

# DVĚ „BUTTERFLY“ LÁVKY

Jiří Stráský, Pavel Kolenčík, Pavel Kaláb, Martin Formánek

Projekty dvou lávek pro pěší a cyklisty navržené pro přemostění řek Váh a Nitra jsou popsány s ohledem na architektonické a konstrukční řešení, statickou a dynamickou analýzu a postup výstavby. Obě lávky tvoří úsporné samokotvené obloukové konstrukce, u kterých je oblouková síla přenášena tahovou únosností předpjaté mostovky. Protože mostovky obou mostů jsou zavěšeny na vně skloněných obloucích, tvoří obě lávky tzv. motýlové (butterfly) obloukové konstrukce. Jak oblouky, tak i mostovka jsou vetknuty do koncových kotvených bloků přímo podepřených vrtanými pilotami, a tak tvoří obě lávky na údržbu nenáročnou integrovanou konstrukci.

## TWO “BUTTERFLY” FOOTBRIDGES

The projects of two footbridges for pedestrians and cyclists designed to bridge the Váh and Nitra Rivers are described with regard to their architectural and structural solutions, static and dynamic analyses and the process of their construction. Both structures form economical self-anchored arch structures, in which the arch force is resisted by the tensile strength of the prestressed bridge deck. Since the bridge deck of both bridges is suspended on the outward inclined arches, both bridges form a so-called butterfly arch structures. As both the arches and the bridge deck are embedded at the end anchor blocks directly supported by the drilled piles, both bridges form low-maintenance integral structures.

### Lávka přes řeku Váh v Ružomberku na Slovensku

V roce 2013 vypsal město Ružomberok architektonicko-konstrukční soutěž na projekt lávky, která měla nahradit stávající dvoupolovou ocelovou konstrukci. Dále popsany návrh, který podala firma Stráský, Hustý a partneři (SHP), Brno, získal první cenu. Firma SHP následně vypracovala projekty pro územní a stavební povolení.

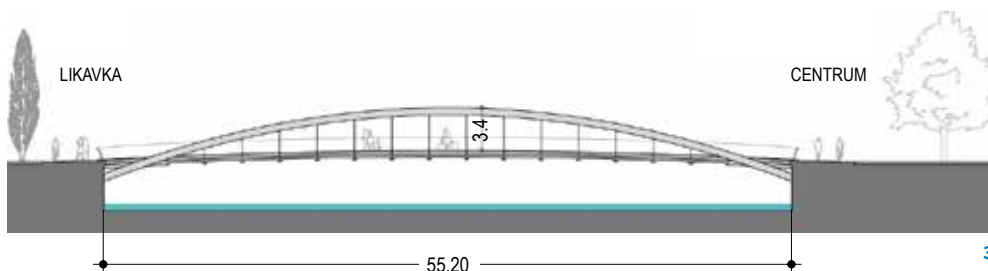
Potom město opravilo stávající konstrukci a příprava stavby konstrukce nově byla odložena. Poněvadž navrhované řešení bylo podkladem pro návrh dalších konstrukcí, je jistě vhodné ji zde popsat.

### Architektonické a konstrukční řešení

Lávka spojuje centrum města s obcí Likavka a propojuje komunikace

pro pěší a cyklisty situované na obou březích řeky (obr. 1). Pro plynulé napojení na tyto komunikace má lávka proměnnou šířku od 6,5 m ve středu mostu do 9,57 m u opěr. Mostovka z předpjatého betonu je zavěšena na příčně skloněných ocelových obloucích, které s ohledem na její proměnnou šířku u krajních opěr podchází pod mostovku. Otvírá se tak prostor a oblouky nebrání výhledu (obr. 2).

Ocelové oblouky lichoběžníkového průřezu výšky 500 mm a šířky od 200 do 500 mm mají rozpětí 55,2 m, jejich svislé vzepětí je 5,45 m (obr. 3). Oblouky jsou skloněny 50° od svislé. Mostovka, která je zavěšena na obloucích každé 3 m, je sestavena z prefabrikovaných segmentů tvořených dvěma 0,556 m vysokými krajními trámy a mostovkovou deskou (obr. 4). V krajních trámech jsou vedeny předpínací kabely kotvené v koncových příčnicích. Šířka segmentů je proměnná od 8 m ve středu mostu do 10,57 m u opěr. Ve spárách jsou



<b>Investor</b>	město Nitra
<b>Projektant</b>	Stráský, Hustý a partneři s.r.o., Brno
<b>Generální zhotovitel</b>	STRABAG s.r.o., oblast Západ, Bratislava
<b>Podzhotovitel ocelové konstrukce</b>	NOPS spol. s r.o., Nitra



2

segmenty zesíleny příčníky proměnné výšky. U opěr jsou segmenty nahrazeny plnou monolitickou deskou s obvodem odpovídajícím konstrukci v místě příčníků (obr. 5).

