



1

LÁVKA MINTO ISLAND, SALEM, OREGON, USA ■ PEDESTRIAN BRIDGE MINTO ISLAND, SALEM, OREGON, USA

Jiří Stráský, Radim Nečas,
Jan Kolářek

Lávka, která přemostuje slepé rameno řeky Willamette, je tvořena spojitým nosníkem o pěti polích délek od 10,7 do 93,9 m. Hlavní pole, které má štíhlou předpjatou mostovku, je zavěšeno na dvou skloněných obloucích. Oblouky jsou skloněny vně – mají tedy „motýlové“ („butterfly“) uspořádání. Mostovka hlavního pole je sestavena z prefabrikovaných segmentů a spřažené monolitické desky. Oblouky jsou tvořeny ocelo-

vými rourami, oblouková síla je zachycena předpjatou mostovkou. Protože jak vnitřní, tak i krajní podpěry jsou rámově spojeny s mostovkou, lávka tvoří integrální konstrukci. Lávka je popsána z hlediska architektonického a konstrukčního řešení, postupu stavby a statické a dynamické analýzy. ■ The pedestrian bridge, which bridges the Willamette River slough, consists of a continuous five-span girder of span lengths from 10.7 to 93.9 m. The main span, which is formed by a slender prestressed deck, is suspended on two inclined arches. The arches

are inclined outward – they have a “butterfly” arrangement. The deck of the main span is composed of prefabricated segments and a composite cast-in-place deck slab. The arches are made of steel pipes, the arch force is resisted by the prestressed deck. Since both the inner and the outer supports are frame-connected with the bridge deck, the bridge forms an integral structure. The pedestrian bridge is described in terms of architectural and structural design, construction process and static and dynamic analysis.



2



3

V srpnu 2017 byla v Salemu, hlavním městě státu Oregon v USA, otevřena lávka, která přemostuje slepé rameno řeky Willamette a spojuje městský park situovaný ve středu města s loukami a lesy na rekreačním ostrově (obr. 1). Na straně města je lávka integrována do parku, na druhém břehu je ukončena vyhlídkovou plošinou navazující na místní pěší a cyklistické stezky. Snahou všech zúčastněných bylo navrhnout otevřenou konstrukci jemných rozměrů, která svým uspořádáním vyzývá nejen k přejití, ale i k zastavení a zamyšlení (obr. 2). Proto je hlavní pole přemostující řeku na okrajích zavěšeno na vně skloněných obloucích (obr. 3).

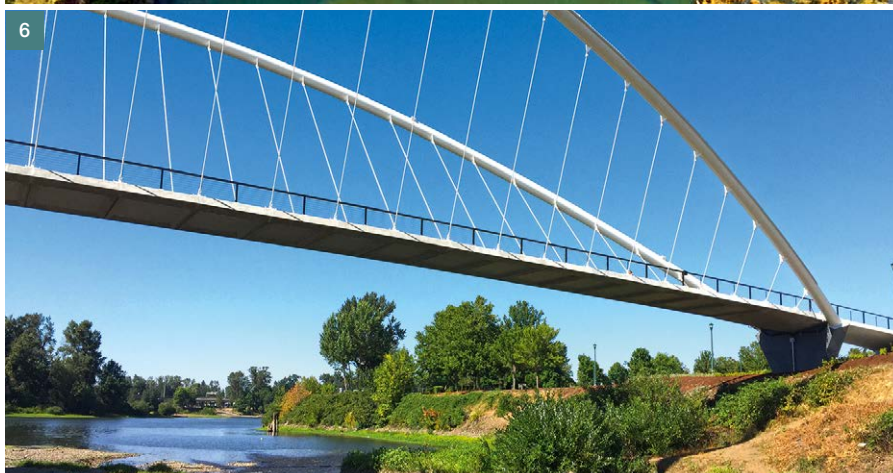
KONSTRUKČNÍ A ARCHITEKTONICKÉ ŘEŠENÍ

Od počátku práce na projektu bylo zřejmé, že oblouková konstrukce se štíhlou mostovkou představuje optimální přemostění. Bylo však nutné najít řešení, ve kterém hlavní pole překračující řeku vytvoří spolu s navazujícími poli přemostujícími inundační území jednotný celek. Podle našeho názoru tomu nejlépe odpovídá konstrukce, ve které na hlavní oblouky přímo navazují nízké oblouky podepírající krajní pole (obr. 4a). Krajní půblouky jsou zakotveny do koncových příčníků, které jsou přímo podepřeny vrtanými pilotami. Vytváří se tak samokotvený konstrukční systém, ve kterém je oblouková síla přenášena tahovou únosností předpjaté mostovky.

