



1

LÁVKA PŘES LABE V ČELÁKOVICÍCH – PRVNÍ NOSNÁ KONSTRUKCE Z UHPC V ČR ■ FOOTBRIDGE OVER THE ELBE RIVER IN ČELÁKOVICE – THE FIRST UHPC SUPERSTRUCTURE IN THE CZECH REPUBLIC

Milan Kalný, Jan Komanec, Václav Kvasnička, Jan L. Vítek, Robert Brož, Petr Koukolík, Robert Coufal

Lávka přes Labe je zavěšená konstrukce o třech polích. Hlavní pole překračující řeku má délku 156 m, krajní pole jsou 43 m dlouhá. Mostovka je jen 3 m široká a umožňuje přejezd lehkého užitkového vozidla do hmotnosti 3,5 t. Dva pylony tvaru A jsou ocelové, mostovka je z předpjatého betonu velmi vysoké pevnosti (UHPC). Mostovka sestavená ze segmentů o délce 11,3 m je podporována závěsy z uzavřených lan kotvenými do okrajových podélných nosníků. Segmenty krajních polí byly montovány na pevné skruži, a pak předepnuty. Hlavní pole překračující řeku bylo montováno letmo. Jednotlivé segmenty se zvedaly z pontonů pomocí ocelových montážních vozíků. Uprostřed rozpětí byly zabetonovány dvě uza-

vírací spáry. Potom bylo dokončeno podélné předpětí lávky. ■ The footbridge over the Elbe River is a cable-stayed structure with three spans. The main span crossing the river is 156 m long; the side spans are 43 m long. The bridge deck is only 3 m wide and allows for crossing of a light utility vehicle up to 3.5 t. The two A shaped pylons are made of steel, the bridge deck is made of prestressed UHPC. The bridge deck composed of 11.3 m long segments is supported by locked coil strands anchored to the edge longitudinal beams. The segments of the side spans were assembled on the fixed scaffolding and then prestressed. The main span crossing the river was erected by free cantilever method. The individual segments were lifted from the pontoons by launching gantries symmetrically. At the midspan two closing joints were cast in situ. Then the longitudinal prestressing was completed.

Město Čelákovice leží v nížině při levém břehu Labe. Na pravém břehu řeky je oblíbená rekreační oblast s osadou Grado. Jedinou spojnici města s protějším břehem byla technologická lávka na jezové zdři, která byla v roce 2013 při rekonstrukci jezu pro veřejnost uzavřena. Město Čelákovice se rozhodlo v poloze 400 m nad jezem vybudovat novou lávku pro pěší a cyklisty šířky 3 m, která umožní pohodlný bezbariérový přístup chodcům, cyklistům a vozidlům integrovaného záchranného systému z města na pravý břeh Labe.

Ve studii konstrukčního a architektonického řešení byla již v roce 2004 porovnána zavěšená a visutá varianta lávky, přednost dostala zavěšená konstrukce s hlavním polem nad řekou o rozpětí 156 m, protože je méně

citlivá na dynamické zatížení a umožňuje jednodušší výměnu hlavních nosných prvků. Hlavním požadavkem bylo překlenutí celého koryta řeky jedním mostním polem a vytvoření atraktivního přemostění pro veřejnost.

KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

V zadávací dokumentaci byla pro přemostění řeky navržena zavěšená mostní konstrukce o pěti polích $2 \times 21,5 + 156 + 2 \times 21,5$ m. Mostovka byla navržena jako spřažená, složená z dvou ocelových svařovaných podélných nosníků, příčníků po 2,5 m a spřažené betonové desky. Spřahující deska byla navržena z prefabrikovaných dílců z betonu C110/130 s rozptýlenou výztuží, které byly ukládány na spodní pásnice hlavních nosníků a na příčnky. Po uložení dílců a vyrovnání mostovky měly být spáry mezi deskami a spáry podél stěn hlavních nosníků zabetonovány monolitickým betonem.

Zhotovitel stavby realizoval alternativní návrh segmentové mostovky provedené kompletně z betonu C110/130 s rozptýlenou výztuží (obr. 3) a s uspořádáním polí $43 + 156 + 43$ m (obr. 2).

Pylony celkové výšky cca 37 m mají tvar písmene A (obr. 4) a jsou vetknuty do základových bloků na velkopříměrových pilotách. Závěsy jsou vedeny ve dvou rovinách, jejich dolní rektifikovatelné kotvy jsou umístěny z boku mostovky. Ve vrcholu pylonů jsou závěsy kotveny do výztuh, které v tomto místě spojují obě nohy pylonu. Mostovka je vynášena závěsy firmy Redaelli s protikorozní ochranou galvanizací. Opěry na obou březích jsou navrženy jako masivní ze železobetonu na pilotách a tvoří protiváhu k tahovým reakcím lávky.