Uspořádání mostu u krajních opěr a statické působení konstrukce jsou zřejmé z obr. 6 až 8. Krajní opěry, které jsou tvořeny koncovými kotevními bloky, jsou podepřeny dvojicí vrtaných pilot. Ocelové oblouky jsou vetknuty do kotevních bloků monoliticky spojených s mostovkou. Vodorovná složka obloukové síly se tlačnými vzpěrami tvořenými krajními kotevními oblouky přenáší do předpjaté mostovky. Moment od dvojice vodorovných sil působících v patě oblouku a v mostovce je zachycen dvojicí svislých sil působících v pilotách (obr. 6). Pro svislé zatížení tak konstrukce tvoří samokotvený konstrukční systém, ve kterém jsou piloty zatíženy jen svislými silami. Vodorovné zatížení pilot je pak vyvoláno jen objemovými změnami betonové mostovky a zatížením větrem.

### Statická analýza

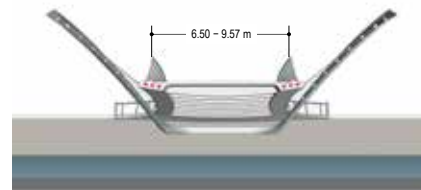
Podle povahy řešeného problému byla konstrukce řešena jako prostorová konstrukce sestavená z prutových nebo deskostěnových prvků (obr. 7). Analýza, která byla provedena programovým systémem Midas Civil, vy-

šla ze zvoleného počátečního stavu, ve kterém byla definována požadovaná geometrie i stav napjatosti. Konstrukce vyhověla pro všechna normová zatížení.

### Postup výstavby

Návrh lávky předpokládal, že po provedení vrtaných pilot a opěr budou smontovány ocelové oblouky. Pro jejich montáž by byla využita střední podpora původní lávky (obr. 8a). Oblouky by byly při stavbě kloubově uloženy na krajní opěry. Po svaření obloukových segmentů by byly opěry spojeny montážními předpínacími kabely a montážní podepření oblouků by bylo zrušeno. Dále by byly, při současné úpravě sil v montážních kabelech, symetricky od středu mostu postupně zavěšovány prefabrikované segmenty (obr. 8b). Po jejich montáži by se osadilo bednění částí mostovky u podpěr (obr. 8c). Při předpínání mostovky by se postupně odstranily montážní kabely (obr. 8d).

Popsaná konstrukce je lehká a transparentní, vyznačuje se minimální spotřebou materiálu a má atraktivní vzhled. Doufáme, že bude realizována. Zkušenosti s projektem lávky přes Váh byly využity při návrhu lávky přes řeku Nitru.



4

5a



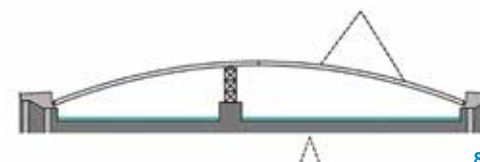
5b



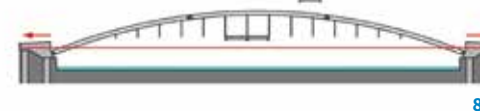
6



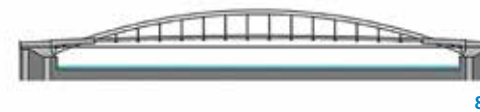
7



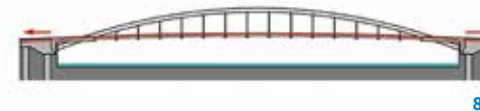
8a



8b



8c



8d

1 Lávka přes řeku Váh – vizualizace 2 Lávka přes řeku Váh (pohled shora) – vizualizace 3 Pohled 4 Příčný řez lávkou 5 Konstrukce lávky: a) pohled shora, b) pohled zespodu 6 Statické působení 7 Výpočtový model 8 Montáž lávky