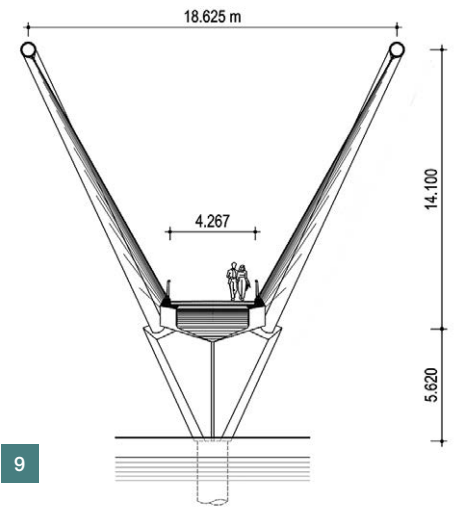
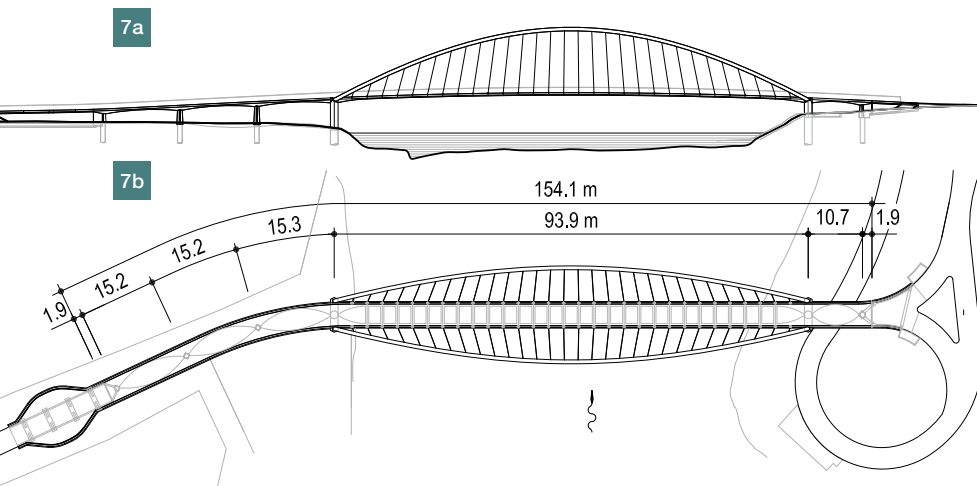
S ohledem na dopravní řešení, ve kterém bylo nutno okolo již dříve osazené plastiky globusu navrhnout kruhovou rampu (obr. 5), nebylo toto uspořádání možné. Proto byla navržena klasická konstrukce, ve které jsou oblouky přímo vetknuty do předpjaté mostovky, na kterou spojitě navazují pole proměnné výšky (obr. 4b).

V návrhu se zvažovaly svislé oblouky a oblouky skloněné dovnitř a vně. U oblouků skloněných vně bylo možné paty oblouků co nejtěsněji přimknout k mostovce a závěsy jednoduše kotvit v okrajích mostovky (obr. 6). Navíc vnější sklon oblouků otvírá vstup na konstrukci a dává konstrukci moderní výraz, proto bylo přijato toto řešení.

Lávku pro pěší celkové délky 154,1 m tvoří spojitý nosník o pěti nestejně dlouhých polích s rozpětími $2 \times 15,2 + 15,3 + 93,9 + 10,7$ m. Nosník má na obou koncích konzoly délky 1,9 m, na které navazují krajní opěry (obr. 7). První tři pole jsou v půdorysném oblouku s poloměrem 70 m, zbývající část konstrukce



Obr. 1 Situování lávky ■ Fig.1 Location of the footbridge
 Obr. 2 Lávka ■ Fig. 2 Footbridge
 Obr. 3 Vnější sklonění oblouků ■ Fig. 3 Arches' outer inclination
 Obr. 4 Studované alternativy: a) spojitý oblouk, b) oblouk a nosník
 ■ Fig. 4 Studied options: a) continuous arch, b) arch and girder
 Obr. 5 Půdorysný pohled ■ Fig. 5 Plan view
 Obr. 6 Zavěšení předpjaté mostovky na oblouky ■ Fig. 6 Suspension of the prestressed deck on the arch ribs



9

je v přímé. Mostovka je ve vrcholovém zakružovacím oblouku s poloměrem 1100 m.

