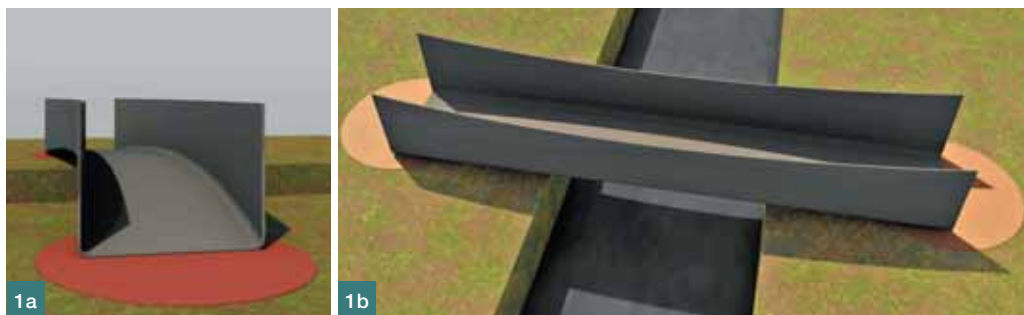


UNIKÁTNÍ TENKOSTĚNNÁ OBLOUKOVÁ LÁVKA Z UHPFRC ■ UNIQUE THIN-WALLED ARCH FOOTBRIDGE MADE FROM UHPFRC

Jiří Kolísko, David Čítek, Ondřej Císlar, Petr Tej, Jan Marek

Článek se zabývá návrhem, přípravou a výrobou unikátní tenkostěnné obloukové dvojitě zakřivené lávky vyrobené z UHPFRC. Vynikající vlastnosti tohoto materiálu umožnily návrh velmi subtilní konstrukce. Ve spolupráci s Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze a společností KŠ Prefa, s. r. o., byla na základě dalších výpočtů a experimentů týmem autorů článku navržena výroba první lávky, úpravy původního návrhu a detailů konstrukce a následně vyrobena lávka finální. Lávka je navržena pro pěší, s příčným řezem tvaru U, na rozpětí 10 m, světlé šířky 1,50 m. Tloušťka skořepinové konstrukce z UHPFRC oscilovala v intervalu 30 až 45 mm. Lávka byla odlita v jednom záběru, a to díky unikátnímu samozhutitelnému charakteru UHPFRC. Z důvodu komplikovaného tvaru prvku bylo nezbytné teoretické analýzy ověřovat testováním na menších vzorcích. V rámci přípravy byla optimalizována receptura UHPFRC a také přístupy k výrobě bednění a postupy odlévání. Nejprve byl odlit zkušební segment, poté odlita první lávka. Na ní byla ověřena možnost provedení a statickou zkouškou kalibrován návrhový model. Na základě výsledku betonáže a statické zkoušky byly provedeny dílčí úpravy tvaru a byla vybetonována druhá, konečná verze lávky. ■ **Actual paper focus on design, preparation and production of thin-walled footbridge made from UHPFRC.** Extraordinary properties of UHPFRC made it possible to design a very subtle construction of the footbridge. In cooperation with the Klokner Institute of the Czech Technical University in Prague and the company KŠ Prefa, s. r. o., and based on further calculations and experiments, the team of authors proposed production, modification of the original design and details of the design and subsequent construction of the final footbridge. The footbridge is designed for pedestrians, with a U-shaped cross-section, has span of 10 m and the clear width of 1.50 m with the total thickness of shell structure from 30 to 45 mm. The footbridge was precast as an element in one piece thanks to the self-compacting character of UHPFRC. An extensive research was carried out on certain parts of the footbridge because of the very complex shape of the final structure. During the preparation of the footbridge, optimization of the concrete mixture as well as production of the formwork and casting process was needed. At first, a trial experimental casting of the testing element was performed. After this experiment, the first footbridge was produced. The casting process was verified and a load bearing capacity of the structure was tested. According to the results of these tests the final design of the footbridge was optimized and the second – final version of the footbridge was produced.



