



LÁVKA PŘES ŘEKU SVRATKU V BRNĚ-KOMÁROVĚ

PEDESTRIAN BRIDGE OVER THE SVRATKA RIVER IN BRNO-KOMAROV

**Martin Formánek, Jaroslav Bartoň,
Jiří Stráský, Martin Kozel**

Lávka pro pěší délky 60,4 m je popsána s ohledem na architektonické a konstrukční řešení a postup stavby. Konstrukci lávky tvoří Langrův trám sestavený z 6,5 m široké betonové mostovky a ocelového oblouku vyplněného betonem. Mostovka, která je tvořena páteřním nosníkem s oboustrannými žebrovanými konzolami, je zavěšena na oblouku lichoběžníkového průřezu. Tyčové závěsy mají radiální uspořádání. Protože jak oblouk, tak i mostovka jsou vetknuty do koncových příčníků přímo podepřených vrtanými pilotami, tvoří lávka integrovaný konstrukční systém. Lávka byla navržena na základě velmi detailní statické a dynamické analýzy.

A pedestrian bridge of length of 60.4 m is described in terms of its architectural and structural solution and a construction process. The bridge structure is formed by a tied arch assembled from a 6.5 m wide prestressed concrete deck and a steel arch filled with concrete. The deck that is formed by a spine girder with ribbed overhangs is suspended in the bridge axis on a single arch of a trapezoidal cross section. The bar suspenders have a radial arrangement. Since both the arch and the deck are fixed into end diaphragms directly

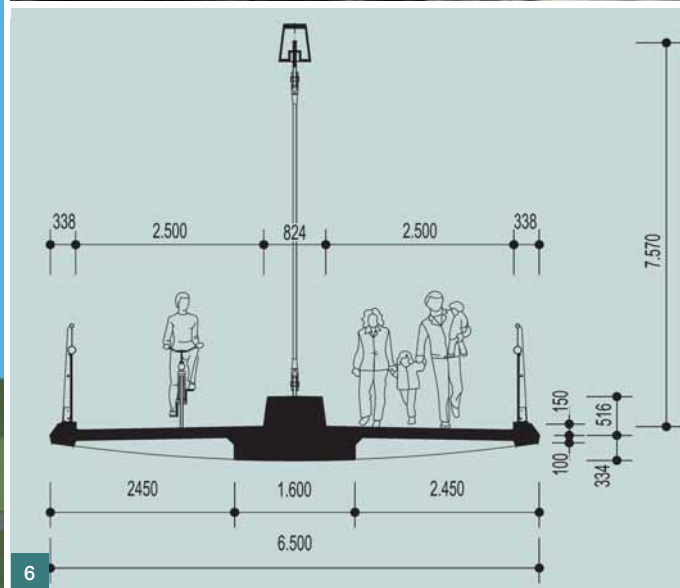
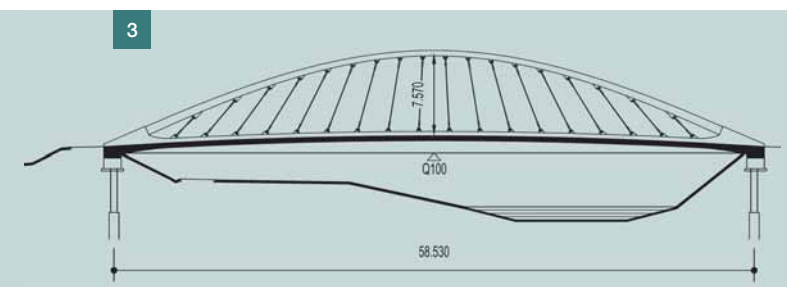
supported by drilled piles, the bridge forms an integral structural system. The bridge was designed on the basis of a very detailed static and dynamic analysis.

Na podzim loňského roku byla v jižní části Brna otevřena lávka pro pěší přes řeku Svatku (obr. 1). Lávka byla navržena v souvislosti s výstavbou sportov-

ních a volnočasových aktivit v lokalitě Hněvkovského, propojuje cyklostezky situované na levém a pravém břehu řeky Svatky (obr. 2) a umožňuje přístup ke sportovnímu areálu.