V hlavním poli přemostujícím řeku je nosník na vnějších okrajích zavěšen na skloněných obloucích. Hlavní pole tloušťky jen 502 mm je sestaveno z prefabrikovaných segmentů a spřažené monolitické desky (obr. 8). Prefabrikované segmenty 5,277 m široké a 2,994 m dlouhé jsou tvořeny dvěma krajními trámy vzájemně spojenými deskou. Ve spárách jsou segmenty ztuženy příčnickými.

Oblouky, které jsou tvořeny ocelovými rourami průměru 762 mm, jsou

Obr. 7 a) Podélný řez, b) půdorys
 Fig. 7 a) Elevation, b) plan

Obr. 8 Předpjatá mostovka a oblouk:
 a) příčný řez mostovkou, b) detail zavěšení mostovky, c) detail zavěšení na oblouk
 Fig. 8 Prestressed deck and arch:
 a) deck's cross-section, b) detail of the deck's suspension, c) detail of the suspension on the arch

Obr. 9 Příčný řez lávkou uprostřed rozpětí
 Fig. 9 Cross section of the footbridge at mid-span

Obr. 10 Studované alternativy podpěry oblouku:
 a) plná podpěra, b) vylehčená podpěra
 Fig. 10 Studied options of the arch support:
 a) solid support, b) lightweight support

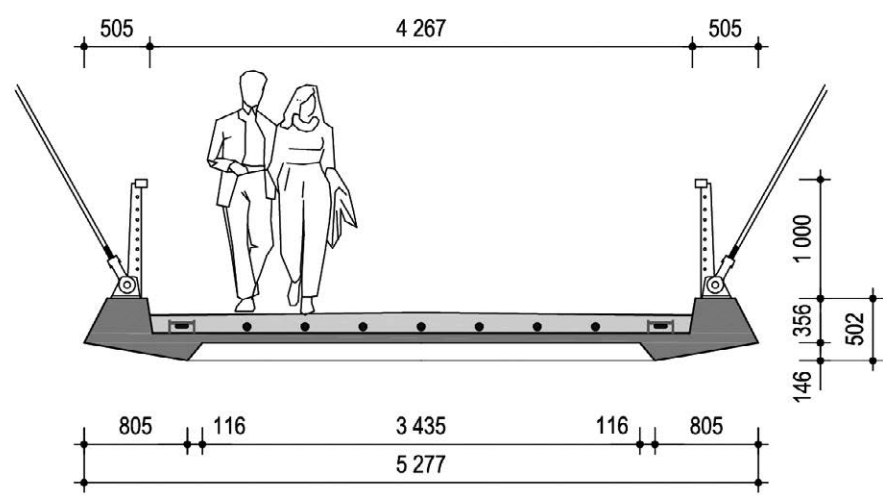
Obr. 11 Podepření oblouku
 Fig. 11 Arch support

Obr. 12 Sklon oblouků:
 a) příčný řez, b) axonometrie
 Fig. 12 Arches' inclination:
 a) cross-section, b) axonometry

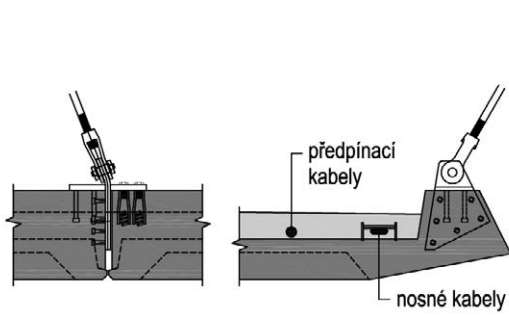
Obr. 13 Ohybové momenty v oblouku:
 a) podélné, b) příčné
 Fig. 13 Arch's bending moments:
 a) longitudinal, b) transversal

Obr. 14 Geometrie oblouků:
 a) pohled, b) půdorys
 Fig. 14 Arches' geometry:
 a) elevation, b) plan