Ultra vysokopevnostní vláknobeton (UHPFRC – Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete) je nový perspektivní vysokohodnotný cementový materiál [1] až [6] a [13]. Jeho mechanické vlastnosti (pevnost v tlaku 120 až 180 MPa, pevnost v tahu za ohybu cca 20 až 40 MPa) a zpracovatelnost umožňují navrhovat speciální konstrukce, mimo jiné i konstrukce tenkostěnné. Pro využití UHPFRC je zásadní jeho velmi vysoká trvanlivost násobně převyšující běžný beton. Pro větší rozšíření možností navrhování a aplikací tohoto materiálu v ČR byly již dříve zpracovány metodiky [7], [8], [9].

Jako aplikační využití byl proveden návrh tenkostěnné dvojitě zakřivené lávky (obr. 1). Lávku architektonicky a konstrukčně navrhli Ondřej Císlar a Petr Tej na základě objednávky města Kladna, na jehož předměstí, u obce Vrapice, bude lávka umístěna. Ve spolupráci s Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze a společností KŠ Prefa, s. r. o., byla na základě dalších výpočtů a experimentů týmem autorů článku navržena výroba zkušební vzorku lávky (lávka č. 1), podle něhož byl původní návrh včetně detailů konstrukce upraven, a následně byla vyrobena lávka finální (lávka č. 2) s rozpětím 10 m. Lávka je navržena s dvojitým zakřivením – horizontálním i vertikálním, ve svlsém i příčném směru

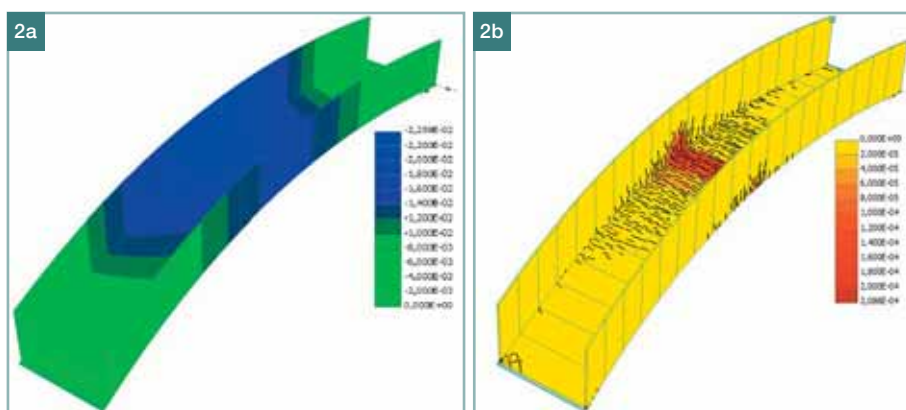
Obr. 1a,b Původní vizualizace lávky, která byla v průběhu realizace upravena ■
Fig. 1a,b First visualisation of the footbridge, which was modified during the design process

Obr. 2 Grafický ilustrativní výstup z dílčího kroku nelineárního modelování programem ATENA: a) průhyby pro zatížení 4,2 kN/m² na úrovni maximálně 3 mm, b) rastr trhlin pro zatížení 9,2 kN/m² ■ Fig. 2 Graphical layout of the nonlinear numerical calculation in program ATENA: a) deflection on the maximum level of 3 mm – load 4,2 kN/m², b) crack localization – load 9,2 kN/m²

je kruhový oblouk s převýšením 0,4 m. Průřez lávky má šířku 1,5 m. Konstrukci lávky tvoří mostovka tloušťky 45 mm a boční stěny tloušťky 30 mm tvořící zábradlí. Výška stěny je ve středu rozpětí lávky 1,1 m a v oblasti podpory 1,5 m. Na obou koncích lávky je provedeno zesílení spodní desky pro uložení na podpory.