Na obou bocích mostu jsou navržena ocelová zábradlí výšky 1,3 m se svítidly integrovanými do zábradelních sloupků. Pochozí povrch je navrženo z přímo pojižděné stříkané izolace v tloušťce do 5 mm.

NÁVRH LÁVKY

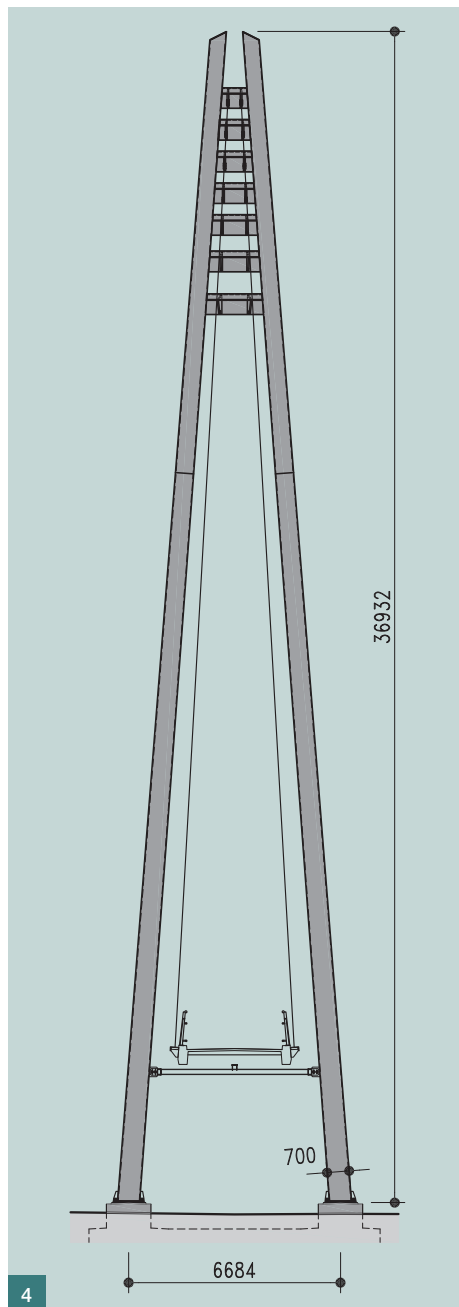
Důležitým parametrem návrhu byla délka segmentů a umístění lepených spár. Uspořádání závěsů bylo v zadání optimalizováno pro nosnou konstrukci s podélnými ocelovými nosníky a vzdáleností závěsů po 11,3 m. Z technologických důvodů nebylo možné najednou betonovat segmenty v plné délce 11,3 m a vzhledem k podmínkám soutěže nebylo povoleno optimalizovat návrh zmenšením vzdáleností mezi závěsy. Segmenty byly betonovány v poloviční délce a vždy po dvou byly ve výrobně spojovány klasickou pracovní spárou s procházející betonářskou výztuží.

Nosná konstrukce mostu má obvyklé lepené spáry s epoxidovým tmelem po 11,3 m. Spáry jsou umístěny 1,6 m od nejbližšího kotevního bloku závěsu tak, aby návrh formy obsáhl všechny pozice bez úprav formy. Napětí v lepených pracovních spárách byla rozhodujícím kritériem pro návrh zejména ve stavebních stavech. V těchto spárách bylo nutné zabránit dekompresi a zachovat tlakovou rezervu 1 MPa ve všech stavebních stavech.

V průběhu výstavby byla konstrukce podélně předepnuta tyčemi VSL průměru 32 a 36 mm. Rozměry příčného řezu lávky vyloučily možnost použití standardních kotev tyčového předpětí, jejichž rozměr 200×200 mm byl nepřijatelně velký. Byly použity atypické kotevní desky 140×140 mm, jejichž použití bylo prověřeno na řadě zatěžovacích zkoušek. Zkoušky prokázaly dostatečnou rezervu únosnosti kotevních oblastí pod zmenšenými kotvami.

Po spojení obou vahadel byly napnuty dva kabely z patnácti lan průměru 15,7 mm a všechny prvky předpětí byly zainjektovány.

