

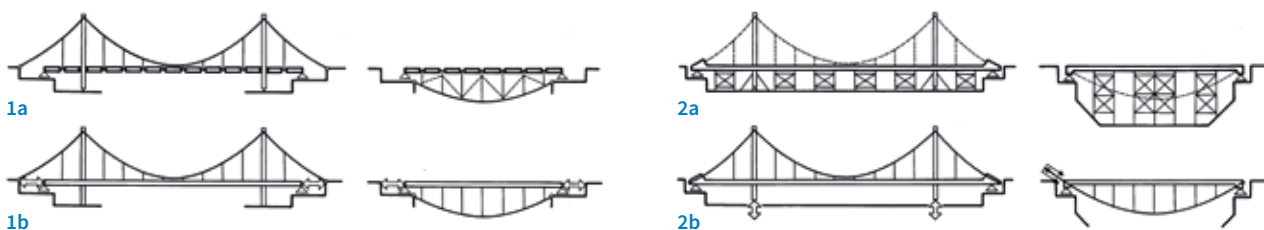
SAMOKOTVENÉ VISUTÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE

SELF-ANCHORED SUSPENSION BRIDGE STRUCTURES

Jiří Stráský, Radim Nečas, Jan Koláček, Jan Pozdíšek, Gabriel Kirishchyan

V článku jsou popsány dva typy samokotvených visutých lávek, které tvoří integrální konstrukční systémy, s ohledem na jejich architektonické řešení, konstrukční uspořádání, statické působení a postup výstavby. První typ tvoří štíhlá betonová mostovka zavěšená na visutých kabelech, druhý typ tvoří štíhlá mostovka podepřená visutými kabele. Konstrukční řešení obou konstrukcí bylo ověřeno nelineární statickou analýzou. Pohoda chodců byla kontrolována dynamickými analýzami. Konstrukce podepřená visutými kabele byla ověřena zkouškami fyzikálního modelu postaveného v měřítku 1:8.

Two types of the self-anchored suspension pedestrian bridges, which form integral structural systems, are described in this paper in terms of their architectural solution, structural arrangement, static function and construction process. The first type is formed by a slender concrete deck which is suspended on suspension cables, the second one is formed by a slender deck supported by suspension cables. The structural design was verified by non-linear analyses. Pedestrian comfort was checked by dynamic analyses. The structure supported by suspension cables was verified by tests of the physical model built in the scale 1:8.



3

1 Do podloží kotvená visutá konstrukce: a) montáž, b) provoz **2** Samokotvená visutá konstrukce: a) montáž, b) provoz **3** Lávka přes řeku Willamette, Eugene, Oregon, USA – montáž segmentů **4** Lávka Pforzheim I, Německo **5** Lávka Pforzheim I, Německo: a) příčný řez mostovkou, b) příčný řez lávkou, c) podélný řez, d) půdorys
1 Earth anchored suspension structure: a) erection, b) service **2** Self-anchored suspension structure: a) erection, b) service **3** Willamette River Pedestrian Bridge, Eugene, Oregon, USA: erection of the segments **4** Pforzheim I Footbridge, Germany **5** Pforzheim I Footbridge, Germany: a) cross-section of the deck, b) cross-section of the footbridge, c) longitudinal section, d) plan

Ústav betonových a zděných konstrukcí FAST VUT v Brně se ve spolupráci se společností Stráský, Hustý a partneři, Brno (dále také SHP) soustavně věnuje studiu a vývoji úsporných a transparentních betonových konstrukcí podporovaných kabele. Konstrukce jsou nejen navrhovány a analyzovány, ale také ověřovány na konstrukčních a statických modelech. Systém samokotvených visutých konstrukcí zavěšených anebo podporovaných kabele, které jsou kotveny v betonové mostovce, umožňuje návrh hospodárných a současně elegantních mostních konstrukcí.

V našich předcházejících článcích jsme popsali využití samokotvených konstrukcí při návrhu půdorysně zakřivených lávek pro pěší [1], [2]. V tomto příspěvku chceme upozornit na aplikace uvedeného statického systému při návrhu běžných přímých lávek, které současně tvoří integrované konstrukce navržené bez prvků náročných na údržbu, jako jsou např. ložiska a dilatační závěry.

Konstrukční systém visutých konstrukcí

Visuté konstrukce jsou obvykle tvořeny visutými kabely o jednom nebo více polích, na kterých je prostřednictvím závěsů zavěšena anebo prostřednictvím vzpěr podepřena mostovka. Visuté konstrukce umožňují překonat velké rozpětí a mohou vytvářet lehké a transparentní konstrukční systémy. Protože je jejich konstrukční řešení dáno statickým působením, vytváří krásné a staticky čisté konstrukce. Protože jsou navrhovány pro velká rozpětí, mostovku většinou tvoří štíhlý ocelový nosník proudnicového průřezu. Visuté konstrukce jsou popsány v řadě vynikajících knih, např. [3].

Visuté konstrukce s betonovou mostovkou jsou navrhovány převážně pro lávky pro pěší. Jejich architektonické a konstrukční řešení je diskutováno např. v [4]. Betonová mostovka, která dává konstrukci dostatečnou tuhost, nejen roznáší zatížení, ale také zajišťuje integritu konstrukcí a omezuje jejich dynamickou odezvu na zatížení chodci anebo větrem. Tyto lávky mohou tvořit visuté konstrukce klasické, kotvené do podloží (obr. 1), nebo visuté konstrukce samokotvené (obr. 2), u kterých jsou visuté kabely kotveny do mostovky.