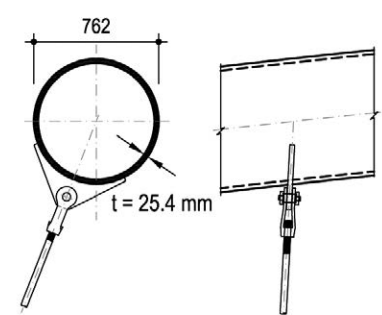
Obr. 15 Závěsy
 Fig. 15 Suspenders



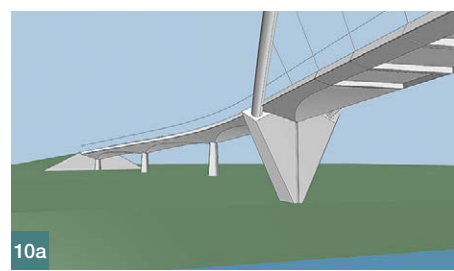
8a



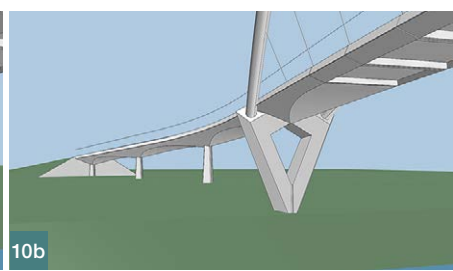
8b



8c



10a



10b

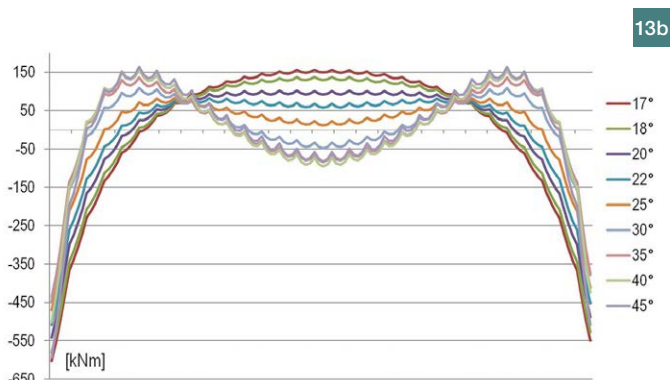
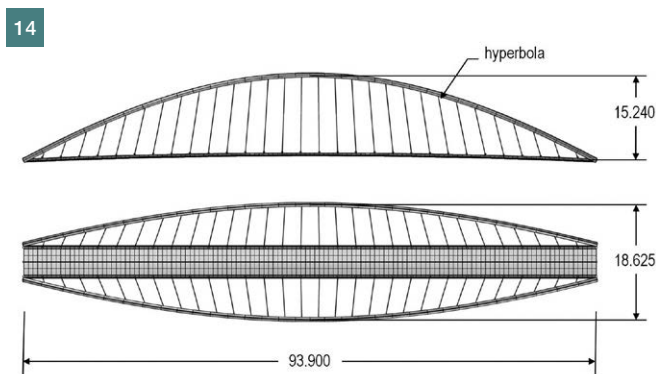
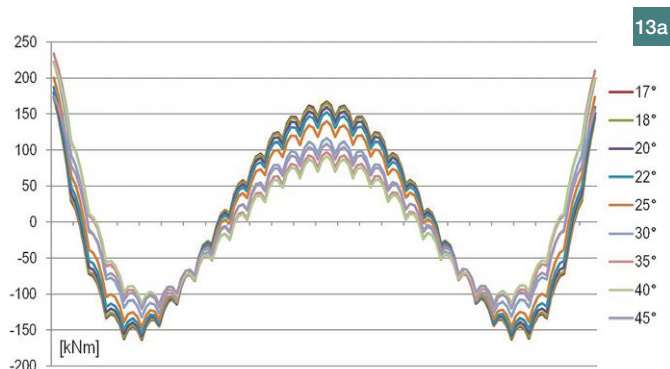
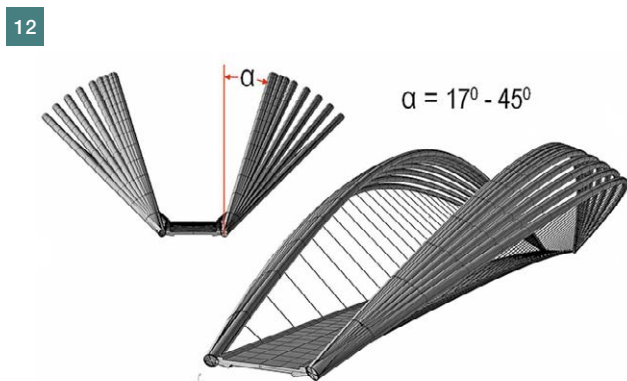


podepřeny monolitickými podpěrami tvaru písmene V, které jsou rámově spojeny s mostovkou (obr. 9). Tvar podpěry vyšel z architektonických a konstrukčních studií (obr. 10). Ukázalo se, že vylehčená podpěra je zbytečně komplikovaná a že estetický přínos vylehčení je diskutabilní. Podpěra v příčném směru navazuje na sklon oblouků (obr. 11), jehož hodnota vyšla z podrobných parametrických výpočtů, ve kterých byla konstrukce analyzována pro hodnoty sklonu od 17° do 45° (obr. 12). Na obr. 13 jsou uvedeny podélné a příčné ohybové momenty, které v oblouku vznikají od zatížení stálého. Výpočty