S ohledem na hladinu stoleté vody a výšku stávajících komunikací bylo nutno navrhnout co možná nejjednodušší konstrukci bez vnitřních podpěr. Konstrukce zavěšená na oblouk tak představuje logické řešení problému.





Osa lávky je přímá a ve výškovém zakuřovací oblouku, jehož tečny mají sklon 6,03 %. Lávká je navržena jako Langrův trám s rozpětím 58,53 m (obr. 3). Skloněné závěsy (obr. 4) mají radiální uspořádání s průsečíkem situovaným 19,9 m nad středem oblouku. Mostovka celkové šířky 6,5 m je tvořena páteřním nosníkem vystupujícím nad povrch komunikace. Nosník tvoří přirozené rozhraní mezi jízdnicí

pásky, které vedou na oboustranných konzolových deskách ztužených příčnými žebry (obr. 5 a 6). Šířka průchozího prostoru je 2 x 2,5 m.

Snahou autorů projektu bylo navrhnout úspornou konstrukci jemných rozměrů odpovídajících lidskému měřítku, konstrukci, jejíž krása vychází ze statické funkce. Současně takřka bezúdržbovou konstrukci tvořenou robustním průřezem bez dutin, lo-

žisek, kloubů a tlumičů vibrací. Štíhlou konstrukci, která nevyvolává u chodců nepříjemné pocity způsobené vibrací od jejich pohybu a větru. Osové zavěšení mostovky zaručilo, že nosné prvky konstrukce se nekříží, že lávka má ve všech pohledech jasný, čitelný řád a působí lehce a transparentně. Radiální uspořádání závěsů konstrukci nejen ztužilo, ale i přispělo k dynamickému vzhledu.