Klasické, do podloží kotvené systémy jsou navrhovány tam, kde konstrukce přemostují nepřístupný terén nebo řeku, tedy tam, kde není možné postavit montážní podpěry anebo skruž. Mostovka obvykle sestavená z prefabrikovaných prvků je pak postupně zavěšována na předem smontované visuté kabely.



4

Příkladem takovéto konstrukce je lávka přes řeku Willamette postavená ve městě Eugene v Oregonu v USA (obr. 3, [4]) nebo lávka Lundabron nedávno postavená ve Švédsku [5].

Pokud lávka přemostuje překážku, kde je možné postavit skruž, je výhodné navrhnout samokotvenou visutou konstrukci. Tah z visutých kabelů je přenášen tlakovou únosností betonové mostovky. Pokud je geometrie visutých kabelů správně navržena, konstrukce tvoří velmi úsporný statický systém, který se skládá z tlačných pylonů a mostovky a tažených visutých kabelů a závěsů.

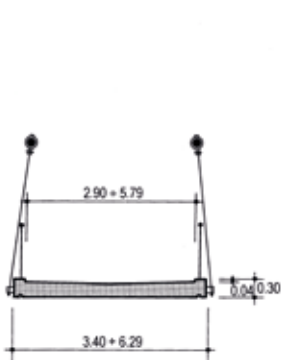
Příkladem takovéto konstrukce je lávka Pforzheim I, postavená podle projektu prof. Schlaicha v Německu (obr. 4, [4]). Z obr. 5, na kterém je základní uspořádání konstrukce, je zřejmé, jak jednoduchá konstrukce může být. Mostovka, která je tvořena štíhlou monolitickou deskou, je zavěšena

na jednosloupovém pylonu tvořeném ocelovou trubkou. Konstrukce byla vybetonována na skruži, po smontování visutých kabelů byl pylon vyzdvižen. Tak konstrukce získala navrhovaný tvar a mostovka předpětí.

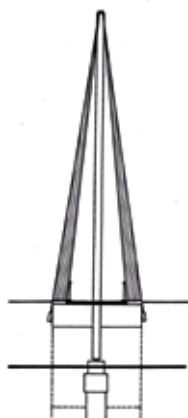
Samokotvené visuté konstrukce působí podobně jako konstrukce předepnuté vnějšími kabely vedenými mimo průřez mostovky (obr. 6). U správně navržené konstrukce vyrovnávají radiální síly zatížení stálé a zajišťují, že v místech zavěšení nebo podepření kabely jsou nulové průhyby. Mostovka pak působí jako spojitý nosník s rozpětími, která odpovídají vzdálenosti závěsů anebo vzpěr. Protože je jejich vzdálenost malá, jsou ohybové momenty od zatížení stálého také malé. Mostovka je pak převážně jen tlačena.

Možnosti popsaných konstrukcí jsou demonstrovány na návrhu dvou visutých samokotvených konstrukcí.

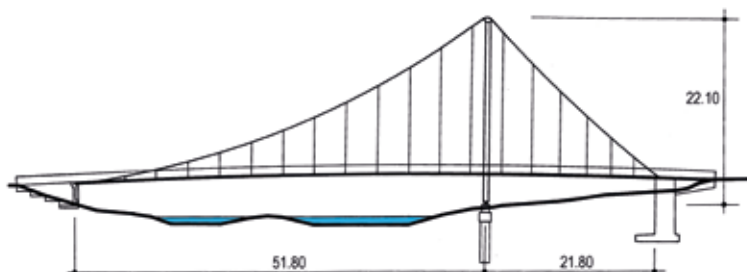
5a



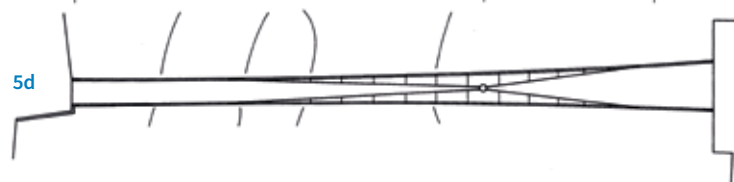
5b



5c



5d



Lávka přes řeku Opavu

V rámci projektu Rekreační oblast Stříbrné jezero Opava je realizována také lávka přes řeku Opavu. V projektu PDPS byla lávka navržena jako do podloží kotvená visutá konstrukce o jednom poli (obr. 7a, [6]). Mostovka byla sestavena z prefabrikovaných segmentů podobného uspořádání jako u konstrukcí navrhovaných společností SHP [5]. Podobně jako u konstrukce lávky přes řeku Willamette postavené v roce 2002 ve městě Eugene v americkém Oregonu (obr. 3, [4]) byly segmenty zavěšeny na visutých kabelech, které byly tvořeny monostrandy zainjektovanými v ocelových trubkách a které ve středu mostu procházely mostovkou. Visuté kabely s rozpětím 67,75 m byly kotveny ve skloněných ocelových pylonech vetknutých v koncových opěrách. Mostovka předepnutá kabely z monostrandů byla posuvně uložena na krajních opěrách a mezi mostovkou a opěrami byly navrženy dilatační závěry. Vodorovná síla byla z visutých kabelů přenášena do

krajních opěr ohybovou tuhostí pylonů, z opěr do podloží zemními kotvami a ohybovou tuhostí vrtaných pilot. Projekt předpokládal, že prefabrikované segmenty budou při montáži zavěšeny na předem smontované visuté kabely.