1 Footbridge across the Váh River – visualisation 2 Footbridge across the Váh River (top view) – visualisation 3 Elevation 4 Footbridge cross-section 5 Footbridge structure: a) top view, b) bottom view 6 Static function 7 Analytical model 8 Footbridge erection



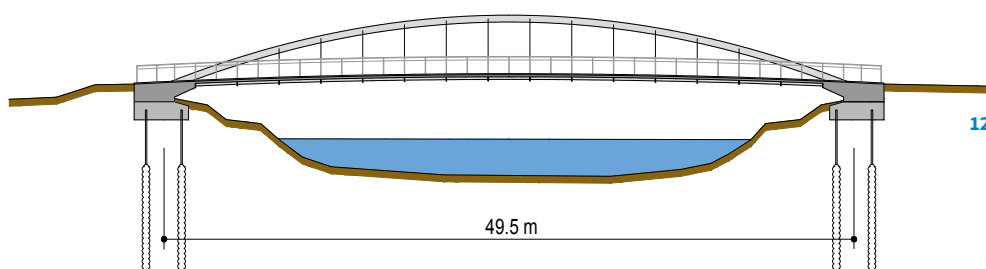
9



10



11



12

### Kalvářský most – lávka přes řeku Nitra ve slovenské Nitre

Lávka, která je situována poblíž Technickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity, spojuje stávající pěší a cyklistické komunikace na Wilsonově nábřeží s nově postavenou komunikací na Nábřeží mládeže.

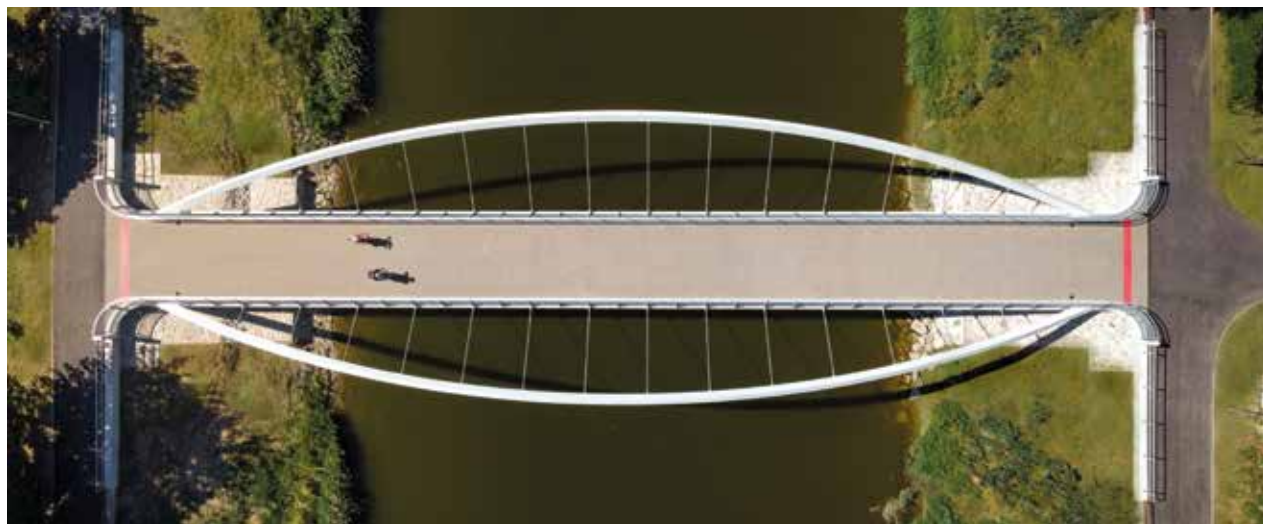
### Architektonické a konstrukční řešení