NÁVRH LÁVKY

Bylo rozhodnuto, že pro vyztužení lávky nebude použita nosná ani jiná konvenční výztuž – k přenosu tahových namáhání slouží pouze vyztužení rozptýlenými ocelovými vlákny. Tomu bylo nutno přizpůsobit i postup statické analýzy konstrukce. Posouzení možnosti tvaru lávky bylo provedeno nelineárními výpočty programem ATENA [15], [16] pro materiál třídy C110/130



a charakteristické zatížení 4 kN/m². Ilustrace výstupů analýz je na obr. 2, podrobnější informace jsou uvedeny v článku [12]. Výpočty potvrdily, že navržený tvar je pro požadované zatížení realizovatelný, a tak mohlo být přistoupeno k výrobě lávky.

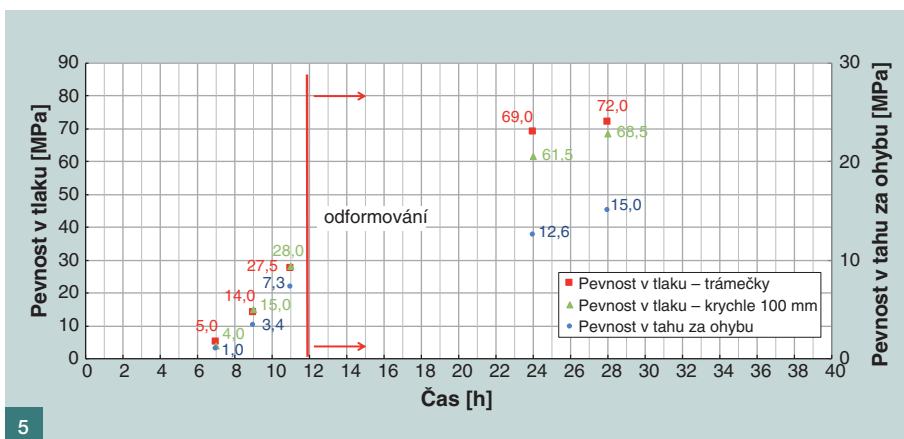
TECHNOLOGIE VÝROBY LÁVKY

Zkušební betonáž části lávky

Jedním z hlavních problémů výroby tvarově složitě lávky byla technologie betonáže. Zejména kvůli dvojitému zakřivení a velmi tenkým stěnám bylo rozhodnuto o odlití lávky „vzhůru nohama“. Vzhledem k relativně složité a pro cementové hmoty zcela neobvyklé tenkostěnné konstrukci bylo nutno prověřit možnosti výroby ověřovací betonáže na menším vzorku, a tak byl odlit segment lávky v délce 1,5 m. Hlavním cílem bylo ověřit samotný proces odlévání, výsledný stav povrchů prvku, správnou konzistenci čerstvé směsi a schopnost formy odolávat tlakům od čerstvého betonu. Velmi podstatným parametrem bylo také sledování procesu tuhnutí a okamžiku možnosti uvolnění bednění pro snížení rizik spojených s objemovými změnami. Bednění bylo dřevěné s deskami s laminovaným povrchem a bylo nutné jej navrhnout tak, aby vydrželo tlak čerstvého betonu, který je vzhledem k vysoké tekutosti hlavním zatížením při odlévání (obr. 3). Pro získání zakřiveného tvaru při betonáži „vzhůru nohama“ bylo nutné veškeré povrchy kompletně uzavřít do bednění. To zahrnovalo potenciální problémy s kvalitou povrchů konstrukce uzavřené do bednění a se zhotovením celé lávky pouze přes dva plnicí otvory.

Kontrolní betonáže prokázaly:

- možnost zcela vyplnit formu bez kaveren a makropórů,
- možnost vytvořit hladké a esteticky velmi přijatelné povrchy na viditelných i skrytých plochách,
- homogenní a esteticky velmi přijatel-



5

ný spodní povrch konstrukce uzavřeno do bednění.