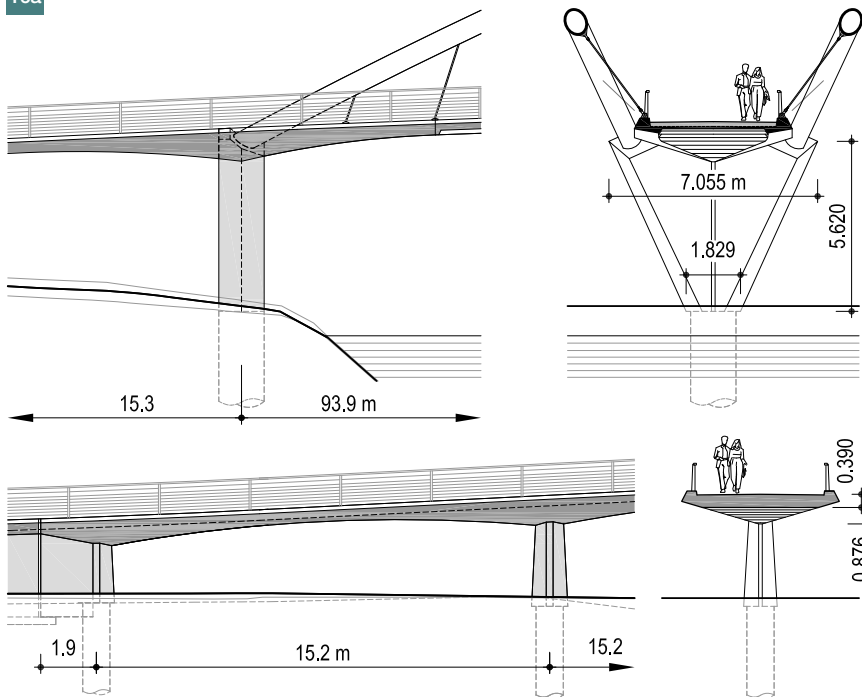
ukázaly, že minimální ohybové namáhání vzniká při sklonu 25° . V podélném směru lávky mají závěsy proměnný sklon – vychází z bodu, který je situován v ose oblouku ve vzdálenosti 126 m nad mostovkou. Pro toto uspořádání má oblouk výslednicový tvar, který se blíží hyperbole (obr. 14). Závěsy s rektifikačními maticemi (obr. 15) jsou tvořeny tyčemi průměru 38 mm.

U podpěr hlavního pole a v navazujících polích je mostovka monolitická. Má plný lichoběžníkový průřez výšky od 0,876 m u podpěr do 0,356 m uprostřed rozpětí, kde vnější obrys odpovídá obrysu zavěšené mostovky (obr. 16).

Mostovka je rámově spojena s podpěrami osmiúhelníkového průřezu. Tloušťka podpěr je proměnná, rozšiřuje se od nosné konstrukce k pilotám. Krajní podpěry jsou vybetonovány s krátkými šikmými stěnami, které opticky navazují na křídla krajních opěr. Mezi opěrami a šikmými stěnami jsou dilatační spáry. Všechny podpěry jsou přímo (bez základových patek) podepřeny vrtanými pilotami. Podélná výztuž pilot ovinutá spirálou je řádně zakotvena v podpěrách (obr. 17). Protože mostovka je rámově spojena se všemi podpěrami, tvoří konstrukce lávky integrovaný konstrukční systém.



16a



16b

Při stavbě byly podpěry hlavního pole spojeny nosnými kabelemi tvořenými 2 x 6 předpínacími lany o průměru 0,6". Po smontování prefabrikovaných segmentů a po vybetonování přilehlých polí a sprážené desky byla celá nosná konstrukce předepnuta sedmi kabelemi tvořenými šesti lany o průměru 0,6" (obr. 8).

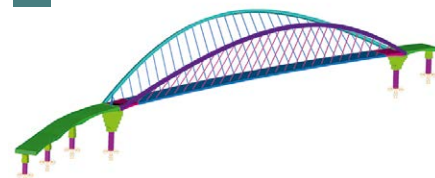
Zábradlí je tvořeno svislými sloupky, madlem a vodorovnou lanovou výplní (obr. 15). Osvětlení je zajištěno liniovými LED světly situovanými pod madlem zábradlí. Podobná světla jsou situována na vnějších plochách oblouku.