Obr. 1 Lávká přes řeku Svatku ■
Fig. 1 Pedestrian Bridge over the Svatka River

Obr. 2 Situace přemostění ■ Fig. 2 Plan bridging

Obr. 3 Podélný řez ■ Fig. 3 Elevation

Obr. 4 Uspořádání závěsů ■
Fig. 4 Suspenders arrangement

Obr. 5 Příčný řez lávkou ■ Fig. 5 Cross section of the pedestrian bridge

Obr. 6 Konstruktivní uspořádání ■
Fig. 6 Structural arrangement

Obr. 7 Podhled lávky ■ Fig. 7 Soffit of the pedestrian bridge



8 11



9



10



KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

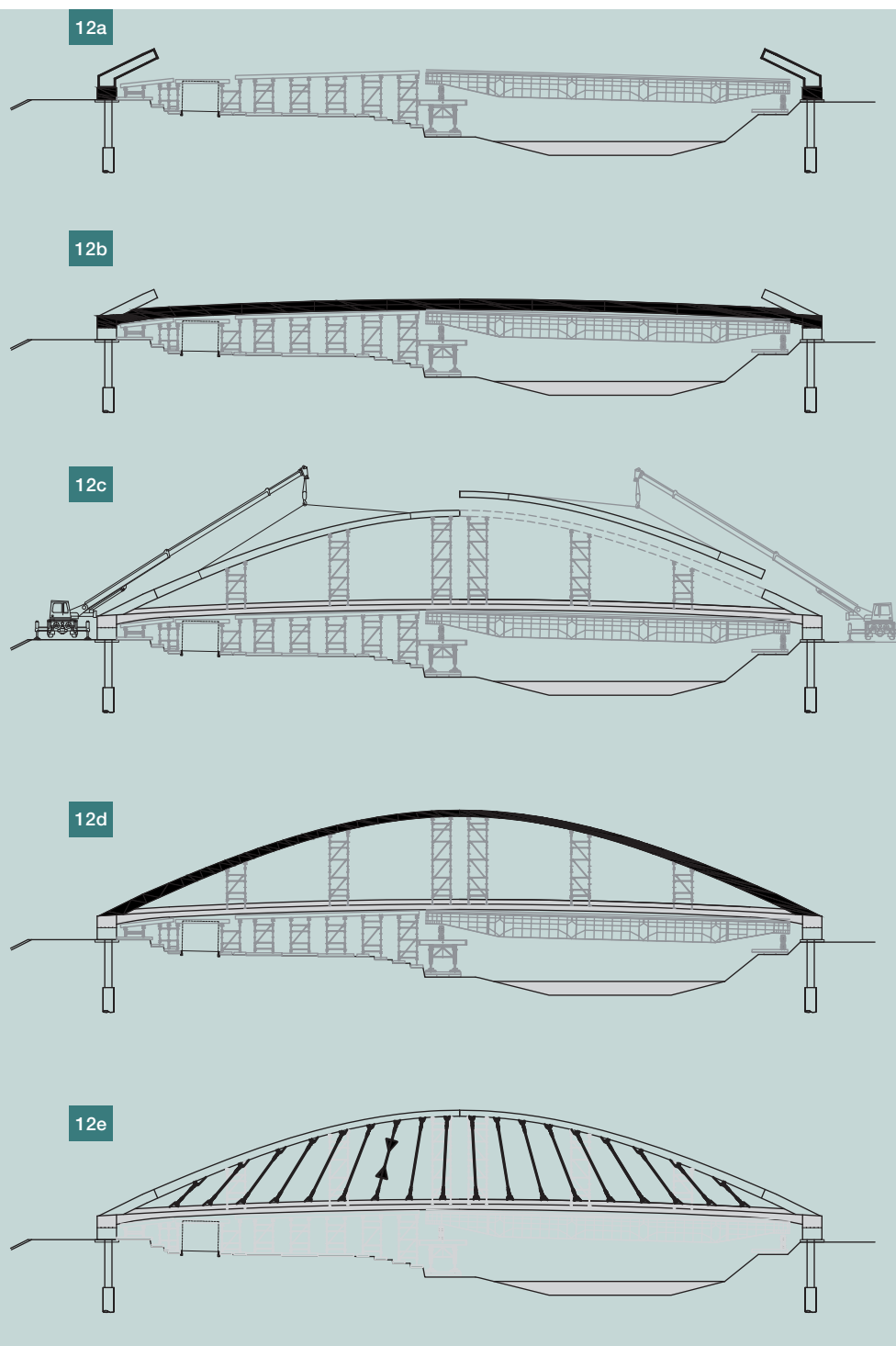
Mostovku tvoří lichoběžníkový páteřní nosník s vyloženými konzolami podporovanými žebry s osovou vzdáleností 2,8 m (obr. 7). Výška páteřního nosníku je 0,85 m, jeho šířka je 1,6 m v dolní části a 0,824 m v části horní. Konzolovitě vyložená mostovková deska tloušťky 0,13 m je ve střechovitěm příčném sklonu 2 %. Na koncích mostu se mostovka celkové šířky 6,5 m plynule rozšiřuje na 10,284 m; páteřní nosník se zde také plynule rozšiřuje na 3,369 m a zvyšuje se na 1,22 m.

Na koncích mostu je mostovka ztuže-

na koncovými příčníky, které současně tvoří krajní podpěry. V koncových příčnicích, které jsou přímo podepřeny vrstvanými pilotami, jsou kotveny ocelové patky oblouků (obr. 8) a předpínací kabely. Mostovka a příčníky jsou z monolitického, dodatečně předpjatého betonu C30/37-XF2. Zavěšení mostovky na oblouk je realizováno osmnácti symetrickými závěsy kotvenými v mostovce do ocelových plechů zabetonovaných v páteřním nosníku (obr. 9). Mostovka je předepnuta šesti dvanáctilánovými kabely systému BBV situovanými v páteřním nosníku.

Rozpětí oblouku je 58,53 m, jeho vzepětí je 8,76 m. Ocelový oblouk má lichoběžníkový průřez proměnné výšky. Ve vrcholu má průřez výšku 0,5 m a v místě montážního styku u paty 0,8 m.