Optimalizace receptury při betonáži vzorku lávky

Použitá směs UHPFRC byla vyvinuta a optimalizována v Kloknerově ústavu ČVUT v Praze. Finální směs se skládá z cementu CEM II 52,5 N, jemného kameniva s maximální velikostí 2 mm, strusky, mikrosiliky a ocelových mikrovláken délky 13 mm. Objemový podíl vláken byl pro tuto aplikaci zvolen 1,5 %. Směs byla dobarvována černým pigmentem pro získání architektem požadovaného tmavého odstínu. Objem vody a superplastifikátoru byl optimalizován s ohledem na zpracovatelnost, která byla kontrolována pro každou záměs rozlitiím Hågermannova kuželu, přičemž zkouškami ověřená optimální hodnota rozlitií byla stanovena na 310 mm.

Optimalizace receptury během výroby zkušební vzorku lávky zahrnovala nejen nastavení zpracovatelnosti, ale také stanovení vývoje mechanických vlastností materiálu v čase. První testy byly provedeny již 5 h po odlití. Další sada vzorků byla testována vždy každé dvě hodiny a testy pokračovaly až do vyjmutí zkušební prvku z formy. Vývoj materiálových vlastností do 40 h po betonáži je znázorněn na obr. 5.



Obr. 3 Bednění vzorku ■

Fig. 3 Formwork of the experimental sample

Obr. 4 Vzorek po odbednění ■

Fig. 4 Demoulded experimental sample

Obr. 5 Vývoj mechanických parametrů UHPFRC v intervalu do 40 h po betonáži ■

Fig. 5 Development of the material parameters of UHPFRC in the first 40 hours after casting

Fig. 5 Development of the material parameters of UHPFRC in the first 40 hours after casting

Rozhodující hodnota pevnosti v tlaku pro odbednění byla stanovena na 30 MPa.

VÝROBA LÁVKY Č. 1

Výroba bednění

Na základě úspěšně provedené kontrolní betonáže bylo navrženo a připraveno konečné bednění celé lávky včetně dvojitě zakřivení. Bylo rozhodnuto připravit pouze dva otvory pro nalévání – na koncích lávky v oblasti ložisek lávky. Bednění bylo vyrobeno, sestaveno a připraveno v Kloknerově ústavu a vzhledem k délce mostu a možnostem přepravy na místo betonáže bylo rozděleno do čtyř částí. Velmi složitou konstrukci bednění bylo třeba navíc optimalizovat z hlediska rychlého a snadného uvolnění a vyjmutí z formy. Důvodem bylo minimalizovat riziko působení objemových změn na možný vznik trhlin. Po celkové kontrole sestaveného bednění bylo vše převezeno do závodu KŠ Prefa Štětí (obr. 6) a zde byly všechny části bednění spojeny dohromady. Před sestavením byl na povrchy aplikován odbedňovací prostředek a forma byla uzavřena. Bednění bylo dostatečně vyztuženo systémem dřevěných trámů (obr. 7), aby odolalo tlaku čerstvého betonu.

Betonáž lávky

Betonáž lávky proběhla za nízkých teplot v zimním období. Teplota surovin byla mezi 1 a 8 °C. Konečný



Obr. 6 Přeprava čtvrtiny bednění ■
Fig. 6 Transportation of ¼ of the formwork

Obr. 7 Celkové sestavení bednění ■
Fig. 7 Final mounting of the formwork

Obr. 8 Odbedněná lávka ■
Fig. 8 Demoulded footbridge

Obr. 9 Odbedněná lávka před transportem ■
Fig. 9 Demoulded footbridge before transportation