Osvětlení tak zdůrazňuje základní statické prvky lávky: tlačené oblouky a taženou mostovku (obr. 18).

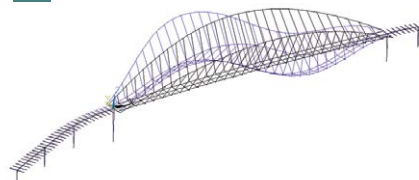
STATICKÁ A DYNAMICKÁ ANALÝZA

Kontrolní výpočet byl proveden programovým systémem Ansys. Statické účinky od stálého zatížení, nahodilého zatížení, větru a od objemových změn byly určeny na prostorovém 3D modelu sestaveném z prutových prvků. Výpočtový model vystihl prostorové působení konstrukce i okrajové podmínky (obr. 19). Stejný výpočtový model byl použit pro

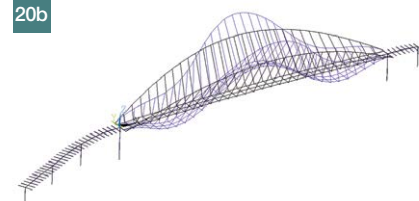
19



20a



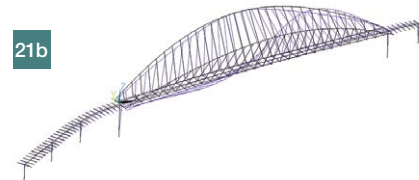
20b



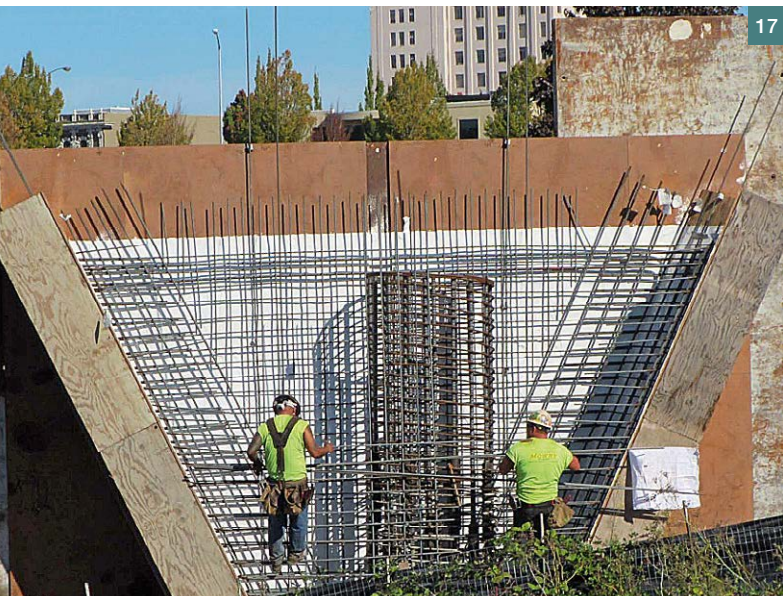
21a



21b



17



18





Obr. 16 Předpjatá mostovka:
a) u podpěry oblouku, b) v krajním poli

■ Fig. 16 Prestressed deck:
a) at arch's support, b) at the end span

Obr. 17 Výztuž obloukové podpěry ■

■ Fig. 17 Reinforcement of the arch's support

Obr. 18 Osvětlení lávky

■ Fig. 18 Footbridge lighting

Obr. 19 Výpočtový model

■ Fig. 19 Calculation model

Obr. 20 Svislé tvary a frekvence:

a) $f(V1) = 0,738 \text{ Hz}$, b) $f(V2) = 1,341 \text{ Hz}$

■ Fig. 20 Vertical modes and frequencies:

a) $f(V1) = 0,738 \text{ Hz}$, b) $f(V2) = 1,341 \text{ Hz}$

Obr. 21 Vodorovné tvary a frekvence:

a) $f(H1) = 0,412 \text{ Hz}$, b) $f(H2) = 0,998 \text{ Hz}$ ■

■ Fig. 21 Horizontal modes and frequencies:

a) $f(H1) = 0,412 \text{ Hz}$, b) $f(H2) = 0,998 \text{ Hz}$

Obr. 22 Zavěšení oblouku

■ Fig. 22 Arch's suspension

Obr. 23 Zavěšení segmentu

■ Fig. 23 Segment's suspension

Obr. 24 Postupná montáž segmentů

■ Fig. 24 Progressive segment erection

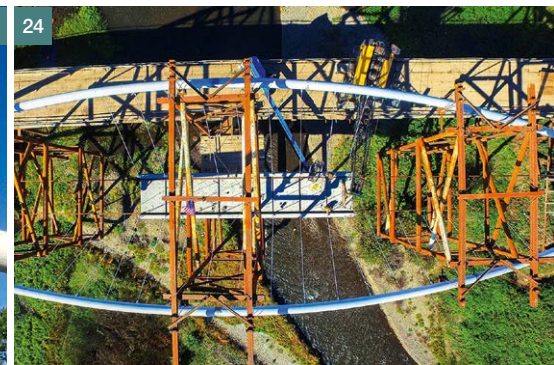
Obr. 25 Výztuž krajních polí ■

■ Fig. 25 Reinforcement of the side spans

Obr. 26 Betonáž sprážených desek ■

■ Fig. 26 Casting of the composite slab

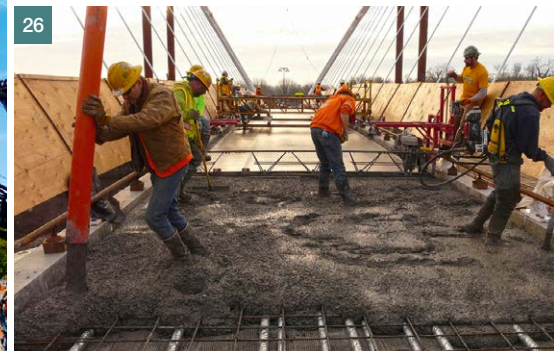
22 24



25



26



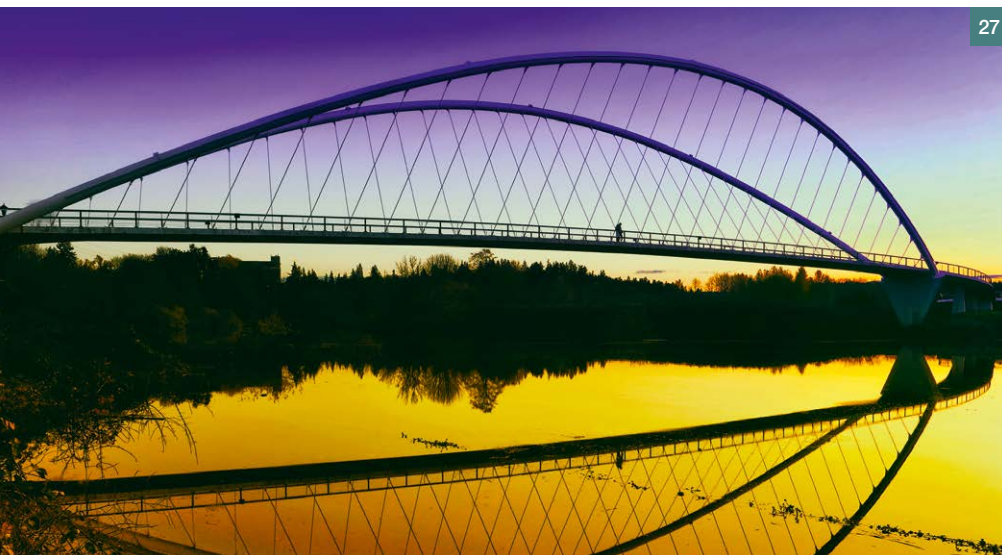
analýzu montážních stavů. Nelineární analýza provozního zatížení i montáže vyšla z počátečního stavu, ve kterém byla definována geometrie konstrukce, zatížení stálé a tomu odpovídající namáhání konstrukce. Změna spojení segmentů z kloubového na pevné byla vystižena pomocí „frozen“ uzlů (uzel je tzv. znehybněn, neboli „zmražen“).