Závěsy jsou výrobkem firmy Redaelli v plně uzavřeném tvaru s dráty profilu „Z“ na obvodu. Jsou použity závěsy velikosti FLC20 až FLC35 se za-



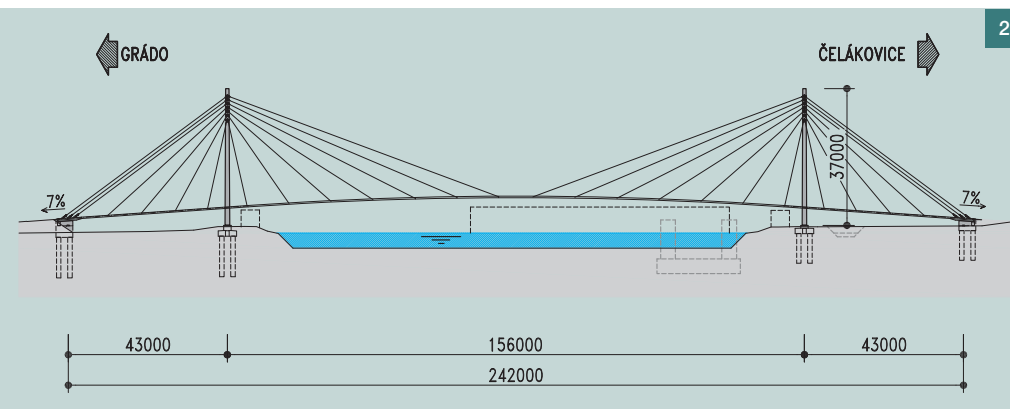
4

Obr. 1 Dokončená lávka, foto Kamil Voděra ■ Fig. 1 Completed footbridge, photo Kamil Voděra

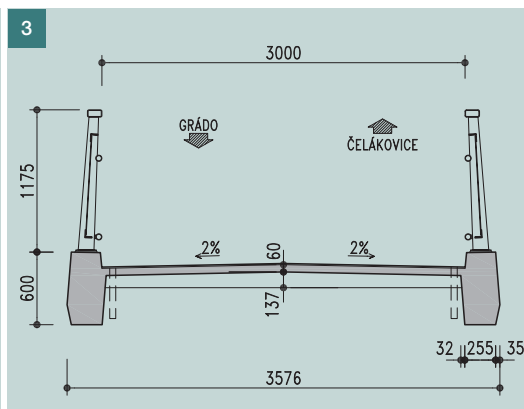
Obr. 2 Podélný řez ■ Fig. 2 Longitudinal section

Obr. 3 Příčný řez ■ Fig. 3 Cross-section

Obr. 4 Pylon ■ Fig. 4 Pylon



2



3



5



6

ručenou únosností 395 až 1 215 kN. Na horním konci jsou závěsy opatřeny pevnými vidlicemi s čepem. Na dolním konci jsou tyčové rektifikovatelné závitové koncovky. Závěsy byly vyrobeny na přesnou délku za definované teploty a zatížení.

Pro montáž byly využity speciálně navržené montážní vozíky firmy OK-BE, s. r. o., u nichž při návrhu bylo nutné minimalizovat hmotnost. Konzola vozíku, na niž se při montáži vyvěšoval následující segment, byla před tím vyvěšena provizorním závěsem z vrchu pylonu tak, aby se reakce vozíku snížila. Výpočet zahrnoval všechny důležité fáze výstavby, přesuny montážního vozíku, napínání či odstraňování provizorních i definitivních závěsů. Celkem měl model cca 120 etap. Ve výpočtu byly zohledněny nelineární vlivy související s proměnnou tuhostí závěsů vlivem jejich průvěsu.

VÝVOJ A ZKOUŠENÍ UHPC

UHPC, u nás často označovaný jako beton velmi vysokých pevností, se kromě vynikajících mechanických vlastností vyznačuje vysokou odolností a trvanlivostí. Proto je žádaný na konstrukce vystavené venkovnímu, popř. agresivnímu, prostředí. Pro zavěšené lávky je tento materiál vhodný proto, že umožňuje snížit hmotnost konstrukce, a tím snížit i nároky na podporující konstrukce, jako jsou závěsy, pylony a základy.

Vývoj UHPC byl ve společnostech Metrostav, a. s., a TBG Metrostav, s. r. o., zahájen v roce 2010. Nejprve se hledaly vhodné složky, pak se přistoupilo k vývoji vysokopevnostní malty a nakonec se odlaďovalo složení betonu včetně ocelových vysokopevnostních drátků tak, aby bylo dosaženo cílové tlakové pevnosti min. 150 MPa (měřeno na standardních válcích Ø150 mm

a výšky 300 mm) a pevnosti v tahu za ohybu min. 15 až 20 MPa. Vývoj UHPC probíhal ve třech úrovních:

- vývoj materiálu, jehož cílem bylo dosažení plánovaných parametrů vyvinutého UHPC bez ohledu na jeho použití v konstrukci,
- vývoj technologie betonáže prvků z UHPC,
- vývoj technologie betonáže segmentů lávky.