Obr. 10 Přeprava odbedněné lávky na místo pro vyzrání ■
Fig. 10 Transportation of the demoulded footbridge to the spot for ageing

objem směsi UHPFRC byl $1,4 \text{ m}^3$ ve třech dávkách, které byly postupně lity z dvou krajních otvorů v oblasti uložení. Chladné prostředí mělo na konzistenci a počátek tuhnutí pozitivní vliv a nevznikl problém s pracovními spárami mezi jednotlivými dávkami. Při samotném ukládání a hutnění nebyly použity žádné vibrátory, neboť bylo využito samozhutnitelného chování směsi. Odlévání celého elementu trvalo přibližně 1 h. Vzhledem k nízké teplotě v hale byla po ukončení lití forma zateplena polystyrénovými deskami, překryta fólií a zahřívána spuštěnými přenosnými teplomety. Maximální teplota na vnějším povrchu bednění nedosáhla $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Souběžně byl testován vývoj pevnosti v tlaku a pevnosti v ohybu pro stanovení času odbednění. Okamžik uvolnění bednění byl nastaven na 11 až 12 h po odlití. Přídatné ohřívání probíhalo následujících pět dnů a teplota UHPFRC a okolí se po čtyřech dnech vyrovnaly. Odbedněná lávka v poloze „vzhůru nohama“ je znázorněna na obr. 8 a 9. Všechny povrchy tenkých desek včetně horního povrchu mostovky byly velmi hladké a ve velmi dobré kvalitě. Směs UHPFRC zcela bez problémů vyplnila celou tenkostěnnou strukturu bednění. Po sedmi dnech od odlití byla lávka vyvezena na skladovací místo mimo halu a jeřábem transportována na polystyrénové změny.

Výsledné mechanické parametry UHPFRC po 28/56 dnech byly:

- pevnost v tlaku na krychlích $100 \text{ mm} - 150/162 \text{ MPa}$,
- pevnost v tlaku na zlomcích trámečků $40 \times 40 \times 160 \text{ mm} - 152/162 \text{ MPa}$,
- pevnost v tahu za ohybu na trámečcích $40 \times 40 \times 160 \text{ mm} - 22,6/29,1 \text{ MPa}$,
- modul pružnosti na trámečcích $100 \times 100 \times 400 \text{ mm} - 51 \text{ GPa}$.



Manipulace a statická zatěžovací zkouška

Po dosažení stáří vhodného pro otočení lávky do finální pozice byla lávka vyvezena na volné prostranství a otočena pomocí dvou jeřábů ve svislé pozici. Tato operace vyžadovala velmi striktní bezpečnostní podmínky. Manipulaci s lávkou ve svislé pozici byla ověřena tahová únosnost příčného řezu – na lávce nebyl monitorován vznik dočasných trhlin od manipulace. Lávka byla po otočení umístěna na pryžové podložky a přikotvena k železobetonovým panelům tak, aby bylo možné provést zatěžovací zkoušku.

Zatěžovací zkouška byla provedena na provozovně Štětí tak, že na lávku byly postupně v jednotlivých zatěžovacích krocích umístěny pytle s pískem. Během zkoušky byl měřen průhyb láv-

ky uprostřed rozpětí a vychýlení svislých stěn taktéž uprostřed rozpětí. Při posledním zatěžovacím kroku došlo k porušení v místě přechodu desky do svislého zábradlí vlivem vychýlení (vybočení) vnější stěny. Tato skutečnost byla dána celkově nižší tuhostí konstrukce, než bylo v modelu předpokládáno. Při jednotlivých krocích byl naměřen vyšší průhyb, který měl za následek právě vybočení zábradlí a vznik podélné trhliny v místě náběhu. Zatížení bylo zvyšováno až do porušení lávky pro validaci výpočtových modelů.