Horní pásnice oblouku je z plechu P35 a má po celé délce konstantní šířku. Skloněné stěny jsou z plechu P22 a jejich sklon od vodorovné roviny $82,8750^\circ$ je konstantní. Dolní pásnice oblouku z plechu P35 má proměnnou šířku a je rozdělena drážkou o šířce 130 mm. Drážka prochází po oblouku mezi patními díly a končí 0,56 m před



Obr. 8 Patka oblouku ■

Fig. 8 Arch spring

Obr. 9 Kotvení závěsů v mostovce ■

Fig. 9 Suspenders anchoring at the deck

Obr. 10 Závěsy a osvětlení ■

Fig. 10 Suspenders and lighting

Obr. 11 Závěsy a osvětlení – v noci ■

Fig. 11 Suspenders and lighting – at night

Obr. 12 Postup stavby, a) betonáž opěr a montáž patek oblouků, b) betonáž mostovky, c) montáž oblouků, d) betonáž oblouků, e) napínání závěsů ■ Fig. 12 Construction sequences, a) abutments casting and arch springs erection, b) deck casting, c) arch erection, d) arch casting, e) suspenders tensioning

kou mezi kluzu 501 MPa, mezi pevností 734 MPa a tažností 24 %. Horní i dolní vidlicové koncovky táhel kotvené k styčnickovým plechům jsou rektifikovatelné (obr. 10). Nejkratší, vnější táhla jsou tyče P64, zbylá vnitřní táhla jsou z tyčí P56. Hlavním důvodem použití rozdílných průměrů lan je zaručení lineárně pružného chování i u méně namáhaných závěsů.

Spodní stavbu tvoří krajní opěry (koncové příčníky) integrované s nosnou konstrukcí. Základové bloky opěr tvoří monolitický železobetonový blok lichoběžníkového půdorysu o délkách stran 9,12 a 7 m, šířky 1,6 m a výšky 1 m. Do základů je zakotvena nosná výztuž z pilot. Na základové bloky přímo navazují koncové příčníky nosné konstrukce.

Most je založen na velkopřůměrových pilotách průměru 900 mm, které se na horních 4 m mění na průměr 600 mm. Piloty jsou vetknuty do předkvartérního podloží, tvořeného neogenním jílem.

Povrch lávky je pokryt přímopochozí hydroizolační stěrkou šedé barvy, přičemž finální posyp křemenným pískem je na páteřním nosníku a římsových parapetech vynechán. Vzhledem k převáděnému smíšenému provozu pěších a cyklistů je navrženo zábradlí se dvěma madly. Horní madlo je svou horní hranou 1,3 m a dolní madlo je svou horní hranou 1,1 m nad přilehlým povrchem cyklostezky. Výplň ocelových rámců mezi svislými zábradelními sloupky navrženy v rastru 2 m je z tahokovu. Prostor lávky je osvětlen LED diodovými svítidly umístěnými v ocelovém oblouku (obr. 10 a 11).

montážními styky u pat oblouku. Styčnickové plechy P50, resp. P35 přenáší zatížení z tyčových závěsů do oblouku pomocí dvojice výztuh P22. V drážce mezi styčnickovými plechy je umístěno svítidlo.

Oblouk byl rozdělen na čtyři montážní díly (dva patní a dva střední), které jsou navzájem odděleny betonážními přepážkami. V patě je oblouk vetknut prostřednictvím kotevního přípravku zabetonovaného do základového bloku. Pata oblouku je vyztužena systémem výztuh z plechu tloušťky 22 mm.

V místě vetknutí patního dílu oblouku

do nosné konstrukce je jejich vzájemné spojení zajištěno osazením spřahovacích trnů $\varnothing 16$ mm. Dále jsou do boční stěny vyvrtány otvory pro protažení příčné betonářské výztuže. Pro převedení kabelů podélného předpětí patou oblouku jsou osazeny a přivařeny ocelové chráničky tvořené trubkou průměru $\varnothing 133$ mm. Kotevní objímky kabelů jsou opřeny o kotevní desku z plechu P40 tvořící čelo paty oblouku. Oblouk je vyplněn betonem C30/37.

