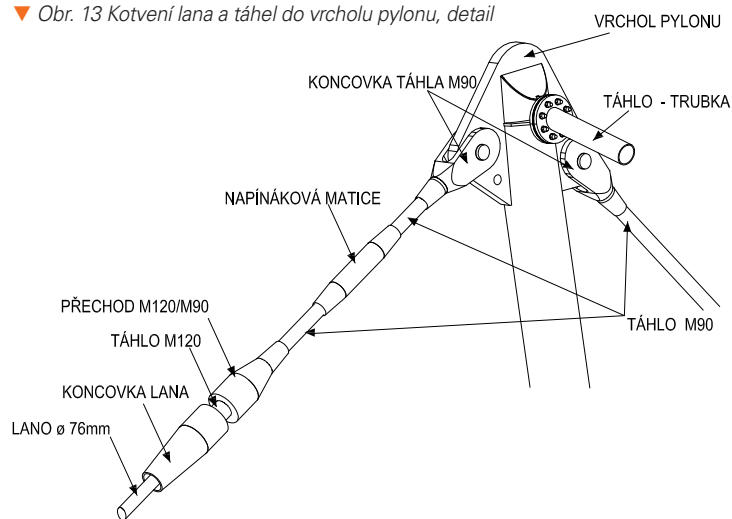


▼ Obr. 12 Lávka visutá, montáž válcové koncovky do boční výtzuhy na horním pasu tělesa lávky



Pravá visutá asymetrická lávka byla smontována z šesti dílů do jednoho celku na břehu, v prostoru opravované cyklostezky. Poté byla osazena mobilním jeřábem na opěru, oba pilíře a provizorní podporu na jezu (obr. 14). Dále byl osazen pylon se zadními táhly a vpředu se čtveřicí provizorních lan $\varnothing 12$ mm kotvených do tělesa

▼ Obr. 13 Kotvení lana a táhel do vrcholu pylonu, detail





▲ Obr. 14 Montáž tělesa lávky na opěru pilíře a montážní podporu v řece



▲ Obr. 16 Napínání táhel hydraulickým zařízením



▲ Obr. 15 Montáž závěsů, lana v horizontální poloze zajištěna stripy



▲ Obr. 17 Mostovka, zábradlí, madlo

lávky a předepnutých silou 60 kN, kterými se vrcholy pylonů zafixovaly do projektované polohy. Tím také došlo k eliminaci průhybu lávky mezi pilířem P1 a provizorní podporou v řece a byla vnesena potřebná síla do zadních táhel, aby působila nadále lineárně.

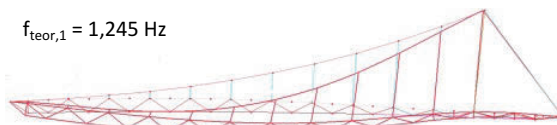
Poté byla nosná lana dvojicí jeřábů odložena vně mostovky na předem připravené dřevěné fošny a zatažena do pozice, kdy se koncovka opřela přes boční výtuhu do konstrukce lávky (obr. 12). Následně byla koncovka táhla M90 na druhém konci lana zakotvena přes čep do kotevního plechu na pylonu. Po vyvěšení zaujala lana svou přirozenou polohu – řetězovku s osovou silou 90 kN. Půdorysně byla nosná lana uvedena čtyřmi vodorovnými montážními stripy (pásky) přibližně do projektované vzájemné vzdálenosti. Závěsy M20 byly nainstalovány v projektovaných délkách a předepnuty tak, aby se síla v lanech zvýšila na 310 kN (obr. 15). Tím došlo k povolení provizorních lan \varnothing 12 mm, která byla následně odstraněna.

Posledním krokem bylo dopnutí zadních táhel M90 hydraulickým zařízením (obr. 16) tak, aby bylo dosaženo nadvýšení konstrukce a projektovaných sil v lanech a táhlech. Výsledné síly v lanech i táhlech a tvar lana se velmi dobře shodují s projektovanými hodnotami. Všechna táhla obou lávek byla pro měření sil osazena tenzometry v konfiguraci plného můstku. Předpínání probíhalo podle předem připraveného postupu s využitím vztahových matic vzájemného ovlivňování sil v táhlech pod vedením projektanta a s podporou trvale přítomného geodeta. Síly byly měřeny současně na všech táhlech přes ústřednu. Na závěr byla všechna táhla změřena frekvenčně.