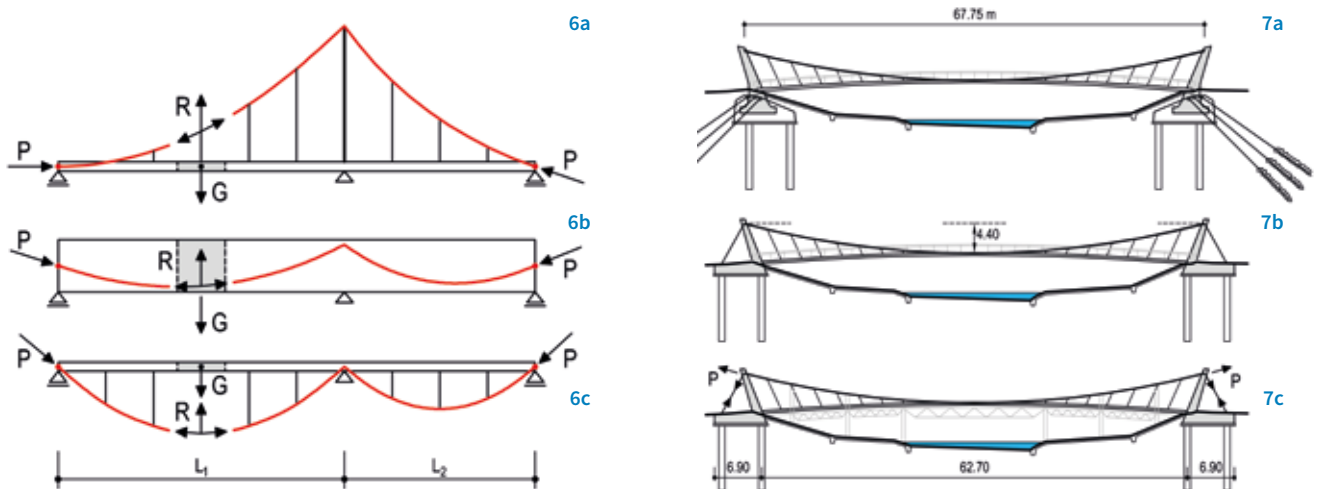
V roce 2020 požádal zhotovitel lávky přes řeku Opavu (společnost Metrostav Divize 1) společnost SHP o alternativní návrh, který by stavbu zhošpárněl. Protože je lávka vedena nízko nad terémem a řeka je poměrně úzká, bylo zřejmé, že mostovku lze jednoduše vybetonovat na skruži a monoliticky spojit s krajními opěrami a že vodorovnou sílu lze přenést tlakovou únosností mostovky (obr. 7b, 7c). Konstrukce pak tvoří samokotvený integrovaný systém bez ložisek a dilatačních závěrů, ve kterém tah z visutých kabelů přenáší tlaková únosnost betonové mostovky.

I když neekonomický přenos vodorovné síly ohybovou tuhostí pylonu mohl být zachován, bylo zřejmé, že bude výhodnější přidat kotvici tyče a ekonomicky přenést vodorovnou sílu

tlakovou únosností pylonu a tahovou únosností tyčí. To umožnilo odstranit zemní kotvy, založit opěry výše a následně redukovat výkopové práce. Ve spolupráci s VUT v Brně byl proveden podrobný statický výpočet, který potvrdil správnost návrhu.

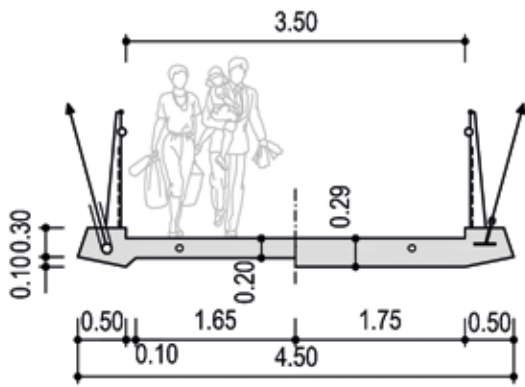
Popsaným řešením se podařilo dosáhnout výrazných úspor, které dosahovaly až 40 % ceny projektu PDPS. I když zpracovatel alternativního návrhu nabízel spolupráci na projektu RDS, projektant jeho nabídku nevyužil a nyní navrhuje jiné řešení. Protože jsme přesvědčeni, že je popsána samokotvená konstrukce velmi ekonomická a estetická (obr. 8), uvádíme zde její popis, předpokládaný postup stavby a některé výsledky statické a dynamické analýzy.

Mostovku z betonu C40/50 tvoří deska tloušťky 200 mm, která je ztužena krajními obrubami tloušťky 400 mm (obr. 9 a 10). U podpěr je v délce 3 m spodní vybraní vynecháno. Mostovka je vetknuta do krajních opěr podepřených 2 × 4 svislými vrtanými pilotami