Z provedených prací na lávce č. 1 vyplynulo:

- vlastnosti použitého UHPFRC, navržený tvar bednění a technologie betonáže lávky i odbednění umožňují vyrobít složitý tenkostěnný tvar dvojité zakřivené obloukové lávky,





Obr. 11 Provádění statické zatěžovací zkoušky na lávce č. 1 ■ Fig. 11 Load bearing test of the footbridge No. 1

Obr. 12 Provádění statické zatěžovací zkoušky na lávce č. 2 ■ Fig. 12 Load bearing test of the footbridge No. 2

Obr. 13 Dokončená lávka č. 2 ■ Fig. 13 Final footbridge No. 2

- lávka je po zatvrdnutí stabilní a dostatečně dobře manipulovatelná,
- z technologie výroby vyplynulo několik poznatků o ideální době odformování, náběhu pevností a vlivu zakřivení na vznik mikrotrhlin na jejím povrchu,
- statická zatěžovací zkouška ukázala, že tuhost zábradelních stěn a jejich napojení na mostovku neodpovídá předpokladům modelu a je nutné provést úpravu tvaru lávky zesílením zábradelních stěn na 35 mm a úpravu poloměru zaoblení v místě napojení.

Všechny tyto poznatky byly pečlivě zkoumány a zapracovány do návrhu finálního tvaru lávky, výroby bednění a finálního postupu technologie betonáže tak, aby byla druhá lávka vyrobena v maximální možné kvalitě.

První lávka nyní slouží pro zkoušky povrchových úprav, při kterých jsou



na povrch UHPFRC aplikovány nátěry, povrch je upravován broušením a jsou zde prováděna další pozorování dlouhodobého charakteru. Tyto zkoušky mají za úkol rozšířit znalosti o chování materiálu a zejm. povrchů, které jsou vystaveny běžným klimatickým podmínkám.

VÝROBA LÁVKY Č. 2

Navržená tvarová úprava plynoucí ze zatěžovací zkoušky lávky č. 1 vyvolala požadavek na novou úpravu již tak komplikovaného bednění. Zároveň byl upraven příčný řez rozšířením stěn a vytvořením náběhu s větším poloměrem v přechodu mezi deskou a svislými stěnami. Úprava stávajícího bednění byla provedena v Kloknerově ústavu, kde bylo finální bednění sestaveno za stejných podmínek jako v případě lávky č. 1. Zkontrolované bednění bylo následně opět rozděleno na čtyři části a převezeno do provozovny KŠ Prefa ve Štětí.

Betonáž lávky

Samotná betonáž finální lávky probíhala ve stejném duchu jako u lávky předchozí. Jediným znatelným rozdílem byla teplota ovzduší. Vzhledem k relativně příznivým podmínkám v hale nebylo nutno bednění před ani po betonáži

proteplotovat. Betonáž probíhala v časných ranních hodinách, tak aby teplota ovzduší korelovala s postupným vývojem teplot během hydratace betonu. Bylo zapotřebí čtyř záměsí oproti třem při betonáži první lávky. Vzhledem k předchozím zkušenostem s návazností jednotlivých várek betonu nebyl při betonáži zaznamenán žádný problém. Náběhy pevností byly kontrolovány jednak pravidelnými zkouškami doprovodných těles a jednak monitorováním vývoje teplot betonu. Tyto hodnoty byly porovnávány s daty získanými při betonáži první lávky, u které byl vývoj teplot monitorován velmi komplexně. Po vytvrzení UHPFRC a dosažení požadovaných hodnot pevností bylo přistoupeno k odbednění. Postup odbednění zahrnoval velmi složitou posloupnost jednotlivých úkonů a po odbednění byla lávka opět přepravena na plochu před výrobní halu.

Výsledné mechanické parametry UHPFRC po 28 dnech byly:

- pevnost v tlaku na krycích 100 mm – 144 MPa,
- pevnost v tlaku na zlomcích trámečků 40 × 40 × 160 mm – 155,5 MPa,
- pevnost v tahu za ohybu na trámečcích 40 × 40 × 160 mm – 28,3 MPa,
- modul pružnosti na válcích 150 × 300 mm – 49,8 GPa.



