

NÁVRH A VÝROBA SEGMENTOVÉ PŘEDEPNUTÉ LÁVKY Z UHPC V PŘÍBOŘE ■ DESIGN AND PRODUCTION OF SEGMENTAL PRESTRESSED FOOTBRIDGE OF UHPC IN THE CITY OF PŘÍBOR



1

Jiří Kolísko, Petr Tej, Lukáš Vráblík, Jan Marek, David Čítek, Jan Mourek, Marek Blank

V listopadu 2018 byla v severomoravském městě Příbor jako první svého druhu v České republice uvedena do provozu segmentová předepnutá lávka z ultra vysokohodnotného betonu (UHPC). V článku je prezentován návrh, výroba, montáž a statická a dynamická analýza této lávky, projektované jako prostý nosník celkové délky 36 m o rozpětí 35 m, který je vytvořen sepnutím pěti dvoukomorových segmentů šířky 2,5 m a výšky cca 0,8 m. Použitý UHPC třídy C110/130 s rozptýlenou ocelovou výztuží byl vyvinut v Kloknerově ústavu (KÚ) a optimalizován a provozně vyzkoušen v KŠ Prefa dle návrhu zpracovaného architekty a pracovníky společnosti Novák & Partner ve spolupráci s pracovníky KÚ. ■ The first segmental prestressed pedestrian bridge made of ultra high-performance concrete (UHPC) was open in the North Moravian city of Příbor in November 2018. The article presents the design, manufacturing, assembly and static and dynamic analyses of the footbridge. The

footbridge is designed as simple beam of total length of 36 m and 35 m span, consisting of five double-chamber segments of the width of 2.5 m and height of cca 0.8 m. The UHPC class C110/130 with dispersed steel reinforcement was developed at the Klokner Institute CTU in Prague (KI) and optimized and tested in use at KŠ Prefa. The footbridge was designed by architects and Novak & Partners company in cooperation with KI.

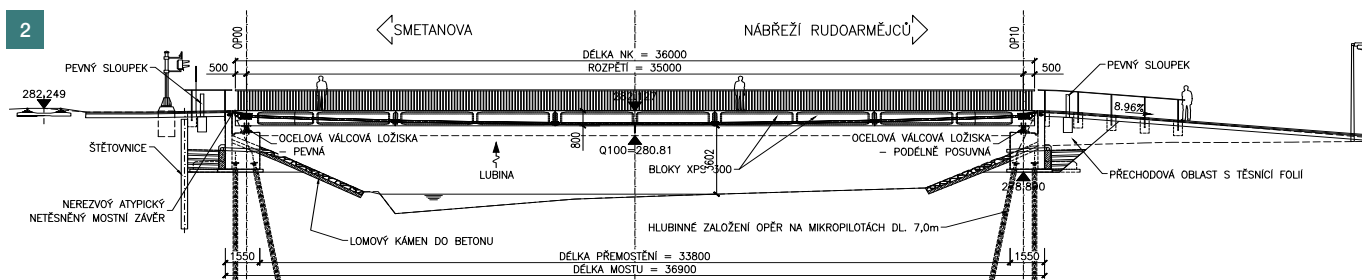
Ultra vysokohodnotný beton (UHPC – ultra high-performance concrete), někdy označovaný i jako ultra vysokohodnotný beton vyztužený drátky (UHPCFRC – ultra high-performance fibre-reinforced concrete), je nový perspektivní vysokohodnotný cementový materiál ([1] až [6], [13]). Jeho mechanické vlastnosti (pevnost v tlaku 120 až 180 MPa, pevnost v tahu za ohybu cca 20 až 40 MPa) a zpracovatelnost nově umožňují navrhovat konstrukce specifických parametrů a tvarů. Pro praktické využití je zásadní i jeho vysoká trvanlivost násobně převyšující trvanlivost běžného betonu.

1 Architektonický návrh lávky v Příboře spočívá v jednoduchém pojetí lávky jako ušlechtilého kamene položeného přes vodu 2 Konstruktivní řešení lávky ■ 1 Architectural concept of the footbridge in the city of Příbor is based on simplicity of the footbridge as a stone laid over the water 2 Structural design of the footbridge

Doporučení pro návrh, zkoušení a výrobu prvků z UHPC a UHPFRC jsou pro stavební praxi v ČR zpracována a shrnuta ve třech metodikách vypracovaných pod vedením Kloknerova ústavu [7], [8], [9].