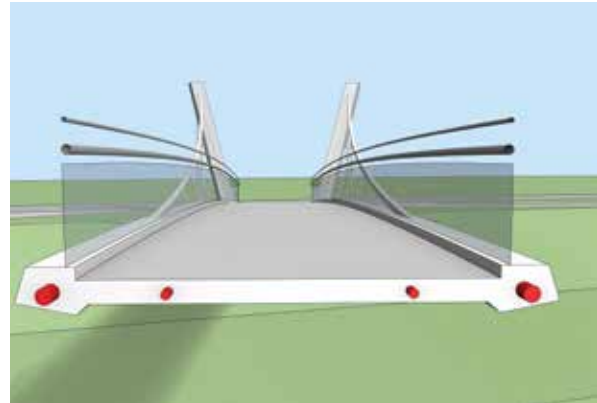


8





9a



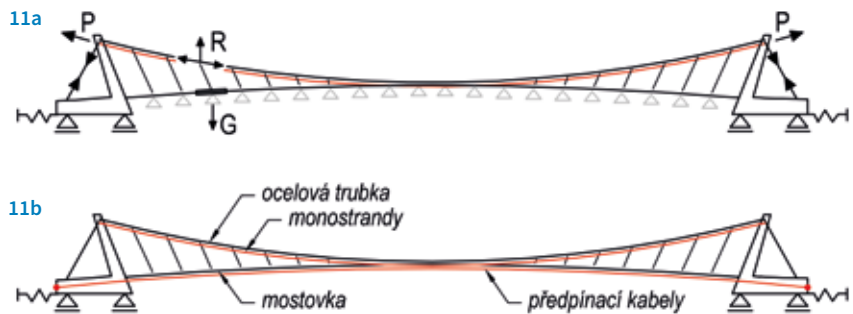
9b

10

Ø 900 mm. Do krajních opěr jsou také vetknuty skloněné pylony z betonu C40/50, ve kterých jsou kotveny visuté kabely a dvojice kotvicích tyčí McAlloy Ø97 mm. Mostovka je zavěšena na skloněných tyčových závěsích Ø 28 mm. Dvojice visutých kabelů jsou vedeny ve vně skloněných rovinách. Kabely jsou tvořeny 2× 19 monostrandů vedenými a zainjektovanými v ocelových trubkách 140/5 mm, které jsou ve střední části zabetonované v mostovce. Mostovku lze navrhnout jako železobetonovou, popř. ji lze dodatečně předepnout dvěma kabely tvořenými šesti monostrandů.

Postup výstavby je velmi jednoduchý (obr. 7c). Po provedení pilot a koncových opěr se vybetonují skloněné pylony. Dále se na pevné skruži osadí betonářská výztuž mostovky a kotvicí prvky závěsů. Následně se smontují a vzájemně svaří ve 2× 2 bodech podepřené trubky visutých kabelů. Dále se osadí skloněné závěsy, které se spojí s trubkami visutých kabelů a s mostovkou. Potom se protáhnou monostrandů tvořící visuté kabely a předpětí mostovky. Následně se vybetonuje mostovka. Po dosažení požadované pevnosti se částečně napnou monostrandů a zainjektují se. Jakmile injektážní malta dosáhne požadované pevnosti, monostrandů se definitivně napnou. Při napínání monostrandů visutých kabelů se upravuje napětí v kotvicích tyčích. Napnutím visutých kabelů se mostovka předepne a může se odkružit.

Pokud jsou u do podloží kotvených visutých konstrukcí navrženy visuté kabely tvořené monostrandů, které jsou vedené a zainjektované v ocelových trubkách, a pokud je snaha využít



6 Konstrukce o dvou polích předepnuta: a) vnějším kabelem situovaným nad mostovkou, b) kabelem situovaným v mostovce, c) vnějším kabelem situovaným pod mostovkou 7 Podélný řez: a) projekt PDPS, b) alternativní návrh, c) výstavba 8 Vizualizace konstrukce lávky 9 Příčný řez mostovkou: a) v poli, b) u opěry 10 Konstruktivní řešení 11 Statické působení konstrukce: a) stavba, b) provoz 6 The two-span structure prestressed by: a) an external cable situated above the deck, b) an internal cable situated within the deck, c) an external cable situated under the deck 7 Longitudinal section: a) tender design, b) alternative design, c) erection 8 Visualisation of the structure of the footbridge 9 Cross-section of the deck: a) at mid-span, b) at an abutment 10 Structural solution 11 Structural behaviour of the footbridge during: a) erection, b) service

tahovou únosnost trubek, lze tyto trubky přivařit ke kotvám kabelů až po smontování všech segmentů mostovky [5]. Pak je, s ohledem na ochranu PE povlaku monostrandů, nutné při přivařování trubek zajistit speciální teplotní ochranu monostrandů.

U samokotvené konstrukce lze trubky visutých kabelů pevně spojit s kotvami před protažením monostrandů a tak odstranit tento komplikovaný detail. Abychom měli jistotu, že je to možné, detailně jsme posoudili všechny montážní stavy. Statické působení konstrukce při stavbě a za provozu je zřejmé z obr. 11. Lávka byla nelineárně analyzována programovým systémem Ansys – byla modelována jako 3D prutová konstrukce sestavená z mostovky, pylonů, základů, plechů spojujících trubku a mostovku, předpínacích kabelů, závěsů, vodorovných pružin a hmotných bodů simulujících stálé zatížení

(obr. 12). Visuté kabely byly modelovány soustavou rovnoběžných prutů vystihující rozdílne působení trubek a monostrandů. Jejich vzájemné spojení umožnilo jejich vzájemný tečný posun. Podobně bylo modelováno spojení předpínacích kabelů s mostovkou.

Podpěření základů pilotami bylo vystiženo pomocí kloubových podpor posuvných v podélném směru a pružin simulujících tuhost pilot a odpor základové zeminy ve vodorovném směru. Jejich tuhost byla převzata z projektu PDPS. Při stavbě byla mostovka podepřena kontaktními prvky, od kterých se konstrukce mohla nazdvihnout. Předpínací kabely byly vedeny v těžišti vylehčeného průřezu.

Vodorovná pružina vystihující odpor zeminy proti vodorovnému posunu základů byla uvažovaná nulovou hodnotou a hodnotou určenou v projektu PDPS. Také předpětí mostovky

bylo uvažováno nulovou hodnotou a hodnotou odpovídající napnutí 2×6 monostrandů.

Velká pozornost byla věnována návrhu geometrie visutých kabelů a velikosti předpětí monostrandů. Po napnutí visutých kabelů se mostovka vzepnula od montážních podpěr a konstrukce získala požadovaný tvar, který garantoval minimální ohybové namáhání mostovky a pylonů. Z obr. 13, který ukazuje normálové napětí v horních a dolních vláknech mostovky od zatížení stálého, je zřejmé, že předpětí vyvozené visutými kabely je dostatečné pro omezení tahových namáhání, které v konstrukci vznikají vlivem teplotních změn a užitého zatížení.