Literatura:

- [1] KOLÍSKO, J., TICHÝ, J., KALNÝ, M., HUŇKA, P., HÁJEK, P., TREFIL, V. Vývoj ultra vysokohodnotného betonu (UHPC) na bázi surovin dostupných v ČR. *Beton TKŠ: Betonové konstrukce 21. století: betony s přidanou hodnotou*. 14.12.2012, roč. 12, samostatná příloha časopisu, s. 51–56. ISSN 1213-3116
- [2] RYDVAL, M., KOLÍSKO, J., HUŇKA, P., TICHÝ, J. Závislost únosnosti prvků vyrobených z UHPFRC na distribuci vláken. In: *Sborník 20. Betonářské dny v Hradci králové*, 27. – 28.11.2013. ČBS ČSSI, 2013. ISBN 978-80-87158-34-0/978-80-87158-35-7 (CD)
- [3] KOLÍSKO, J., RYDVAL, M., HUŇKA, P. UHPC – Assessing the Distribution of the Steel Fibre and Homogeneity of the Matrix. In: *fib Symposium Tel Aviv, 2013*. Tel Aviv, Israel, 2013.
- [4] VÍTEK, J. L., COUFAL, R., ČÍTEK, D. UHPC – Development and Testing on Structural Elements. In: *Concrete and Concrete Structures 2013 Conference, Žilina, 2013, University of Žilina*. p. 218–223.
- [5] ABBAS, S., NEHDI, M. L., SALEEM, M. A. Ultra-High Performance Concrete: Mechanical Performance, Durability, Sustainability and Implementation Challenges. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. September 2016, Vol. 10, No. 3, p. 271–295.
- [6] DUQUE, L. F. M., VARGA, I., GRAYBEAL, B. A. Fiber Reinforcement Influence on the Tensile Response of UHPFRC. In: *First International Interactive Symposium on UHPC – 2016, Des Moines, IOWA, Jul 18–20, 2016*.
- [7] *Metodika 1 – Metodika pro návrh UHPC a materiálové zkoušky*. Výstup projektu TAČR TA 010110269. Kloknerův ústav ČVUT v Praze, 2014.
- [8] *Metodika 2 – Metodika pro navrhování prvků z UHPC*. Výstup projektu TAČR TA 010110269. Kloknerův ústav ČVUT v Praze, 2014.
- [9] *Metodika 3 – Metodika pro výrobu prvků z UHPC a pro kontrolu jejich provedení*. Výstup projektu TAČR TA 010110269. Kloknerův ústav ČVUT v Praze, 2014.
- [10] KOLÍSKO, J., ČÍTEK, D., TEJ, P. Technologie výroby tenkostěnné obloukové dvojité zakřivené lávky z UHPFRC. In: *Sborník přednášek 14. konference TECHNOLOGIE 2017, Jihlava, 6.–7. dubna 2017*. ČBS ČSSI, 2017. ISBN 978-80-906097-9-2
- [11] KOLÍSKO, J., ČÍTEK, D., TEJ, P., RYDVAL, M. Production of Footbridge with Double Curvature Made of UHPC. In: *Fibre Concrete 2017*. Bristol: IOP Publishing Ltd, 2017. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 246. ISSN 1757-899X
- [12] KNĚŽ, P., TEJ, P., ČÍTEK, D., KOLÍSKO, J. Design of Footbridge with Double Curvature Made of UHPC In: *Fibre Concrete 2017*. Bristol: IOP Publishing Ltd, 2017. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 246. ISSN 1757-899X
- [13] KABELLE, P., SAJDLOVÁ, T., RYDVAL, M., KOLÍSKO, J. Modeling of High-Strength FRC Structural Elements with Spatially Non-Uniform Fiber Volume Fraction. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2015, Vol. 13, No. 6, p. 311–324. ISSN 1346-8014
- [14] BLANK, M., TEJ, P., KOLÍSKO, J., VRÁBLÍK, L. Design of Experimental Suspended Footbridge with Deck Made of UHPC. In: *3rd International Conference on Mechanics and Mechatronics Research, ICMRR 2016, Chongqing, China, 15 June 2016 through 17 June 2016*. ISSN 2261236X In: *MATEC Web of Conferences*. Vol. 77, 3 October 2016, Article number 08005, Code 124092.
- [15] ČERVENKA, V., ČERVENKA, J., PUKL, R. ATENA – A tool for engineering analysis of fracture in concrete. *Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences*. 2002, Vol. 27, No. 4, p. 485–492.
- [16] ČERVENKA, J., PAPANIKOLAOU, V. K. Three Dimensional Combined Fracture-Plastic Material Model for Concrete. *International Journal of Plasticity*. 2008, Vol. 24, No. 12, p. 2192–2220.