Tento relativně novodobý cementový kompozit si v České republice postupně nalézá cestu k zajímavým a unikátním konstrukčním aplikacím a v minulém roce byl použit ke stavbě lávky v severomoravském městě Příbor, rodišti Sigmunda Freuda. Z UHPC (avšak jiného konstrukčního řešení) jsou v ČR v současné chvíli zhotoveny

2



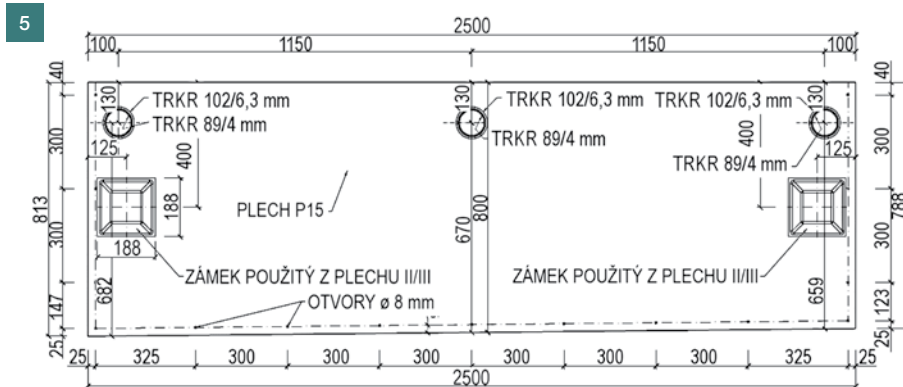
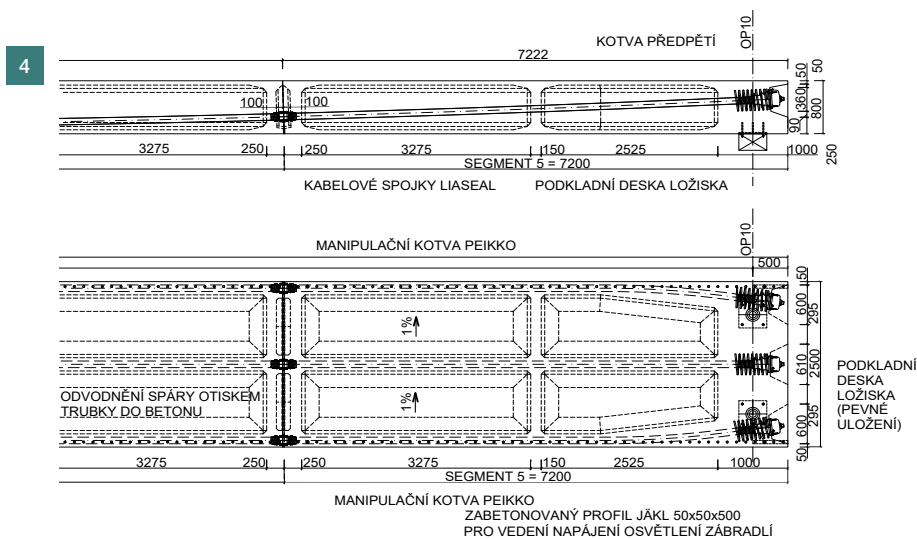
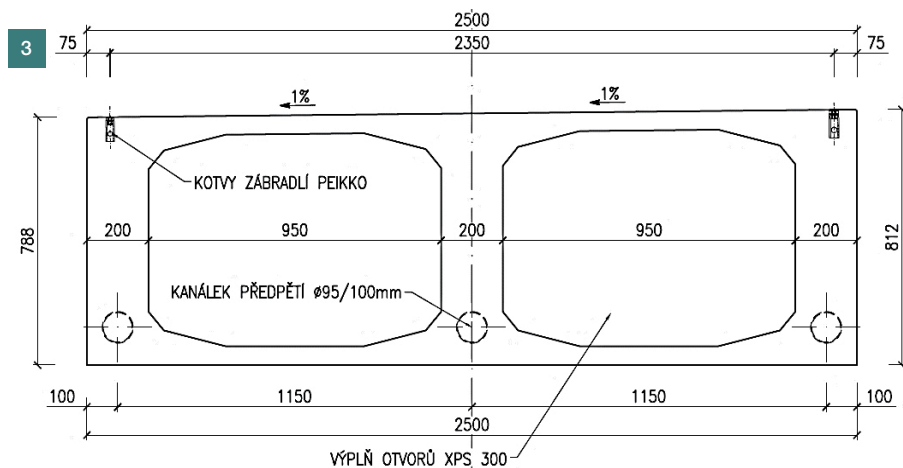
lávky v obci Čelákovice (viz *Beton TKS 4/2014, pozn. red.*), Čeperka (viz *Beton TKS 4/2016, pozn. red.*), v kladenské čtvrti Vrapice (viz *Beton TKS 2/2018, pozn. red.*) a ve městech Přerov a Tábor (viz str. 11, pozn. red.).

Příborská lávka, kterou architektonický návrh pojímá jako ušlechtilý kámen položený přes vodu (obr. 1), je projektovaná jako prostý nosník celkové délky 36 m o rozpětí 35 m z UHPC třídy C110/130 s rozptýlenou ocelovou výztuží. Lávka je uložena pomocí čtveřice ocelových válcových ložisek Ø 200 mm na železobetonovou spodní stavbu. Povrch konstrukce je přímo pochozí (bez dodatečných hydroizolací a krycích povrchů) s odvodněním příčným spádem 1 %. Na mostě je osazeno zábradlí výšky 1,1 m tvořené opticky subtilními kruhovými sloupky Ø 22 mm. Tyto sloupky jsou podélně spojeny masivním lakovaným akátovým madlem, uvnitř něhož je integrované osvětlení lávky, včetně nutného příslušenství.