Konstrukce byla nelineárně analyzována pro teplotní účinky $\Delta T = -30 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\Delta T = +25 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro tři polohy užitého zatížení situovaného po celé délce, na jedné polovině a ve středu mostovky.

Pro ilustraci jsou na obr. 14 uvedeny průběhy ohybových momentů, které v mostovce vznikají od posledních dvou zatěžovacích stavů. Protože bezpečnost konstrukce závisí na stabilitě tlačené mostovky, byl také proveden stabilitní výpočet, ve kterém bylo postupně zvětšováno zatížení situované na polovině a ve středu mostovky. Konstrukce ztrácí stabilitu, když nelze najít rovnováhu na deformované konstrukci. Pro zatížení situované na jedné polovině mostovky to bylo pro 5,75násobek zatížení, pro zatížení situované ve středu mostovky to bylo pro 4,50násobek zatížení. Je tedy zřejmé, že stabilita štíhlé tlačené mostovky není kritická pro návrh konstrukce. Pro představu o míře bezpečnosti je na obr. 15 ukázána deformace konstrukce těsně před ztrátou stability.

Protože má lávka nízké vlastní frekvence (obr. 16), byla konstrukce

posouzena na vynucené kmitání [7], [8]. Analýza prokázala, že zrychlení konstrukce je v povolených mezích, a tak by uživatelé neměli mít nepříjemný pocit, když by na lávce stáli anebo se po ní procházeli.

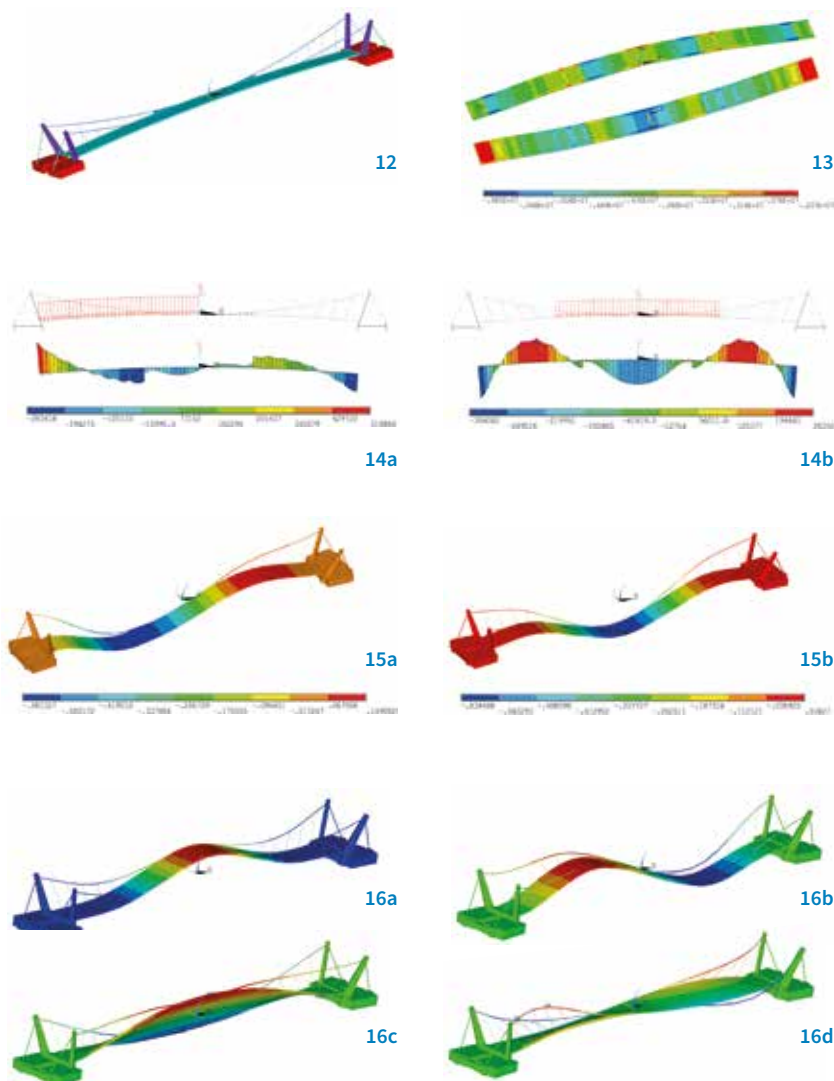
Popsaná analýza konstrukce potvrdila, že namáhání konstrukce je v přijatelných mezích. Je zřejmé, že konstrukci lze jednoduše realizovat. Protože konstrukce tvoří integrovaný konstrukční systém bez kloubů, ložisek a dilatačních závěrů, dá se předpokládat, že by nevyžadovala náročnou údržbu. Proto věříme, že najde použití u dalších přemostění.

Lávka přes Johnson Creek v Oregonu v USA

Při návrhu přemostění lávky přes Johnson Creek v oregonském Portlandu v USA byla navržena samokotvená visutá konstrukce tvořená štíhlou betonovou mostovkou podepřenou visutými kabely (obr. 17 a 18). S ohledem na možnost širšího využití byl na VUT v Brně tento typ konstrukce podrobně analyzován a ověřen statickým modelem [9].