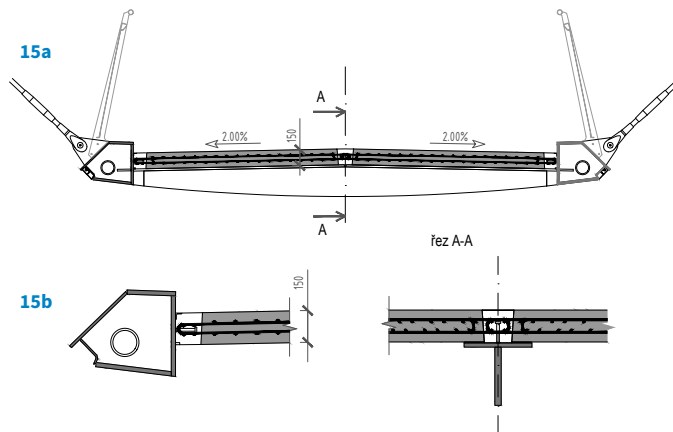
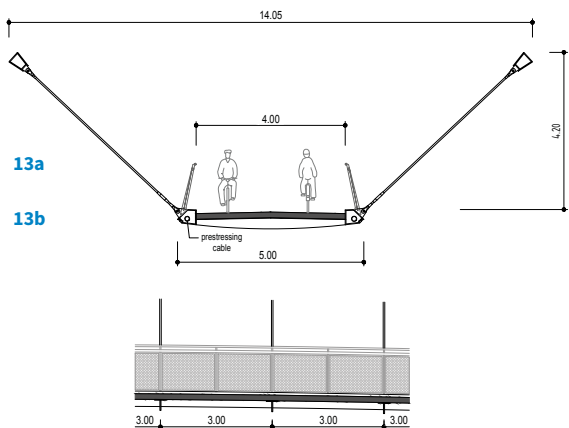
S ohledem na současné výškové vedení komunikací a hladinu velké vody bylo nutno navrhnout konstrukci s co možná nejmenší výškou mostovky, a proto byla navržena ekonomická oblouková konstrukce s předpjatou oce-

lobetonovou mostovkou přenášející obloukovou sílu svojí tahovou únosností. Aby byl z obou nábřeží zachován volný výhled na historický střed města, je vzepětí oblouku co možná nejmenší (obr. 9). Snahou bylo navrhnout konstrukci, která otvírá prostor a vyzývá k přejití (obr. 10 a 11).

Mostovka je ve vrcholovém zakřivením oblouku s maximálním podélným sklonem 5 % u krajních opěr. Rozpětí oblouku je 49,5 m (obr. 12), volná šířka mezi zábradlím je 4 m (obr. 13 a 14). Protože jak oblouky, tak i mostovka jsou vetknuty do krajních opěr podporovaných mikropilotami, tvoří most integrovaný konstrukční systém bez ložisek a dilatačních závěrů.

14





Ocelové oblouky lichoběžníkového průřezu výšky 450 mm a šířky od 200 do 350 mm mají rozpětí 49,5 m, jejich svislé vzepětí je 5,376 m. Oblouky jsou skloněny 43,62° od svislé. Mostovka, která je zavěšena na obloucích každé 3 m, je sestavena z krajních komorových nosníků výšky 400 mm, ocelových příčniců proměnné výšky a sprážené mostovkové desky sestavené z prefabrikovaných prvků. Na šířku byly použity dva 150 mm vysoké prvky uložené mezi příčnicí. Vzájemné spojení prvků a jejich napojení na krajní nosníky bylo tvořeno petlicovým stykem (obr. 15).

V krajních trámech jsou vedeny předpínací kabely kotvené v koncových příčnicích (obr. 16). Kabely z 2× 19-0,6" lan, které jsou v ocelové konstrukci vedené v HDPE trubkách, zachycují v betonové desce tah od objemových změn betonu a od nahodilého zatížení. Závěsy jsou tvořeny tyčemi McAlloy Ø 42 mm.

Ocelová konstrukce byla natřena bílou barvou. Povrch mostovky, který současně tvoří její izolaci, je osvětlen LED světly situovanými v madle zábradlí. Oblouky i krajní nosníky mostovky jsou osvětleny LED světly situovanými v jejich spodních přírubách.

#### Statická a dynamická analýza, zatěžovací zkoušky

Podle povahy řešeného problému byla konstrukce řešena jako prostorová konstrukce sestavená z prutových nebo deskostěnových prvků (obr. 17). Analýza montážních i provozních stavů vyšla ze zvoleného počátečního stavu, ve kterém byla definována požadovaná geometrie i stav napjatosti. Konstrukce byla řešena dvěma programovými systémy: Ansys a Midas Civil.