Nosná konstrukce výšky 800 mm je v podélném směru rozdělena do pěti segmentů délky 7,2 m a příčného řezu dle obr. 3. Štíhlostní poměr konstrukce je tedy 1 : 44. Celková šířka příčného řezu činí 2,5 m. Objem lávky je vylehčen dvaceti rozměrnými polystyrenovými bloky, které omezují spotřebu materiálu UHPC a zároveň lávku vylehčují. Jedná se tak o skrytou roštovou konstrukci nosníku tvořenou systémem spolupůsobících podélných a příčných žebek.

Segmenty lávky jsou podélně sepnuty předpínacími lany vedenými v podélných žebrech vnitřního roštu (obr. 4). Předpětí je (pro segmentové konstrukce netradičně) řešeno zvedanými kabely parabolického průběhu. Toto řešení má příznivý vliv na hodnoty normálových napětí po délce konstrukce, na vznik příčných vynášecích sil ad., nicméně má za následek různou polohu prostupu lan příčnými spárami mezi segmenty. Pro návrh tak bylo (vzhledem k segmentové technologii výstavby) zásadní spolehlivě ochránit systém podélného předpětí proti poškození korozí. Na lávce je navržen unikátní vícenásobný systém ochrany předpínacích lan spočívající v:

- těsnění spár epoxidovým tmelem,
- spojení kabelových kanálků ve spárách speciálními spojkami Liaseal (Freyssinet),
- injektáží kabelových kanálků,
- použití lan typu monostrand (Freyssinet) dodávaných v ochranné bužirce.



Tato ochrana zajistí bezproblémovou únosnost a použitelnost lávky po dobu návrhové životnosti 100 let. Impulzem pro zajištění maximálních opatření zabraňujících možné korozi předpínacích lan byl především pád Trojské lávky koncem roku 2017.

Spodní stavba mostu je řešena standardními železobetonovými opěrami s kolmými křídly. Stavba je založena na mikropilotách.

Zábradlí mostu je tvořeno nerezovými sloupky osazenými do závitových pouzder zabetonovaných v horním povrchu lávky. Je tak docíleno absence patních desek zábradlí.

V dřevěném madle jsou osazena bodová svítidla včetně jejich napájení, které je do madla vedeno dutými sloupky zábradlí na začátku mostu. Madlo zábradlí je tvořeno masivním akátovým dřevem s finálním nátěrem lodním lakem. Odvodnění mostu je řešeno přímým odtokem vody z povrchu díky jednostrannému spádu 1 % (obr. 3).

VÝROBA LÁVKY

Výroba jednotlivých segmentů byla prováděna společností KŠ Prefa Štětí. V předstihu zde byly zhotoveny zkušební segmenty poloviční délky pro ověření



Tab. 1 Parametry směsi UHPC pro výrobu segmentů lávky ■ **Tab. 1** UHPC parameters for manufacturing the footbridge segments

Parametr	Jednotka	Hodnota
objemová hmotnost	[kg/m ³]	2 420 až 2 480
pevnost betonu v tlaku měřená na válcích (150/300 mm)	[MPa]	137,6 až 145,9
modul pružnosti	[GPa]	47,5 až 49,6

3 Uspořádání komorového průřezu lávky

4 Uspořádání předpínacích lan **5** Pohled na jeden z čelních bednicích plechů **6** Pohled na protizávaží s kotvením vylehčovacích polystyrenů a další zabudované prvky jako ložiska a manipulační pouzdra **7** Betonáž navazujícího segmentu v sérii za sebou ■ **3** Chamber cross-section of the footbridge **4** Configuration of the prestressing cables **5** One of the face formwork metal sheets **6** Counterweight with anchored polystyrene blocks and other in-built elements as bearings and manipulation anchors **7** Concreting the adjoining segments serially one after another



rozdělit na bednění dna a boků, které bylo tvořeno betonářskou překližkou Phenox, a bednění čel segmentů vytvořeného pomocí ocelových plechů.

Boční a spodní bednění bylo tvořeno jednoduchými velkoformátovými deskami Phenox, přičemž hrany byly tvořeny oblými rohovými lištami poloměru 10 mm. Čelní ocelový plech byl zásadně složitějším prvkem (obr. 5), který v sobě zahrnoval smykové zámky tvaru plochého komolého jehlanu a trubkové centrovací nástavce pro klíčové vystředění vzájemně navazujících kabelových kanálků podélného předpětí.

Každá spára mezi segmenty byla projektována jako normála průběhu osy předpínacího lana, což mělo za následek to, že každá ze spár mezi segmenty musela být vytvořena speciálním čelním bednicím plechem. Díky symetrii konstrukce bylo možné minimalizovat celkový počet čelních bednicích plechů na 3 ks.

Smykové ozuby byly v čelním plechu vytvořeny frézovanou ocelovou deskou vloženou do plochy plechu. Jejím hlavním úkolem bylo vytvoření ozubů pro přenos smykových sil mezi spárami, nicméně díky přesnosti odlití segmentů sloužily i ke správnému navedení segmentů při jejich vzájemném slepování.