Lávku o jednom poli s rozpětím 60,80 m tvoří štíhlá betonová mostovka, která je prostřednictvím trojúhelníkových vzpěr podepřena dvojicí visutých kabelů kotvených v krajních opěrách. Betonová mostovka je vetknuta do krajních opěr podepřných mírně skloněnými ocelovými pilotami. Pilotové založení je tak dostatečně tuhé, aby přeneslo montážní zatížení, a současně je dostatečně poddajné, aby umožnilo vodorovný pohyb opěr, který je vyvolán objemovými změnami betonu.

S ohledem na nepřístupný terén nebyla navržena betonáž mostovky na skruži, ale byl navržen způsob montáže konstrukce vycházející z montáže konstrukcí z předpjatého pásu. Mostovka je sestavena z 3,04 m dlouhých segmentů, které jsou spřaženy s dodatečně betonovanou monolitickou deskou, v níž jsou situovány montážní i předpínací soudržné kabely. Každý třetí segment je spojen s trojúhelníkovými ocelovými vzpěrami, které přenáší radiální síly z vnějších visutých kabelů do mostovky (obr. 19). Aby vzpěry byly namáhány minimálními vodorovnými



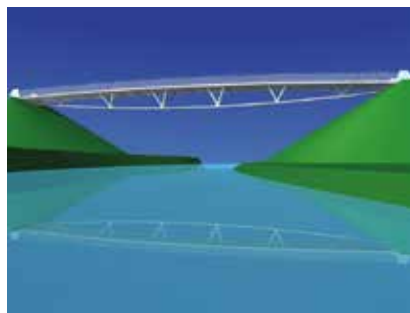
silami, jsou visuté kabely tvořeny monostrandy zainjektovanými v ocelových trubkách. Proto jsou třecí síly působící ve styčných vzpěr nevýznamné.

Návrh předpokládal následující postup výstavby. Nejdříve se napnou montážní nosné kabely. Potom jsou na kabely zavěšeny segmenty, které jsou po nich posunuty do projektované polohy (obr. 20a). Segmenty, které jsou montovány s již osazenými ocelovými vzpěrami, se vzájemně pevně a kloubově spojí. Potom jsou nataženy a napnuty visuté vnější kabely (obr. 20b). Napnutím těchto kabelů se konstrukce přesune do projektované polohy. Potom jsou vybetonovány spáry mezi segmenty a sprážená deska, odstraní se montážní spojení a mostovka se předepne vnějšími kabely (obr. 20c). Tímto způsobem je vytvořena samokotvená konstrukce.

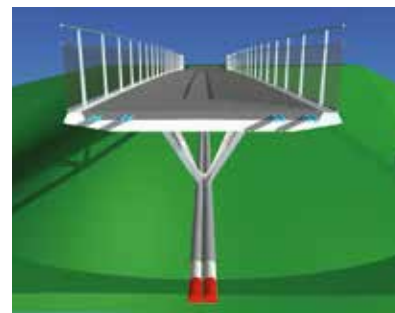
Podobně jako lávka přes řeku Opa byla tato konstrukce posouzena pro všechna normová zatížení, byla ověřena stabilita tlačené mostovky a bylo provedeno posouzení konstrukce na dynamické zatížení. Analýza prokázala, že zrychlení konstrukce je v povolených mezích, a tak by uživatelé neměli mít nepříjemný pocit, když by na lávce stáli anebo se po ní procházeli. Pro informaci jsou na obr. 21 uvedeny vlastní tvary a frekvence.

Protože je zřejmé, že popsaná konstrukce tvoří velmi efektivní konstrukční systém, byla její funkce ověřena nejen analyticky, ale také měřeními fyzikálního modelu postaveného v měřítku 1 : 8 (obr. 22). Model, který byl postaven ve Sdružené laboratoři pro zkoušení nosných konstrukcí Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí FAST VUT v Brně, ověřil nejen statickou funkci konstrukce, ale také postup výstavby.

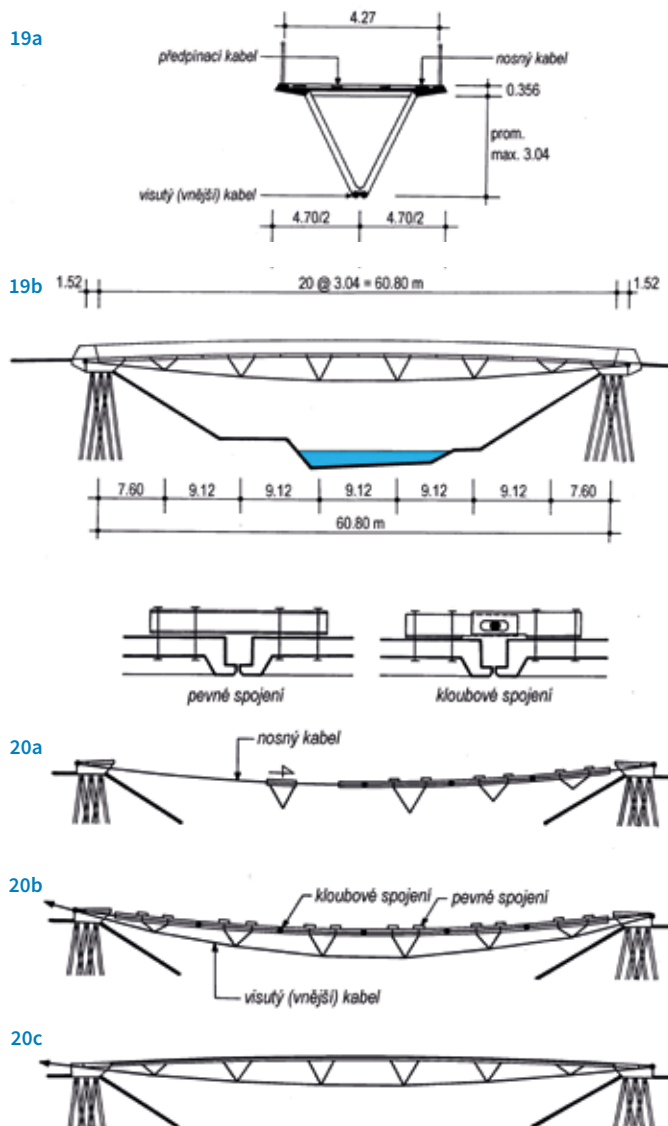
Model byl sestaven ze štíhlé mostovky podepřené a předepnuté vnějšími kabely. Jak mostovka, tak i kabely byly zakotveny v koncových kotevních blocích. Tyto bloky byly podepřeny betonovými podstavci, které byly vzájemně spojeny ocelovými profily a předpínacími tyčemi. Mostovka byla sestavena z prefabrikovaných segmentů tloušťky 26 mm a sprážená deska tloušťky 20 mm. S ohledem na mimořádnou štíhlost mostovky byly jak nosné, tak i předpínací kabely