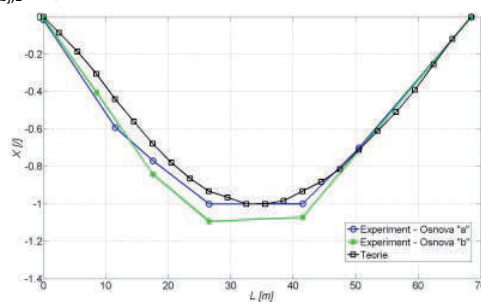
Dynamická zkouška lávky a pohlcovače kmitů

Dynamická zkouška lávky proběhla za účelem ověření vypočtených rezonančních frekvencí, příslušných tvarů kmitání (obr. 18) a útlumu i měření svislé a vodorovné odezvy (amplitud zrychlení) vyvolané pohybem chodců po konstrukci mostovky lávky. Zkouškou se zjistilo, že vibrace lávky zatížené chodci krátkějšími běžnou chůzí nepřekračují

$$f_{\text{teor},1} = 1,245 \text{ Hz}$$



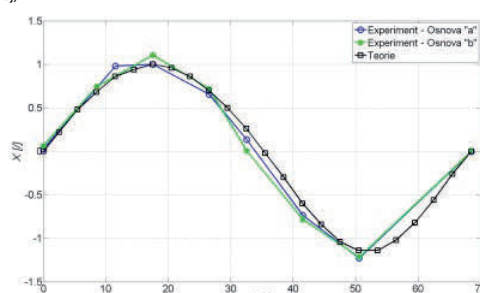
$$f_{\text{obj},1} = 1,340 \text{ Hz}$$



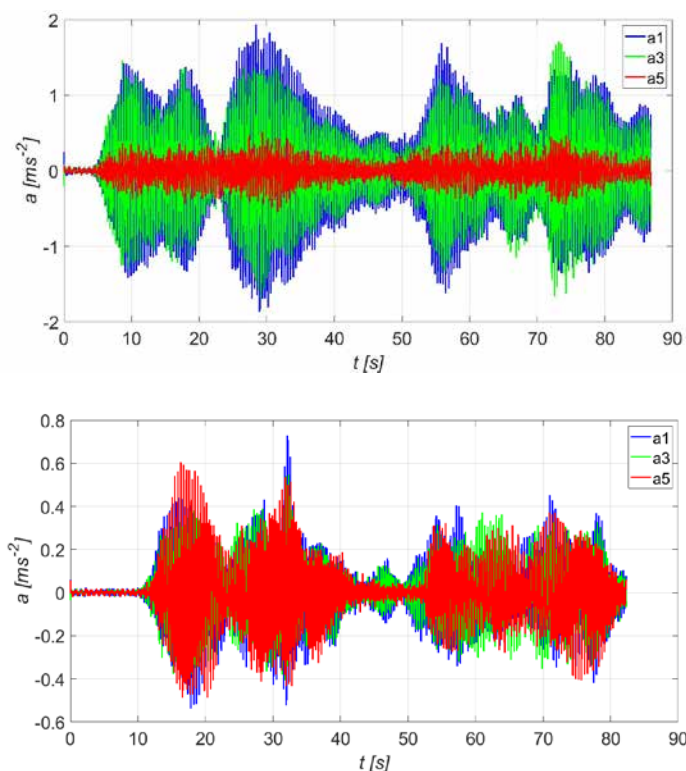
$$f_{\text{teor},2} = 2,462 \text{ Hz}$$