Ačkoliv z vnějšího pohledu působí segmenty tvarově velmi jednoduše, elegantně a čistě, bylo do jejich útrobu nutné zabudovat velké množství

montážních, ochranných a manipulačních prvků. Jedná se zejména o:

- zábradelní nerezová závitová pouzdra v celkovém počtu více než 500 ks,
- manipulační nerezová závitová pouzdra pro výrobní i finální polohu v celkovém počtu cca 80 ks,
- chráničky předpínacích kanálků, injektážní trubičky,
- kabelové spojky Liaseal pro ochranu předpětí procházejícího skrz spáry,
- podložiskové desky,
- přípravky pro otáčení segmentů z výrobní do montážní polohy,
- prostupy pro zavedení elektrického napájení do integrovaného osvětlení,
- závitové tyče a pouzdra pro spojování a slepování segmentů,
- prostupy pro injektáž kabelových kanálků,
- polystyrénové bloky vymezující tvar dutin.

Materiál UHPC

Použitá směs UHPC byla vyvinuta v Kloknerově ústavu a optimalizována ve spolupráci se společností KŠ Prefa. Pro výrobu segmentů byl použit UHPC třídy C110/130, XF4 s rozptýlenou ocelovou výztuží ve formě ocelových drátků. Finální směs se skládá z cementu, jemného kameniva s maximální velikostí 2 mm, strusky, mikrosiliky a ocelových mikrovláken délky 10 mm.

projekčních předpokladů. Následně byla v týdenních odstupech zhotovena pěticí segmentů nosné konstrukce, které byly po 14 dnech od betonáže posledního segmentu dopraveny na stavbu. Celková hmotnost nosné konstrukce činí cca 88,5 t, přičemž krajní segmenty váží cca 19,5 t a střední segmenty 16,5 t.

Bednění a zabetonované prvky

Vzhledem k přímo pochopitelnému povrchu lávky bylo nutné provádět betonáž v obrácené poloze, aby byly finální povrchy v kontaktu s bedněním. Bednění každého segmentu lze v zásadě

8



Objemový podíl vláken byl 1,5 %. Objem vody a superplastifikátoru byl optimalizován s ohledem na zpracovatelnost. Při výrobě jednotlivých segmentů nebyl použit dodatečný pigment. Směs byla vyvinuta jako samozhutnitelná a samonivelační. Vzhledem k velmi dobré konzistenci směsi nebylo nutné žádného dodatečného hutnění a došlo k bezproblémovému zaplnění všech částí formy.

Základní mechanické vlastnosti byly zkoušeny v laboratořích Kloknerova ústavu. Parametry směsi jsou uvedeny v tab. 1.

Výroba segmentů

Výroba byla prováděna kontinuálně, v sérii za sebou (obr. 7). Předchozí betonovaný segment s osazeným čelním plechem tak tvořil stěnu bednění následujícího segmentu. Jednotlivé betonáže probíhaly na české poměry v rekordních objemech pohybujících se mezi 6,5 m³ pro střední a 7,7 m³ pro krajní segmenty.

Na zkušebních segmentech byl ověřován vývoj teploty při hydratačním



10

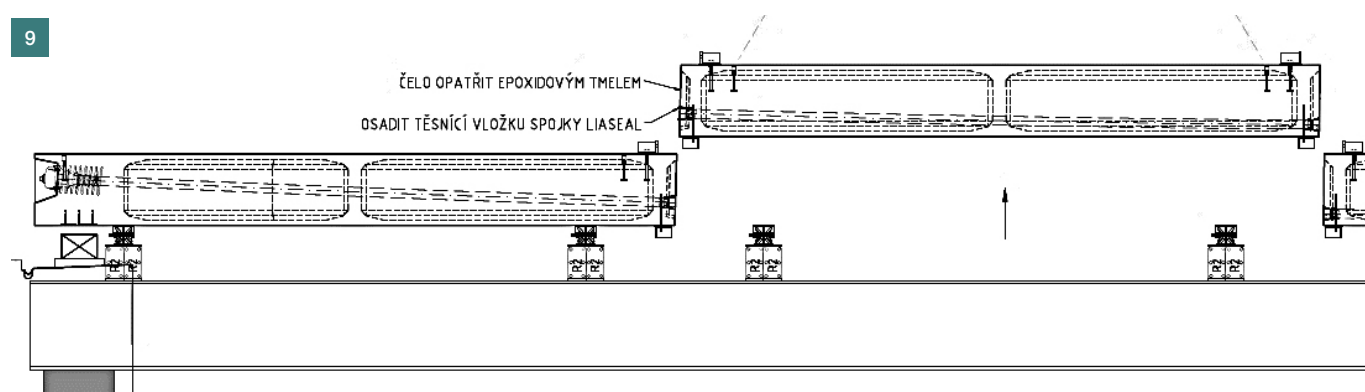
procesu v krajním koncovém příčniku prvního a posledního segmentu. Jedná se o monoblok betonu o rozměrech 1 × 2,5 × 0,8 m.

Betonáž segmentů nosné konstrukce probíhala v letních měsících brzy ráno, aby byl eliminován vliv vysokých teplot na odpařování vody ze směsi a celkově na vývoj hydratačního

tepla. Po betonáži každého segmentu byl na volný povrch konstrukce aplikován dvojitým nástřikem ochranný film na bázi vosku.