Nosná konstrukce je zavěšena prostřednictvím ocelových tyčových závěsů systému Protah s charakteristic-



Obr. 13 Montáž oblouků ■ Fig. 13 Arch erection

Obr. 14 Betonáž oblouků ■ Fig. 14 Arch casting

Obr. 15 Napínání závěsů ■ Fig. 15 Suspenders tensioning

Obr. 16 Výpočtový model ■ Fig. 16 Calculation model

Obr. 17 Výpočtový model ■ Fig. 17 Calculation model



POSTUP STAVBY

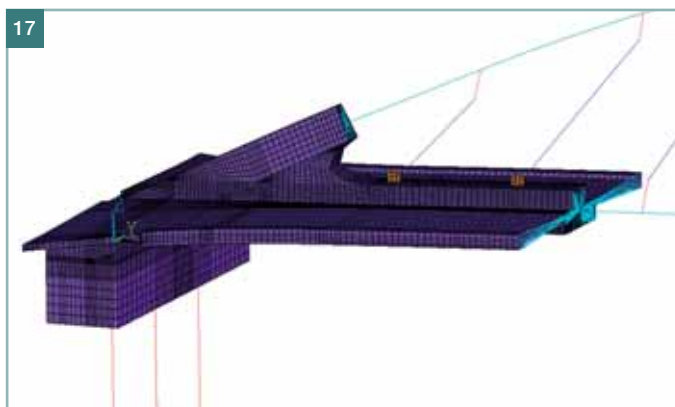
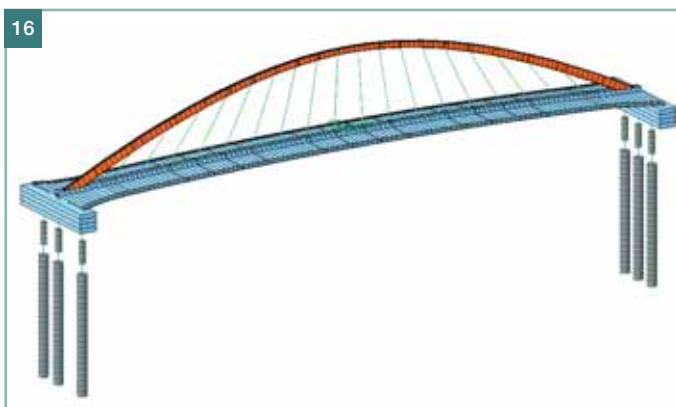
Stavební práce byly započaty zhotovením pilot a základových bloků. Následně byla postavena kombinovaná pevná skruž. Na bermě pravého břehu byl použit systém Peri. Pro překročení koryta řeky byly použity nosníky ŽBM. Jakmile byla definitivně připravena skruž včetně bednění, osadily se paty oblouku (obr. 8 a 12a). Před montáží pat oblouku byla osazena okolní betonářská výztuž a kabelové kanálky podélného předpětí.

Následně byla osazena betonářská a přepínací výztuž mostovky spolu s kotevními přípravky závěsů (obr. 9). Betonáž mostovky proběhla ve dvou fázích (obr. 12b). Nejprve byla vybetonována spodní část trámu, žebra a mostovková deska. Ve druhé fázi byla vybetonována horní část trámu nad deskou.

Po osazení montážních podpěr oblouku následovala montáž vnitřních obloukových dílců (obr. 12c a 13).

Po ověření geometrie byly dílce vzájemně svařeny a montážní podpěry spuštěny o 20 mm. Protože v této fázi byl oblouk samonosný jen ve svislém směru, podepření ve vodorovném bylo zachováno. Beton byl do komory ocelového oblouku vtlačován od patek (obr. 12d a 14). Nejprve byly vyplněny obě paty a poté obě vnitřní poloviny oblouku. Odvzdušnění je řešeno samostatně pro každý celek.