17



18



12 Výpočtový model 13 Zatížení stálé – normálové napětí: a) v horních, b) dolních vláknách mostovky [Pa] 14 Ohybové momenty v mostovce: a) zatížení na polovině mostovky, b) zatížení ve středu mostovky 15 Deformace konstrukce před ztrátou stability: a) zatížení na polovině mostu, b) zatížení ve středu mostu 16 První vlastní tvary a frekvence 17 Vizualizace lávky přes Johnson Creek 18 Konstrukční řešení 19 Lávka: a) příčný řez, b) podélný řez 20 Postup výstavby: a) montáž segmentů, b) montáž visutých kabelů, c) předepnutí

12 Analytical model 13 Dead load – normal stresses at: a) top, b) bottom fibres of the deck [Pa] 14 Bending moments in the deck: a) loading on one half of the deck, b) loading in the middle of the deck 15 Deformation of the structure before the loss of stability: a) loading on the one half of the deck, b) loading in the middle of the deck 16 First natural modes and frequencies 17 Visualisation of the footbridge across the Johnson Creek 18 Structural arrangement 19 Footbridge: a) cross-section, b) longitudinal section 20 Stages of the construction: a) erection of segments, b) erection of suspension cables, c) prestressing

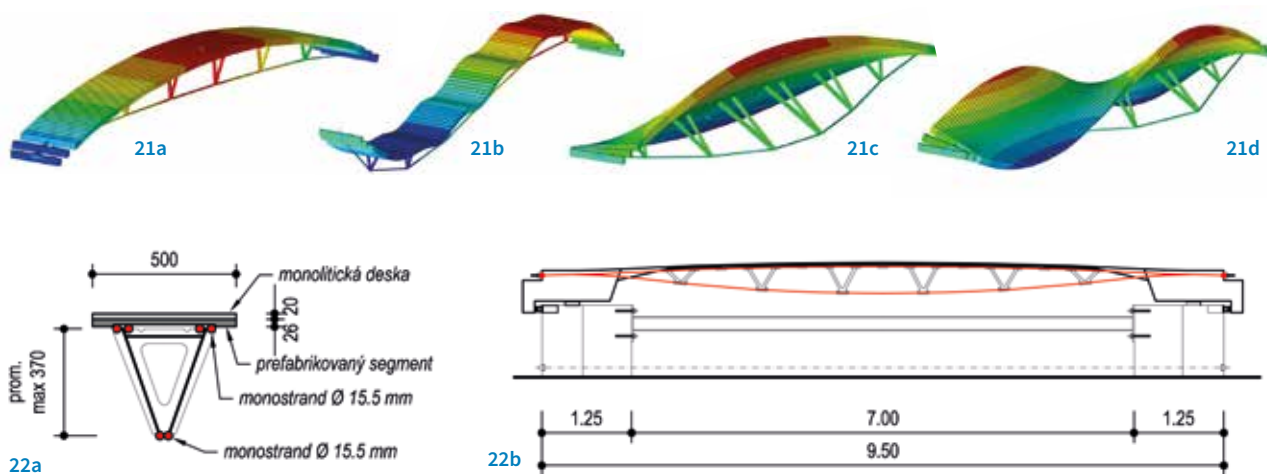
tvořeny dvojicemi monostrandů vedenými pod mostovkou. Přechod mezi spřaženou mostovkou a kotevními bloky byl vytvořen monolitickými náběhy. Spojení visutých kabelů, které byly tvořeny dvěma monostrandy $\varnothing 15,5$ mm, s mostovkou bylo zajištěno ocelovými vzpěrami. Aby při zkoušce nedošlo k jejich porušení, byly vzpěry navrženy velmi bezpečně.

Model byl postaven podobně jako navrhovaná konstrukce. Po vybetonování kotevních bloků, které byly

dočasně vetknuty do podstavců, byly smontovány nosné kabely s ocelovými vzpěrami a segmenty. Napnutím visutých kabelů byla konstrukce vyzdvižena do projektované polohy. Potom bylo bednění náběhů zavěšeno na segmenty a kotevní bloky. Následně byly spáry mezi segmenty, spřažená deska a náběhy vybetonovány. Když beton dosáhl dostatečné pevnosti, vetknutí kotevních bloků k podstavcům bylo uvolněno a vnější visuté a předpínací kabely byly dopnuty.

Aby byla zajištěna modelová podobnost, byly na mostovku zavěšeny ocelové tyče, které vystihovaly tíhu konstrukce. Nahodilé zatížení bylo nahrazeno tíhou betonových válců a pylů s pískem uložených na mostovku.