Vzhledem k vývoji hydratačního tepla během tuhnutí směsi bylo nutné zaručit co nejrovnoměrnější a nejmalejší ochlazování vybetonovaných prefabrikátů. Chladnutí celého prvku

9





11

8 Montáž segmentu S2 (čtvrtého v pořadí)
 9 Schéma postupu spínání 10 Aplikace epoxidového tmelu na čelo jednoho ze slepovaných segmentů 11 Pohled na dokončenou montáž nosné konstrukce 12 Hrdlo kabelové spojky Liaseal ■
 8 Mounting segment S2 (fourth in order)
 9 Scheme of the process of bracing 10 Application of epoxide to the face of one of the glued segments 11 Finished assembly of the load bearing structure 12 Throat of Liaseal cable connection



12

kteří umožnily jak nadvýšení konstrukce pro eliminaci průhybu skruže, tak zároveň nadvýšení a následně odskrúžení nosné konstrukce po jejím předepnutí.

Doprava

Segmenty byly na místo stavby dopraveny pěti nákladními automobily. Nákladka probíhala portálovými jeřáby v KŠ Prefa Štětí. Pro složení prefabrikátů byl v místě stavby v předstihu smontován masivní jeřáb s nosností 550 t.

Montáž segmentů

Segmenty byly osazeny na podpůrnou skruž směrem od nábřeží Rudarmějců. Mezi segmenty byly vynechány rozestupy šířky cca 100 mm. Krajní segment S5 byl přikotven, aby bylo zabráněno jeho podélnému posunu, přičemž byl se spodní stavbou spojen také předem osazenými ložisky. (obr. 8)

Jednotlivé segmenty bylo po montáži nutné vzájemně spojit utěsněním spár. Ke slepování segmentů byl použit epoxidový tmel s prodlouženou dobou zpracovatelnosti na cca 30 min. Postup spínání byl následovný:

- vyrovnání výškové polohy připojovaného prefabrikátu,
- zdvižení připojovaného prefabrikátu o cca 1 m,
- aplikace tmelu na čelo prefabrikátu, instalace spojky Liaseal,
- sesazení prefabrikátu,
- synchronní spínání segmentů do vytlačení tmelu,
- začištění spáry a přesun čtyř k dalšímu segmentu.

Pro zatěsnění spáry bylo během slepování segmentů nutné sledovat postupné vytlačení epoxidového tmelu po obvodu průřezu. Na obr. 10 je patrná úprava čel každého segmentu. Tato úprava měla za účel minimalizovat plochu lepeného povrchu. Epoxidový tmel použitý pro lepení prefabrikátů byl velice viskózní a při větších plochách měl tendenci klást odpor spínací síle. Po začištění spáry technickým lihem pak bylo možné pokračovat dalším připojovaným segmentem.

Předepnutí a odskrúžení konstrukce

Dodavatelem výztuže byla společnost Freyssinet. Předpínací výztuž lávky je tvořena trojicí kabelů vedených uvnitř mostu v parabolickém oblouku vzepětí 400 mm. Každý kabel je složen ze 17 lan bez soudržnosti typu monostrand (\varnothing 15,7 mm – St 1640/1860) s ochrannou plastovou vrstvou zabraňující kontaktu lan s korozivním médiem.

Kabely jsou vedeny ve standardních ocelových kanálcích z vlnitého plechu \varnothing 95/100 mm. Tyto kanálky jsou v jednotlivých spárách vzájemně propojeny speciálními kabelovými spojkami Liaseal 95/155 mm. Jedná se o plastový výrobek složený ze tří základních částí – dvojice hrdel a vkládaného těsnění. Dvojice hrdel je před betonáží osazena na konce kabelových kanálků, které jsou před aplikací epoxidového tmelu doplněny vloženým těsněním. Ke spojení obou hrdel pak dochází při spojení segmentů

trvalo vždy několik dní a zhotovené segmenty byly po celou tuto dobu zakryty polystyrenovými deskami. Jen tímto postupem je možné zamezit vzniku trhlin od diferenčního smrštění mezi prvky různých tloušťek. V tomto ohledu lze postup ošetřování segmentů přirovnat k ošetřování výrobků zhotovených ze skla.

MONTÁŽ LÁVKY

Montáž lávky proběhla segmentovým způsobem během jednoho pracovního dne. Na místě stavby byla v předstihu sestavena těžká skruž typu Pižmo tvořená dvojicí prostých nosníků s montážní podporou v korytě řeky uprostřed rozpětí. Podlaha skruže byla tvořena čtveřicí tuhých ocelových nosníků, které minimalizovaly průhyb od zatížení vlastní tíhou prefabrikátů. Na horní povrch skruže byly usazeny poklesové klíny,

vzájemným „zacvaknutím“, při kterém je nutné překonat lehký odpor spojky. (obr. 12)

Lana byla napínána jednostranně kotevním napětím 1 440 MPa přibližně týden po slepení segmentů. Následující den po předepnutí lan byly kanály zainjektovány cementovou maltou. Injektážní trubička byla umístěna v nejnižším místě paraboly předpětí s vyústěním do spodního povrchu mostu. Předpínací kotvy 19C15 jsou ponechány volně v koncových kapsách.