Pohoda chodců byla posouzena pro svislé impulsy velikosti 180 N. Odpovídající hodnota maximálního zrychlení  $a_v = 0,511 \text{ m/s}^2$  je menší než přípust-

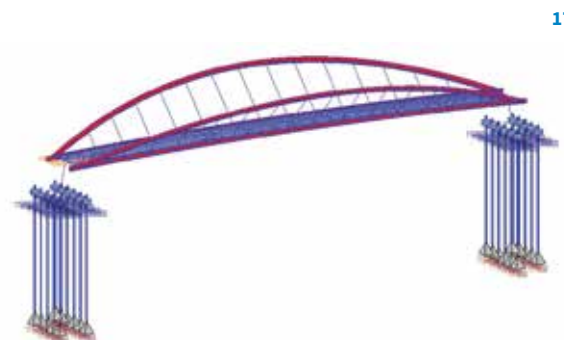
9 Lávka pro cyklisty přes řeku Nitra s pohledem na nitranský kostel sv. Ladislava  
 10 Lávka pro cyklisty přes řeku Nitra – letecký pohled  
 11 Konstrukce lávky  
 12 Podélný řez  
 13 Mostovka: a) příčný řez, b) pohled  
 14 Půdorysný pohled  
 15 Mostovka: a) příčný řez, b) detaily napojení prefabrikovaných prvků  
 16 Ocelový zárodek, předpínací kabel a výztuž opěry  
 17 Výpočtový model  
 18 První vlastní ohybový tvar a frekvence  $f_{(V1)} = 1,769 \text{ Hz}$   
 9 Footbridge across the Nitra River with the view of St. Ladislav Church  
 10 Footbridge across the Nitra River – aerial view  
 11 Bridge structure  
 12 Elevation  
 13 Deck: a) cross-section, b) elevation  
 14 Plan view  
 15 Deck: a) cross-section, b) connection details of precast members  
 16 Steel weldment, prestressing cable and abutment's reinforcement  
 17 Analytical model  
 18 First natural bending mode and frequency  $f_{(V1)} = 1,769 \text{ Hz}$

#### Literatura:

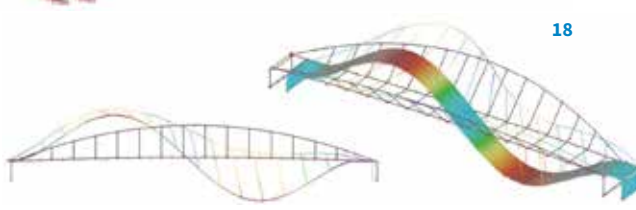
- [1] STRÁSKÝ, J., NEČAS, R., KOLÁČEK, J. Dynamická odezva betonových lávek. *Beton TKS*, 2009, roč. 9, č. 4, s. 80–87. ISSN 1213-3116.
- [2] *Guidelines for the design of footbridges. fib Guide to good practice* prepared by Task Group 1.2. Fédération internationale du béton (fib), 2005. ISBN 2-88394-072-X.
- [3] BUJŇÁK, J. a kol. *SO 201-00 – Cyklolávka cez rieku Nitra. Závěrečná správa zo statických a dynamických zatažovacích skúšok mosta*. Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra stavebných konštrukcií a mostov. Žilina, 2021.



16



17



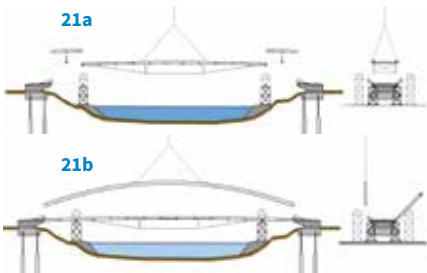
18



19

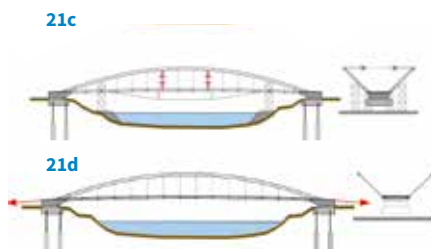


20



21a

21b



21c

21d

ná hodnota  $a_{v,dov} = 0,665 \text{ m/s}^2$ , která je odvozená od první ohybové frekvence  $f_{(V1)} = 1,769 \text{ Hz}$  (obr. 18) [1] a která také odpovídá přípustnému zrychlení  $a_{v,dov} = 0,700 \text{ m/s}^2$  podle Eurokódu [2].

Konstrukce lávky byla ověřena statickými a dynamickými zatěžovacími zkouškami provedenými Žilinskou univerzitou [3]. Při statické zkoušce byla konstrukce zatížena prázdnými vozidly Tatra 815 hmotnosti od 11,57 do 12,32 t. Konstrukce byla kontrolována pro dva zatěžovací stavy – účinnost deformací a rozhodujících vnitřních sil byla od 71,3 do 86,7 %. Při prvním zatížení byla čtyři vozidla umístěna symetricky ke středu mostu (obr. 19), při druhém zatížení byla tři vozidla situována

na polovině konstrukce. Jak pružné, tak i dlouhodobé deformace byly v souladu s požadavky normy a potvrdily nejen předpoklady statického výpočtu, ale také kvalitu provedených prací.