Stavba modelu byla pečlivě monitorována. Konstrukce byla zkoušena pro tři polohy nahodilého zatížení situovaného po celé délce, uprostřed (obr. 23) a na jedné polovině délky mostovky. Naměřené deformace a poměrná přetvoření byly v dobré



23



25



24



26



21 První vlastní tvary a frekvence **22** Model lávky: a) příčný řez, b) podélný řez **23** Provozní zatížení ve středu mostovky **24** Mezní zatížení na polovině mostovky **25** Porušení konstrukce **26** Porušení mostovky podélným smykem

21 First natural modes and frequencies **22** Model of the footbridge: a) cross-section, b) longitudinal section **23** Service load at the middle of the deck **24** Ultimate load on one half of the deck **25** Failure of the structure **26** Failure of the deck by longitudinal shear

Literatura:

- [1] STRÁSKÝ, J., NEČAS, R. Lávka přes Harbor Drive v San Diegu, Kalifornie, USA. *Beton TKS*. 2009, roč. 9, č. 4, s. 14–22. ISSN 1213-3116.
- [2] KOLÁČEK, J., NEČAS, R., STRÁSKÝ, J. Curved Cable-Stayed and Suspension Pedestrian Bridges. In: *Footbridge, Wrocław 2011*. s. 286–287. ISBN 978-83-7125-204-4.
- [3] GIMSING, N. J. *Cable Supported Bridges, Concept & Design*. Chichester: John Wiley & Sons, 1998. ISBN 0 471 69939 7.
- [4] STRÁSKÝ, J. *Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges*. London: Thomas Telford Publishing, 2005. 2nd edition, 2011. ISBN 0 7277 3282 X.
- [5] SLIWKA, P., KALÁB, P., ŠTEFAN, P., STRÁSKÝ, J. Lundabron – lávka pro pěší a cyklisty. *Beton TKS*. 2020, roč. 20, č. 4, s. 32–39. ISSN 1213-3116.
- [6] *Link projekt: Rekreační oblast Stříbrné jezero Opava – 1. etapa, SO 206 Lávka přes řeku Opavu*. Projekt PDPS 2019.
- [7] STRÁSKÝ, J., NEČAS, R., KOLÁČEK, J. Dynamická odezva betonových lávek. *Beton TKS*. 2009, roč. 9, č. 4, s. 80–87. ISSN 1213-3116.
- [8] *Guidelines for the design of footbridges. fib - Guide to good practice prepared by Task Group 1.2. Fédération internationale du béton (fib)*, 2005. ISBN 2-88394-072-X.
- [9] NEČAS, R., HRNČÍŘOVÁ, M., STRÁSKÝ, J. Flat Arch Stiffened by a Suspension Cable. In: *Footbridge, Wrocław 2011*. s. 286–287. ISBN 978-83-7125-204-4.

shodě s výsledky statické analýzy (tab. 1). Zkouška mezní únosnosti byla provedena pro pozici nahodilého zatížení situovaného na jedné polovině délky (obr. 24). Konstrukce se porušila smykem v podélné spáře mezi prefabrikovanými segmenty a monolitickou deskou při zatížení větším, než je zatížení mezní (obr. 25 a 26). Protože byl prefabrikovaný beton s ohledem na svou malou tloušťku spojen s monolitickým betonem jen soudržností, je zřejmé, že u skutečné konstrukce, u které by byly navrženy spřahovací prvky, by mezní únosnost byla podstatně vyšší.

Závěr

Detailní statická a dynamická analýza a ověření konstrukce na modelu prokázaly, že samokotvené visuté konstrukce tvořené štíhlou mostovkou, která je zavěšena anebo podporovaná visutými kabeley, představují úsporný konstrukční systém. Předpjatá betonová mostovka zajišťuje nejen roznos sil, ale také dává konstrukcím integritu a požadovanou tuhost. Dynamická analýza prokázala, že vybuzené kmitání těchto konstrukcí je v povolených mezích, a tak by uživatelé neměli mít nepříjemný pocit, když by na lávkách stáli anebo se po nich procházeli.

Tab. 1 Deformace mostovky uprostřed rozpětí
Tab. 1 Deformation of the deck at mid-span

Deformace mostovky uprostřed rozpětí [mm]			
	zatížení 1	zatížení 2	zatížení 3
výpočet [mm]	19	23	29
měření [mm]	18	23	28

Článek vznikl za podpory projektu FAST-S-17-4580 *Prostorově zakřivené mostní konstrukce podporované kabeley. Model lávky přes Johnson Creek byl postaven za podpory projektu FH-IM5/128* *Progressivní konstrukce z vysokohodnotného betonu, který byl financován Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR – IMPULS.*

Fotografie: archiv společnosti SHP



prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.
 Fakulta stavební VUT v Brně
 Ústav betonových a zděných konstrukcí
 & Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
 strasky.j@fce.vutbr.cz



Ing. Radim Nečas, Ph.D.
 Fakulta stavební VUT v Brně
 Ústav betonových a zděných konstrukcí
 necas.r@fce.vutbr.cz



Ing. Jan Koláček, Ph.D.
 Fakulta stavební VUT v Brně
 Ústav betonových a zděných konstrukcí
 kolacek.j@fce.vutbr.cz



Ing. Jan Pozdíšek, Ph.D.
 Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
 j.pozdisek@shp.eu



Ing. Gabriel Kirishchyan
 Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
 g.kirishchyan@shp.eu

inzerce



KREATIVITA, ZNALOST, ZKUŠENOST, POCTIVÁ PRÁCE

Stráský, Hustý a partneři s. r. o., Bohunická 50, 619 00 Brno, Česká republika, tel.: +420 547 101 811
 www.shp.eu, shp@shp.eu

Lávka Lunda, Umeå, Švédsko

SHP