STATICKÉ A DYNAMICKÉ POSOUZENÍ

Výpočetní analýzy konstrukce byly provedeny v programu Scia Engineer 2018 a Atena 3D. Výpočetní model byl koncipován jednak jako prutový 2D model včetně časově závislé analýzy fungování konstrukce (TDA) a jednak jako prostorový deskostěnový model se skořepinovými prvky pro modelování mostovky (použito pro modální analýzu konstrukce a harmonickou analýzu dynamického fungování konstrukce). Výpočet v programu Atena 3D byl s ohledem na charakter konstrukce prováděn jako fyzikálně a materiálově nelineární.

Beton mostovky UHPC třídy C110/130 je ve výpočetních programech analyzován jako beton třídy C90/110, u předpětí byl uvažován systém Freyssinet – sedmnáctilánové kabely, ocel St 1860/1640 MPa, monostrandy (vnitřní předpětí bez soudržnosti).

Zatížení uvažované ve statickém výpočtu odpovídalo charakteru konstrukce (vychází z VTD dokumentace jednotlivých částí konstrukce) a platným normám pro navrhování takovýchto konstrukcí. Obecně je možné rozdělit toto zatížení do dvou základních skupin:

- zatížení stálé: reprezentuje vlastní tíhu samotné konstrukce a veškerých dodatečných trvalých součástí mostní konstrukce v souladu s ČSN EN 1991-1-1 ([15]) (zábradlí),
- zatížení nahodilé (užitné): reprezentuje přitížení mostní konstrukce dané její funkcí – pěší provoz na mostě, klimatická zatížení (vítr, teplota, sníh).

Statický výpočet mostní konstrukce

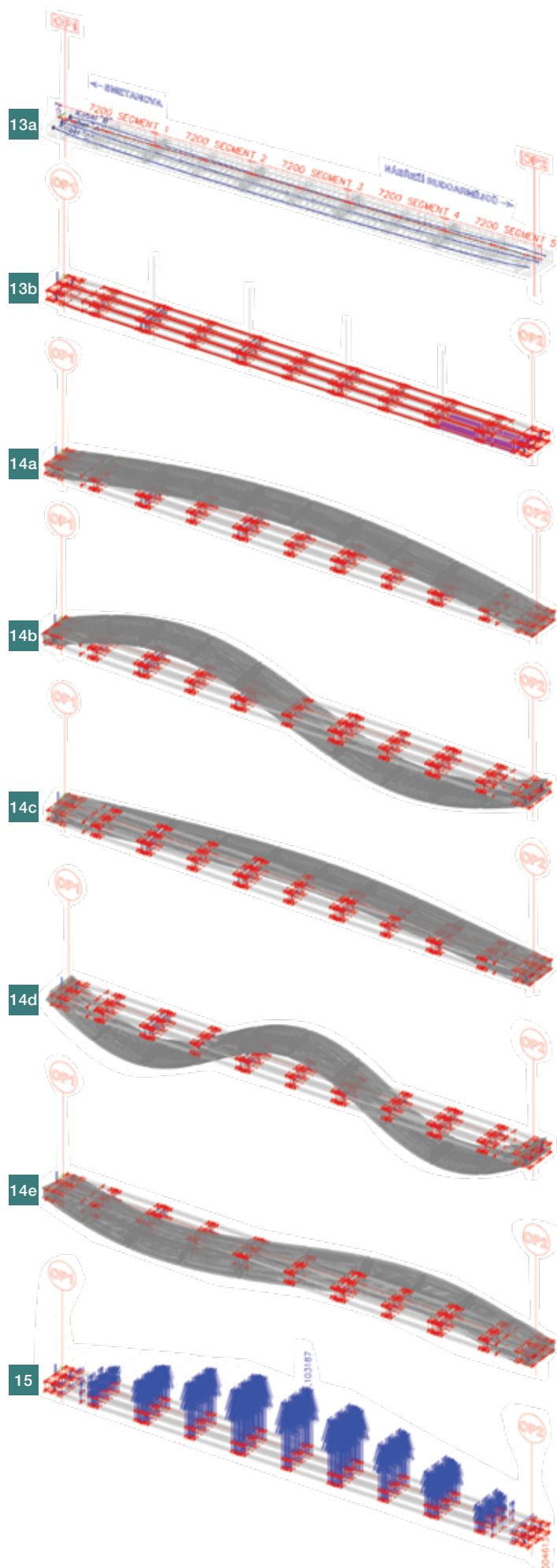
Pro základní výpočetní analýzu konstrukce (pro její návrh a posouzení dle požadavků MSP) byly vytvořeny dva základní výpočetní modely (obr. 13):

- prutový 2D výpočetní model pro časově závislou analýzu konstrukce,
- prostorový výpočetní model přesně respektující veškeré geometrické parametry konstrukce.

Pro výpočetní model mostovky byly použity 2D skořepinové konečné prvky.

Pro globální výpočetní analýzu přesně respektující působení konstrukce z hlediska jednotlivých materiálů a jejich vzájemnou interakci byl vytvořen prostorový výpočetní model v programu Atena 3D.