Následně byly napnuty dva předpínací





kabely, které zachycují vodorovnou sílu oblouku a poté osazeny a postupně napnuty závěsy (obr. 12e a 15). Po napnutí posledního závěsu následovalo odstranění montážních podpěr oblouku, předepnutí čtyř přepínacích kabelů a postupné odskržení mostovky.

Následovaly dokončovací práce. Předpoklady výpočtu a kvalita provedených prací byly ověřeny statickými a dynamickými zkouškami.

STATICKÁ A DYNAMICKÁ ANALÝZA – ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Lávka byla analyzována jako prostorová prutová konstrukce programovým systémem MIDAS (obr. 16). Pružné vetknutí pilot do země bylo vystiže-

no pružinami nahrazujícími Winklerovo podloží. Detail spojení oblouku s mostovkou byl ověřen analýzou prostorové konstrukce sestavené z deskostěnových a prostorových prvků programem ANSYS (obr. 17). Výsledný tvar střednice oblouku byl určen iteračně. Kritériem bylo jeho minimální ohybové namáhání v čase.

Konstrukce byla posouzena ve smyslu platných Eurokodů. Statické předpoklady a kvalita provedení byly ověřeny statickými a dynamickými zatěžovacími zkouškami. Statická zkouška byla zajištěna Měřicí laboratoří firmy SHP pod vedením Ing. Petra Štefana, dynamickou zkoušku provedla Zkušební laboratoř ČVUT v Praze za vedení prof. Ing. Michala Poláka, CSc. [1].



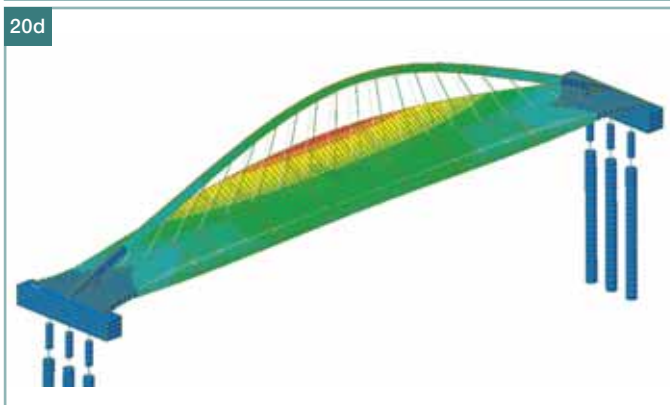
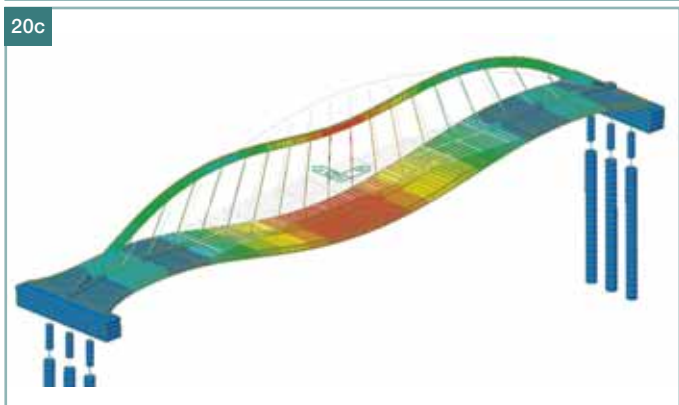
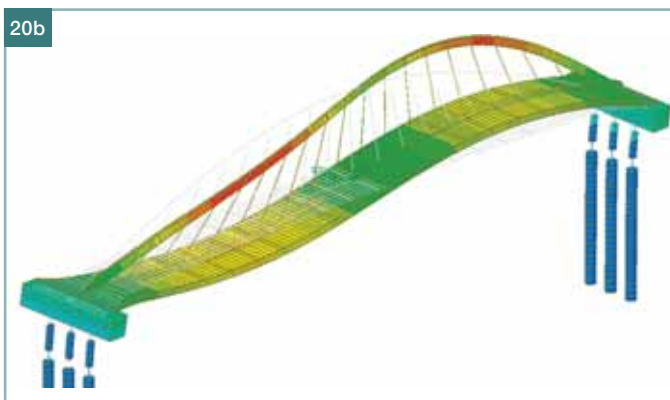
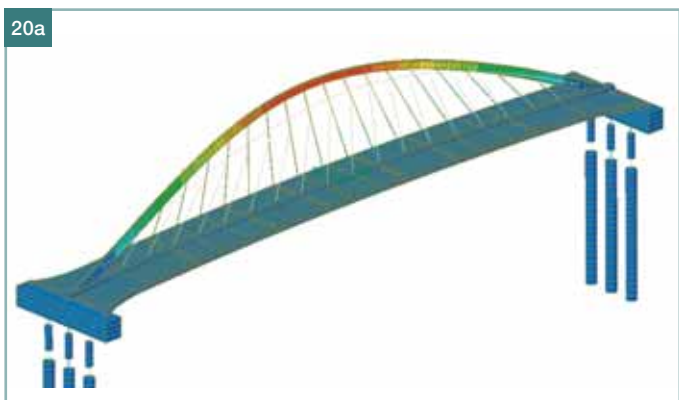
Obr. 18 Zatěžovací zkouška ■
Fig. 18 Loading test