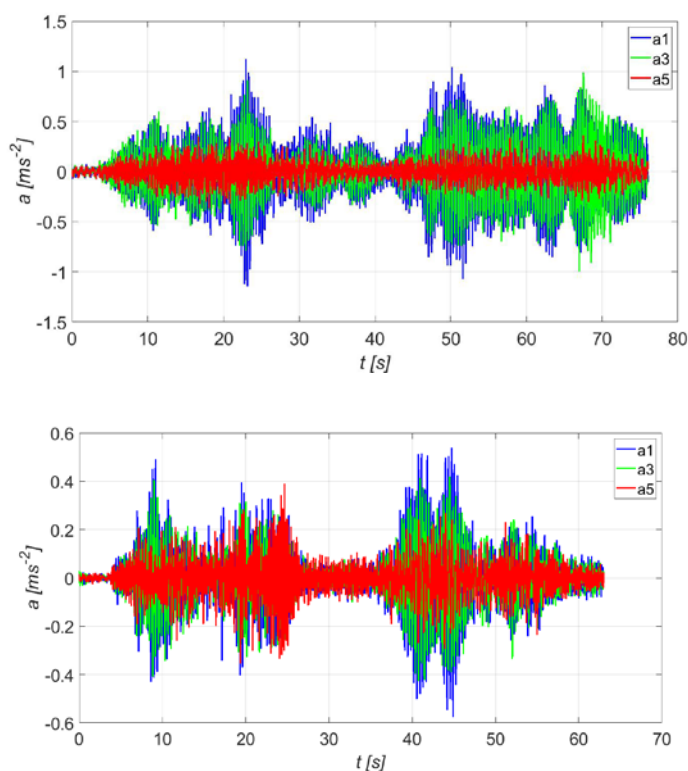
$$f_{\text{obj},2} = 2,466 \text{ Hz}$$



▲ Obr. 18 Srovnání teoreticky stanoveného prvního (nahore) a druhého (dole) vlastního tvaru vertikálního ohybového kmitání s ekvivalentními experimentálně vybudnými rezonančními tvary



▲ Obr. 19 Časový průběh vertikálního zrychlení mostovky bez pohlcovačů (nahore) s pohlcovači (dole) při běhu čtyř osob synchronizovaně ve 2 vl. frekvenci. Visutá asymetrická lávka.



▲ Obr. 20 Časový průběh vertikálního zrychlení mostovky bez pohlcovačů (nahore) s pohlcovači (dole) při běhu čtyř osob bez synchronizace. Visutá asymetrická lávka.

mezní hodnoty zrychlení pohybu, takže lávku bylo možno uvést do provozu i bez pohlcovačů. Při běhu více než dvou osob byly překročeny mezní hodnoty zrychlení. Po instalaci pohlcovačů kmitů byl zajištěn maximální komfort chodců i při ojedinělých sportovních aktivitách (obr. 19, 20). Pro visutou asymetrickou lávku byly navrženy dvě dvojice pohlcovačů, každý s hmotou 450 kg, na čtyřech pružinách, pro zavěšenou lávku jedna dvojice tlumičů s hmotou 400 kg.

Generální dodavatel stavby: Metrostav a.s., divize 6, oblastní zastoupení pro jižní Čechy

Zhotovitel ocelové konstrukce: Metrostav a.s., divize 3, provoz ocelových konstrukcí

Dodávka, montáž a předepnutí lan a táhel: Tension Systems, s.r.o.

Pohlcovače kmitů: EXCON, a.s.

Závěr

Výsledná geometrie obou částí lávky byla navržena tak, aby průběh vnitřních sil a deformací i dynamické charakteristiky byly v daných okrajových podmínkách optimální. Pro asymetrickou visutou ocelovou lávku s vykloněnými osnovami lan a závěsů byly vyvinuty některé detaily kotvení závěsů i lan a byl optimalizován montážní a předpínací postup. Konstrukce výrazně eliminuje dynamickou odezvu v příčném směru i kmitání jednotlivých prvků. ■

Identifikační údaje stavby

Název stavby: Lávka přes Otavu v Písku

Investor: město Písek

Autoři: Josef Pleskot, AP atelier, Vladimír Janata, EXCON, a.s.

Spolupráce: Andrej Škripeň, Zdeněk Rudolf, Veronika Škardová, AP atelier

Statika ocel: Jan Včelák, Jindřich Beran, EXCON, a.s.

Statika beton a založení: Petr Nehasil, Tomáš Pacík, Mott MacDonald CZ, spol. s. r.o.

Dynamická zkouška: Stanislav Hračov, ÚTAM AV ČR, v.v.i.

english synopsis

A Footbridge over the River Otava in the City of Písek

A great many powerful urbanist architectural impulses led Josef Pleskot, who was born in the City of Písek, towards the placing and spatial configuration of a new bridge for pedestrians and cyclists over the Václavské Předměstí weir. The bridge is built at an angle of 135° to the ground plan above a pillar on a square platform near the Václavské side. The right-hand side is an asymmetric suspended footbridge with a span of 81.7 m, which crosses the weir and heads directly towards St Wenceslas' Church. The left-hand side is formed of a cable stayed footbridge with a span of 46.7 m, which leads in the direction of the ritual peak Hradiště. The bridge heads were built on suitable sites respecting connections to the surrounding area, without encroaching onto private land, and with an emphasis on the natural movement and convenience of pedestrians.

klíčová slova:

Písek, lávka přes Otavu, ocelová visutá asymetrická lávka, zavěšená lávka, konstrukční systém táhel a lan

keywords:

the city of Písek, footbridge across the River Otava, asymmetric suspended steel footbridge, cable stayed footbridge, structural system of rods and cables