Pro častou kombinaci kompletního stálého a nahodilého zatížení (rovnoměrné zatížení chodci) bylo prokázáno, že



13 Výpočetní model konstrukce: a) prut 2D, b) deskostěnový **14** Modální analýza: a) 1. vlastní tvar, b) 2. vlastní tvar, c) 3. vlastní tvar, d) 4. vlastní tvar, e) 5. vlastní tvar **15** Harmonická analýza – zrychlení konstrukce ve směru „z“ ■ **13** Computational model of the structure: a) 2D girder b) slabs and walls model **14** Modal analysis: a) 1st natural shape, b) 2nd natural shape, c) 3rd natural shape, d) 4th natural shape, e) 5th natural shape **15** Harmonic analysis – acceleration of the structure in the “z” direction

Tab. 2 Přehled vlastních frekvencí a popis tvarů ■ **Tab. 2** Overview of own frequencies and description of shapes

Číslo vlastního tvaru	Frekvence [Hz]	Popis vlastního tvaru
1	1,361	podélný ohyb mostovky – 1 vlna
2	5,395	podélný ohyb mostovky – 2 vlny
3	5,597	příčný ohyb mostovky – 1 vlna
4	11,940	podélný ohyb mostovky – 3 vlny
5	17,267	příčný ohyb mostovky – 2 vlny

konstrukce působí jako plně předpjatá. Bylo splněno kritérium, aby nikde na konstrukci nevznikalo tahové normálové napětí, a zejména bylo posouzeno, že při této kombinaci nedojde ke vzniku tahových napětí ve spárách mezi segmenty v době uvedení do provozu ani na konci životnosti.

Modální analýza konstrukce

S ohledem na charakter chování konstrukce byla provedena její modální analýza pro stanovení velikosti vlastních frekvencí a příslušných vlastních tvarů. Z výsledků je možné předpokládat chování konstrukce a výsledky zároveň slouží jako podklad pro provedení harmonické analýzy nosné konstrukce. Přehled vlastních frekvencí a popis vlastních tvarů je ukázán v tab. 2 a na obr. 14. Modální analýza byla provedena pro kombinaci hmot definujících vlastní tíhu konstrukce a ostatní stálé zatížení (zábradlí). Uvážena byla normová velikost modulu pružnosti betonu $E_c = 43\,600$ MPa.

Harmonická analýza dynamického chování konstrukce

Dle normových požadavků je nutné pro konstrukce lávek pro pěší s frekvencí menší než 5 Hz provést posouzení pohody chodců. S ohledem na výsledky modální analýzy je tak nutné provést posouzení pohody chodců pro navrženou lávku pro kmitání v 1. vlastním tvaru – podélný ohyb, jedna vlna.

K posouzení je přistoupeno dle postupů definovaných v Design Criteria for Footbridges. Department of Transport, UK, 1988 ([16]).

Dynamické zatížení vyvolané chodci je vyjádřeno jako pulsující síla F_v , která se pohybuje po konstrukci konstantní rychlostí v_t :

$$F_v = 180 \cdot \sin 2\pi f_0 T = 180 \cdot \sin 2\pi \cdot 1,361538 T \text{ [kN]}. \quad (1)$$

Pro maximální přípustné zrychlení zajišťující pohodu chodců na konstrukci lávky byl použit výpočet:

$$a_{\text{lim}} = 0,5 \cdot \sqrt{f_0} = 0,5 \cdot \sqrt{1,361538} = 0,583 \text{ m/s}^2. \quad (2)$$

Výpočet konstrukce je proveden na prostorovém deskostěnovém výpočetním modelu, definováno bylo harmonické dynamické zatížení. Tlumení konstrukce (poměrný útlum) je dle jejího typu a použitých materiálů zvoleno o velikosti 2 %.

Logaritmický dekrement útlumu použitý pro výpočet konstrukce byl:

$$\mathfrak{g} = \frac{2\pi \cdot 0,02}{\sqrt{1 - 0,02^2}} = 0,125689. \quad (3)$$

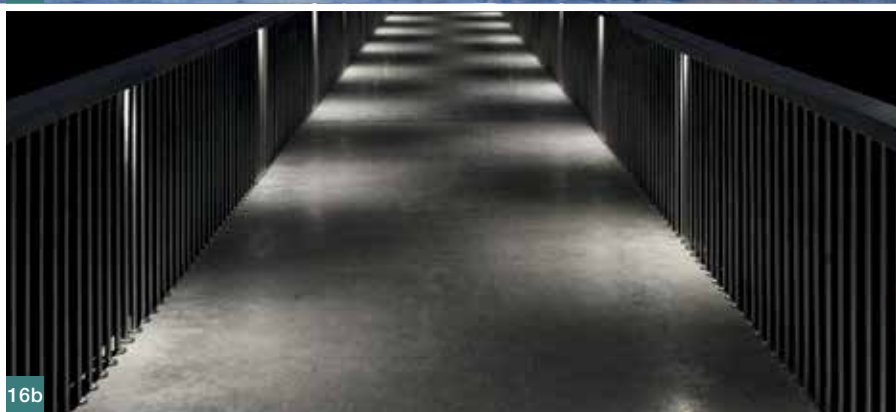
V rámci harmonické analýzy konstrukce byl proveden výpočet a posouzení svislého zrychlení nosné konstrukce při jejím kmitání vyvolaném působícím dynamickým zatížením