Obr. 19 Zatěžovací zkouška ■
Fig. 19 Loading test

Obr. 20 Vlastní tvary, a) první příčná, b) první ohybová, c) druhá ohybová, d) první krouťavá ■ Fig. 20 Natural modes, a) first transversal, b) first bending, c) second bending, d) first torsional

Tab. 1 Vlastní frekvence ■ Tab. 1 Vlastní frekvence

Vlastní frekvence	Projekt	Zatěžovací zkouška
První příčná [Hz]	0,54	0,67
První ohybová [Hz]	1,91	2
Druhá ohybová [Hz]	2,68	2,66
První krouťavá [Hz]	3,76	4,05





21



22

Obr. 21 Lávka přes řeku Svatku – oblouk
 Fig. 21 Pedestrian bridge over the Svatka River – arch

Obr. 22 Lávka přes řeku Svatku
 Fig. 22 Pedestrian bridge over the Svatka River

Obr. 23 Lávka přes řeku Svatku v noci
 Fig. 23 Pedestrian bridge over the Svatka River at night

Při statické zkoušce byla lávka ověřena dvěma zatěžovacími stavy, které vyvolaly maximální ohyb oblouku a mostovky a maximální kroucení mostovky. V prvním zatěžovacím stavu byla konstrukce zatížena šesti vozidly Avia hmotnosti 5 t situovanými po obou stranách oblouku podélně na jedné polovině mostu (obr. 18). V druhém za-

těžovacím stavu byla konstrukce zatížena pěti vozidly Avia hmotnosti 5 t situovanými jen na jedné straně oblouku po celé délce mostu (obr. 19). Účinnost zatížení byla 63 a 64 %. Výsledky měření potvrdily předpoklady analýz.

Mimo klasického posouzení konstrukce byla velká pozornost věnována dynamické analýze a stabilitní analýze.

Při dynamické analýze byly nejdříve určeny vlastní tvary a frekvence kmitání (obr. 20, tab. 1).

Při dynamické zatěžovací zkoušce v [1] byly ověřeny vlastní tvary a frekvence kmitání (tab. 1). Zkouška potvrdila známou skutečnost, že zkušební dynamické zatížení je příliš malé, a proto nemůže překonat počítač-

Innovative Solutions – Benefiting Society
 12TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONCRETE ROADS 2014
 September 23–26, 2014 | Prague, Czech Republic

2014 12TH ISCR
 PRAGUE
 CZECH REPUBLIC

Rádi bychom se s vámi setkali v Praze na
12th International Symposium on Concrete Roads 2014.
 Více informací naleznete na www.concreteroads2014.org



23

ní odpor zeminy. Proto je konstrukce tužší a naměřené frekvence jsou vyšší. Odpor zeminy je překonán až objemovými změnami od teplotních změn a od dotvarování a smršťování betonu.