Manipulace a statická zatěžovací zkouška

Oproti způsobu otáčení lávky č. 1 ve svislém směru byl pro otáčení finální lávky zvolen způsob otáčení kolem vodorovné osy pracovní nazvaný „kuře na rožni“. Po dosažení potřebného stáří lávky byl vnitřní prostor vyztužen dřevěnými rámy a celá konstrukce byla zpevněna dřevěným ztužením. V těžišti průřezu pak byla navržena ocelová trubka procházející celou délkou lávky. Za vystupující konce trubky byla lávka zvednuta a otočena kolem své osy. Tento postup byl komplikovaný vzhledem k proměnné poloze těžiště po délce lávky způsobené dvojitým zakřivením. Operace otočení se podařila a finální lávka byla vyvezena na otevřenou

plochu vedle stávající odzkoušené lávky a uložena na pryžové podložky.

Po cca dvou měsících ve venkovních podmínkách byla provedena kontrolní statická zatěžovací zkouška, která potvrdila správnost úpravy, návrhu a dostatečnou nosnost lávky. Aktuálně probíhají práce na doladění povrchů a detailů lávky. Lávka bude po dokončení prací připravena k finálnímu umístění do Vrapic u Kladna.

ZÁVĚR

Z provedených prací jednoznačně vyplývá, že při vhodném nastavení parametrů a vlastností UHPFRC lze jeho litím vyrobit velké a značně komplikované tenkostěnné (stěny 30 až 35 mm, mostovka 45 mm) skořepinové konstrukce. V rámci řešení projektu se jako jeden z výstupů podařilo navrhnout a vyrobit složité bednění a následně vyrobit tenkostěnnou obloukovou dvojité zakřivenou lávku. Materiál vyplnil bez použití vibrátorů složitou a velkou formu velmi dobře, čímž bylo samozhutitelné chování navrženého UHPFRC jednoznačně potvrzeno a získaná kvalita povrchů byla velmi dobrá bez vysoké četnosti makropórů či kaveren. Na dílčích experimentech bylo vyzkoušeno množství složitých technologických postupů a inovací. Zatěžovacími

zkouškami byly verifikovány a potvrzeny návrhové metody a únosnost vyrobené lávky. V současnosti probíhají jednání o umístění lávky k reálnému používání, aby se ověřilo její chování ve skutečném provozu.

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu TAČR – TH02020373 Zvýšení životnosti a urychlení výstavby infrastrukturálních dopravních staveb využitím moderního vysokohodnotného materiálu UHPC.

Architektonický návrh a konstrukční řešení	Ondřej Císlar, Petr Tej
Návrh a realizace bednění	Petr Tej, David Čítek, Petr Vrbata, Jan Marek
Návrh a optimalizace materiálu UHPC	David Čítek, Jiří Kolisko
Návrh technologie odlévání lávky směsí UHPC	David Čítek, Jan Marek, Jiří Kolisko
Statická zkouška a ověření chování konstrukce	David Čítek, Jan Marek, Petr Tej

doc. Ing. Jiří Kolisko, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
e-mail: jiri.kolisko@cvut.cz



Ing. David Čítek
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
e-mail: david.citek@cvut.cz



MgA. Ondřej Císlar, Ph.D.
AOC
e-mail: ondrejcisler@gmail.com



Ing. Petr Tej, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
e-mail: petr.tej@cvut.cz



Ing. Jan Marek
KŠ PREFA, s. r. o.
e-mail: j.marek@ksprefa.cz