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 TKS – Betonové konstrukce 21. století – betony s přidávanou hodnotou*. Samostatná příloha. 2012. 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*. 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*. 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 – 6th international conference, Slovakia*. Žilina: University of Žilina, 2013. pp. 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, pp. 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, 18–20 Jul, 2016*. Des Moines, Iowa, USA, 2016.
- [7] KOLÍSKO, J., BOUŠKA, P., ČÍTEK, D., HUŇKA, P., RYDVAL, M., VOKÁČ, M. *Metodika 1 – Metodika pro návrh UHPC a pro materiálové zkoušky* [online]. Výstup projektu TAČR TA 010110269. Kloknerův ústav ČVUT v Praze, 2014. Dostupné z: <http://www.klok.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/Metodika-1-N%C3%A1vrh-a-zkou%C5%A1en%C3%AD-UHPC.pdf>
- [8] KALNÝ, M., KOMANEC, J., KVASNIČKA, V., KOLÍSKO, J., TEJ, P. *Metodika 2 – Metodika pro navrhování prvků z UHPC* [online]. Výstup projektu TAČR TA 010110269. Kloknerův ústav ČVUT v Praze, 2014. Dostupné z: <http://www.klok.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/Metodika-2-Navrhov%C3%A1n%C3%AD-UHPC.pdf>
- [9] TICHÝ, J., KOLÍSKO, J., VOKÁČ, M., ČÍTEK, D., TREFIL, V., KALNÝ, M. *Metodika 3 – Metodika pro výrobu prvků z UHPC a pro kontrolu jejich provedení* [online]. Výstup projektu TAČR TA 010110269. Kloknerův ústav ČVUT v Praze, 2014. Dostupné z: <http://www.klok.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/Metodika-3-V%C3%BDroba-UHPC.pdf>
- [10] KOLÍSKO, J., ČÍTEK, D., TEJ, P. Technologie výroby tenkostěnné obloukové dvojítě zakřivené lávky z UHPFRC. In: *Sborník konference Technologie 2017*, Jihlava 6.–7. dubna 2017. Česká betonářská společnost 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] KABELÉ, 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, pp. 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, 15 June 2016 through 17 June 2016*. Chongqing, China, 2016. ISSN 2261236X. MATEC Web of Conferences. 3 October 2016, Vol. 77.
- [15] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. ČNI: Praha, 2004.
- [16] *Design Criteria for Footbridges*. Department of Transport, UK, 1988.



16a



16b



16c

16 a), b), c) Lávka v Příboře po dokončení ■
16 a), b), c) View of completed footbridge

Fotografie:

1, 16 - Marek Blank

6, 7, 8, 10, 11, 12 - Petr Tej

Investor	Město Příbor
Architektonické řešení	Petr Tej, Marek Blank
Konstrukční řešení	Petr Tej, Lukáš Vráblík, Jan Mourek, Jan Marek
Statické a dynamické řešení	Lukáš Vráblík
Materiálové řešení	Jiří Kolisko, David Čítek
Výroba nosné konstrukce	KŠ Prefa, s. r. o., Prefa Štětí

reprezentujícím pohyb chodců po mostě. Velikost spočteného zrychlení splňuje požadavky z hlediska pohody chodců:

$$a_z = 0,103187 \text{ m/s}^2 < a_{\text{lim}} \\ a_{\text{lim}} = 0,583 \text{ m/s}^2. \quad (4)$$

Zatěžovací zkoušky

Předpoklady návrhu a posouzení konstrukce byly ověřeny v rámci provedené statické a dynamické zatěžovací zkoušky. Byla dosažena výborná shoda mezi výsledky měření odezvy konstrukce a výpočetní predikcí. Prokázáno tak bylo, že se konstrukce lávky chová přesně dle předpokladů projektu.

ZÁVĚR

Lávka byla předána do užívání v listopadu 2018. Investorovi je třeba poděkovat za odvahu financovat tento pionýrský projekt a všem členům realizačního týmu za nadšení a práci, kterou tomuto projektu věnovali. Jeho uskutečnění potvrzuje schopnost UHPC vytvářet unikátní a esteticky zajímavé konstrukce.

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu TAČR – TH02020373 Zvýšení životnosti a urychlení výstavby infrastrukturních dopravních staveb využitím moderního vysokohodnotného materiálu UHPC a projektu SGS 17/162/OHK1/2T/31.

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



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



doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.
Novák & Partner, s. r. o.
a Fakulta stavební ČVUT v Praze
lukas.vrablik@novak-partner.cz



Ing. Jan Marek
KŠ Prefa, s. r. o.
j.marek@ksprefa.cz



Ing. David Čítek
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
david.citek@cvut.cz



Ing. Jan Mourek
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
jan.mourek@cvut.cz



Ing. arch. Marek Blank
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
marek.blank@cvut.cz