S ohledem na skutečnost, že frekvence prvních vlastních ohybových tvarů jsou v rozsahu frekvence lidských kroků, byla konstrukce postupem uvedeným v [2] posouzena na vybuzeň kmitání s následujícími výsledky: maximální amplituda kmitání $\max u = 0,56$ mm, maximální rychlost kmitání $\max v = 0,014$ m/s a maximální zrychlení $a_{\max} = 0,33$ m/s². Toto zrychlení je menší než přípustné zrychlení $a_{\lim} = 0,526$ m/s².

Také dynamická zatěžovací zkouška potvrdila, že při běžném provozu nevzniká v konstrukci vybuzeň kmitání, u kterého by byla překročena hranice pohody chodců.

Vlastní frekvence a tvary kmitání dále indikují polohy zatížení, pro které by měl být proveden stabilitní výpočet. Z obr. 21 ukazujícího příčnou štíhlost obloukového žebra je zřejmé, že zvláště pečlivě musí být posouzena příčná stabilita oblouku.

Stabilitní analýza obloukového mostu byla provedena pro tři polohy nahodilého zatížení:

- rovnoměrné zatížení situované po celé délce mostovky, které způsobuje maximální tlak v oblouku,
- rovnoměrné zatížení situované na

Literatura:

- [1] Polák M.: Dynamická zatěžovací zkouška nově postavené lávky přes řeku Svratku v Brně – SO 201 Ev. č. BM-756 v lokalitě Hněvkovského, ČVUT v Praze, Fakulta stavební 2013
- [2] Stráský J., Nečas R., Kolářek J.: Dynamická odezva betonových lávek, Beton TKS 4/2009, ISSN: 1213-3116

polovině délky oblouků, které způsobuje maximální ohyb oblouků ve čtvrtinách rozpětí,

- rovnoměrné zatížení situované ve středu rozpětí oblouků, které způsobuje maximální ohyb oblouků ve vrcholech,

Všechna tato zatížení působila současně se zatížením větrem příčně zatěžujícím jak oblouk, tak i mostovku.

V první sadě výpočtu byla konstrukce nelineárně řešena pro zatížení stálé, zatížení větrem a pro postupně se zvyšující zatížení užité (a), (b) a (c). V druhé sadě výpočtu byla konstrukce nelineárně řešena pro zatížení stálé, zatížení užité (a), (b) a (c) a pro postupně se zvyšující zatížení větrem.

Při řešení byla uvažována možná počáteční imperfekce sinusového průběhu s amplitudou 170 mm. Všechny výpočty byly ukončeny při pětinasobném zvýšení zatížení. Při tomto zatížení bylo vždy možné najít rovnováhu na deformované konstrukci, to znamená, že i při tomto zatížení byla konstrukce stabilní.

ZÁVĚR

Stavba byla dokončena v říjnu 2013 (obr. 22 a 23). Od té doby je nová lávka pro pěší a cyklisty hojně využívána a při jejím provozu se dosud nevyskytly žádné závady.

Investor	Statutární město Brno
Správce	Brněnské komunikace, a. s.
Projektant	Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
Zhotovitel	Firesta-Fišer, rekonstrukce, stavby, a. s.
Výstavba	duben až říjen 2013
Náklady	12 mil. Kč

Ing. Martin Formánek
e-mail: m.formanek@shp.eu



Ing. Jaroslav Bartoň
e-mail: j.barton@shp.eu



prof. Ing. Jiří Stráský, DSc., P.E.
e-mail: j.strasky@shp.eu



všichni: Stráský, Hustý
a partneři, spol. s r. o.
Bohunická 133/50, 619 00 Brno
www.shp.eu, tel.: 547 101 811

Bc. Martin Kozel
Firesta – Fišer, rekonstrukce,
stavby, a. s.
Mlýnská 68, 602 00 Brno
tel.: 602 127 799
e-mail: kozel@firesta.cz
www.firesta.cz