Velká pozornost byla věnována dynamické odezvě konstrukce na zatížení lidmi a větrem. Poměr odpovídajících kroutivých a ohybových frekvencí potvrdil, že konstrukce je aerodynamicky stabilní. Pohoda uživatelů byla posouzena postupem popsaným v [1]. Konstrukce byla posouzena pro vybuzené kmitání jak ve svislém, tak i ve vodorovném směru. První vlastní frekvence ve svislém směru jsou uvedeny na obr. 20, první vlastní frekvence ve vodorovném směru jsou na obr. 21. Maximální svislé zrychlení $a_{\max} = 0,096 \text{ m/s}^2$ je menší než limitní zrychlení $a_{\lim} = 0,453 \text{ m/s}^2$, maximální vodorovné zrychlení $a_{\max} = 0,023 \text{ m/s}^2$ je menší než limitní zrychlení $a_{\lim} =$

$0,150 \text{ m/s}^2$. Konstrukce je tuhá, a proto uživatelé, pohybující se anebo stojící na lávce, nemají nepříjemný pocit od pohybu konstrukce vyvolané pohybem chodců anebo větrem.

POSTUP STAVBY

Pro montáž oblouků a mostovky byl podél stavěné lávky postaven prozatímní most. Po postavení spodní stavby byly pilíře hlavního pole spojeny nosnými kabely. Potom byla smontována oblouková žebra hmotnosti 50 t. S ohledem na dopravu byla oblouková žebra na stavbě sestavena ze čtyř segmentů. Nejdříve se dva a dva segmenty před lávkou vzájemně svařily. Takto připravené půloblouky pak byly dvěma kolovými jeřáby situovanými na prozatímním mostě a u podpěr vyzdvihy a zavěšeny na montážní podpěry (obr. 22). Po rektifikaci patek oblouků se půloblouky vzájemně svařily. Zavěšení oblouků bylo zvoleno s ohledem na jejich příčné deformace vyvolané následnou postupnou montáží mostovky. Jak při



ZÁVĚR

Lávka byla příznivě přijata jak laickou, tak i odbornou veřejností a získala ocenění **2018 Award of Excellence** (The Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), Chicago, USA) a **2018 Prize Bridge Award** (Steel Bridge Competition, National Steel Bridge Alliance (NSBA), USA). Vně skloněné oblouky byly dokonce podkladem log několika místních společenských organizací i městského parku.

Článek vznikl za podpory projektu FAST-S-17-4580 – Prostorově zakřivené mostní konstrukce podporované kabely a byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu Národní program udržitelnosti I.

Obr. 27 Lávka ■ Fig. 27 Footbridge

Literatura:

- [1] STRÁSKÝ, J., NEČAS, R., KOLÁČEK, J. Dynamická odezva betonových lávek. *Beton TKS*. 2009, roč. 9, č. 4, s. 80–87. ISSN 1213-3116

Projekt a supervize lávky	OBEC, Consulting Engineers, Eugene, Oregon
Koncepční řešení lávky	prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.
Kontrolní statická a dynamická analýza	Ing. Radim Nečas, Ph.D. Ing. Jan Koláček, Ph.D.
Generální dodavatel	Legacy Construction, Oregon

výrobě, tak i při montáži byly oblouky prostorově skenovány.

Následně byly postupně zavěšovány prefabrikované segmenty hlavního pole (obr. 23). Segmenty byly montovány od středu lávky směrem k podpěrám (obr. 24). Při montáži segmentů bylo upravováno napětí v nosných kabelech tak, aby namáhání podpěr bylo v přípustných mezích. Současně s montáží segmentů byla také betonována krajní pole (obr. 25). Po výškové rektifikaci segmentů byla vybetonována spřažená deska (obr. 26) a konstrukce byla předepnuta průběžnými kabely kotvenými v krátkých konzolách situovaných za krajními podpěrami. Potom následovaly dokončovací práce.

prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.
strasky.j@fce.vutbr.cz



Ing. Radim Nečas, Ph.D.
necas.r@fce.vutbr.cz



Ing. Jan Koláček, Ph.D.
kolacek.j@fce.vutbr.cz



Všichni: Fakulta stavební VUT v Brně,
Ústav betonových a zděných konstrukcí

Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ společně s Fakultou stavební Vysokého učení technického v Brně



pořádá pod záštitami

Ministerstva kultury, Národního památkového ústavu, Ministerstva průmyslu a obchodu

a

prof. Ing. Miroslava Bajera, CSc., děkana Fakulty stavební VUT v Brně,

ve dnech **28. - 29. listopadu 2018**

40. konferenci „Sanace a rekonstrukce staveb 2018“

a

20. mezinárodní konferenci WTA 2018

"CRRB - 20th International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Building",

která se bude konat v prostorách Fakulty stavební VUT v Brně, Veveří 95

Kompletní pozvánku se základními informacemi naleznete na webu www.wta.cz/konference

Více informací o mezinárodní konferenci CRRB 2018 - <http://crrb.wta.cz>