Předmětem dynamické zkoušky bylo ověření vlastních tvarů a frekvencí a sledování dynamické odezvy lávky na přejezdy zkušebního vozidla Volkswagen Crafter hmotnosti 2,4 t, které přejíždělo konstrukci hladkými jízdami a jízdou přes normovou překážku rychlostmi od 5 do 40 km/h. Maximální zrychlení v polovině i čtvrtině rozpětí byla v rozsahu od 0,2 do 0,3  $\text{m/s}^2$ . Zkoušky prokázaly shodu teoretických a naměřených vlastních frekvencí a potvrdily, že lávka má dostatečnou dy-

namickou tuhost. Při aplikovaných dynamických zatíženích se nevyskytlo žádné nebezpečné rezonanční rozkmitání konstrukce.

### Postup výstavby

Po provedení pilot a základových patek krajních opěr byly osazeny ocelové zárodky komorových nosníků a obloukových žebér (obr. 20). Následně byla kolem zárodků vyvázána betonářská výztuž (obr. 16) a opěry byly vybetonovány.

Aby nebylo nutno stavět montážní podpěry v řece, byla ocelová mostovka sestavená z podélných krajních nosníků a příčníků montážně ztužena táhly situovanými pod nosníky (obr. 21a a 22). To umožnilo smontovat celou mostovku a podepřít ji jen montážními podpěrami situovanými u krajních opěr. Po osazení mostovky byly smontovány oblouky (obr. 21b a 23).

Oblouky byly osazeny na montážní klouby situované na koncích zárodků. Geometrie oblouků byla zajištěna montážními podpěrami situovanými



22



23



24



25a



25b

19 Statická zatěžovací zkouška – zatížení 1 20 Ocelový zárodek 21 Stavební stadia 22 Montáž ocelové mostovky 23 Montáž oblouku 24 Lávka přes řeku Nitra spojuje Wilsonovo nábřeží a Nábřeží mládeže 25 Lávka je osvětlena LED světly situovanými: a) v madle zábradlí, b) ve spodních přírubách oblouků a krajních nosníků

19 Static loading test – load 1 20 Steel weldment 21 Construction stages 22 Steel deck erection 23 Arch erection 24 Footbridge across the Nitra River connects a Wilson's waterfront with a waterfront Mládeže 25 The footbridge is illuminated by LED lights located: a) in the handrail, b) in the bottom flanges of the arches and edge beams

vedle podpěr podporujících mostovku. Po kontrole geometrie byly oblouky přivařeny k zárodkům. Následovala postupná montáž a napínání závěsů, čímž byla tíha mostovky postupně přenesena na oblouky (obr. 21c). Dále následovala montáž prefabrikovaných prvků mostovky, betonáž spár a předepnutí mostovky (obr. 21d). Pak mohlo být montážní předepnutí nosníků a podepření mostovky a oblouků zrušeno.

Stavba konstrukce byla zahájena v dubnu 2020 a do provozu byla uvedena v dubnu 2021 (obr. 24 a 25).

## Závěr

Konstrukce obou lávek tvoří úsporný a na údržbu nenáročný integrovaný konstrukční systém bez ložisek a dilatačních závěrů. Protože pro přenesení obloukové síly je využita tahová únosnost předpjaté mostovky, jsou popsane konstrukce velmi hospodárne. Lávky lze postavit s minimálním dopadem na životní prostředí. Konstrukce lávek jsou lehké a transparentní, současně jsou však bezpečné a jejich pohyb od zatížení chodci anebo větrem nevyvolává u uživatelů nepříjemné pocity.



prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.  
Stráský, Hustý a partneři s.r.o., Brno  
j.strasky@shp.eu



Ing. Pavel Kolenčík  
Stráský, Hustý a partneři s.r.o., Brno  
p.kolencik@shp.eu



Ing. Pavel Kaláb, Ph.D.  
Stráský, Hustý a partneři s.r.o., Brno  
p.kalab@shp.eu



Ing. Martin Formánek  
SHP SK s.r.o., Bratislava  
m.formanek@shp.eu