Ukázalo se, že všechny etapy vývoje mají svoji problematiku a žádnou z nich nelze vynechat.

Vývoj materiálu probíhal v TBG Metrostav, s. r. o. Brzy se objevily rozdíly mezi výrobou betonu na laboratorní a na průmyslové úrovni.

Větší množství betonu vyrobeného v betonárně bylo využíváno k betonáži jednoduchých prvků, jako jsou např. silniční panely, kde se ověřovalo ukládání UHPC. Objevil se problém rychle vysychajícího povrchu, který je nutné okamžitě ošetřovat. Těž se projevovalo velké autogenní smršťování, které nastává velmi rychle po uložení betonu a představuje významné nebezpečí vzniku trhlin v betonovaném prvku.

Odlišnosti proti běžné betonáži jsou značné a pracovníci, kteří později segmenty lávky betonovali, se museli s problematikou důkladně seznámit. Proto se postupně vyráběla řada zkušebních prvků, od malých desek až po kompletní segmenty, kde se ověřovalo ukládání betonu a následně jeho ošetřování.

UHPC obsahuje značné množství vysokopevnostních ocelových drátků, v našem případě cca 160 kg/m³. Je třeba ověřit, zda jsou drátky v prostoru rovnoměrně rozděleny a nedochází k jejich segregaci. Takové ověřování se provádělo v době vývoje technologie betonáže následným rozřezáním

vzorků, popř. pomocí vývrtů odebraných z betonovaného prvku.

Poslední modely se již vyráběly ve tvaru budoucího segmentu v dřevěné provizorní formě. Tvar příčného řezu mostovky s dvěma podélníky a střechovitým příčným sklonem pořízené plochy se stal určujícím pro způsob betonáže. Aplikace samozhutnitelného betonu vedla k nutnosti opatřit formu horním bedněním, které zajistilo skloněný a stupňovitý povrch segmentu. Plnění formy se provádělo symetricky ze stran, plnicí otvory byly umístěny nad podélníky a proudy betonu se slévaly uprostřed desky. Postup byl odlaďován na modelech a výřezy ze střední části potvrzovaly, že nedocházelo k nerovnoměrnému rozmístění drátků.

Rozměry konstrukce byly voleny co nejúspornější. Jednak vysoká pevnost UHPC nevyžadovala velké rozměry a rovněž vyšší cena UHPC proti běžnému vysokopevnostnímu betonu vedla ke snaze objem konstrukce minimalizovat. Důsledkem bylo, že prostor pro umístění kanálků předpínací výztuže byl značně omezen. Nebylo možné vyztužovat kotevní oblasti klasickým způsobem, protože v konstrukci nezbyl prostor pro umístění např. podkotevních šroubovic.

Experimentální program se zaměřil na výzkum, jak se má podkotevní oblast vyztužovat, aby vznikající napětí mohla být spolehlivě přenesena. Podle doporučení ETAG013 byly vyrobeny dva druhy vzorků (obr. 5). První nebyly vyztuženy vůbec (kromě drátků, které jsou běžnou součástí UHPC), druhý měl výztuž obsahující pouze třmínky, které byly v podélných trámech navrženy po celé délce segmentů.

Výsledky byly velmi překvapivé. Při dosažení maximální možné předpínací síly se ani v jednom vzorku neobje-



vily žádné trhliny. Ty se objevily až při výrazně vyšším zatížení (cca o 35 až 50 %). Při dosažení zatížení cca 1,7 a 2násobku předpínací síly byly pokusy z bezpečnostních důvodů ukončeny. Při této úrovni zatížení se objevily malé trhliny, ale vzorky nevykazovaly znaky významnějšího porušení.

Podélné trámy lávky jsou vyztuženy konstrukční betonářskou výztuží a podélně předepnuty dvěma tyčemi a 15lanovým kabelem. V podélném směru je tedy zajištěno dlouhodobě tlakové napětí a nevzniká nebezpečí porušení vlivem použití nestandardního materiálu. Podobně je tomu u příčných žebry desky, která jsou vyztužena dvěma profily 16 mm.

Naopak neznámá byla únosnost desky mostovky, která má tloušťku pouze 60 mm a neobsahuje žádnou klasickou ani předpínací výztuž. Bylo nutné tedy ověřit únosnost nevyztužené desky.

První zkouška se realizovala na tzv. malém modelu. Jeho šířka byla shodná s šířkou lávky, ale délka modelu byla pouze 1,5 m, obsahoval jedno pole desky mezi dvěma žebry. Protože lávka je navržena na přejezd lehkého užitkového vozidla, kolový tlak představuje

největší lokální zatížení pro desku. Účinnky zatížení jednou nápravou, cca 25 kN, byly experimentálně ověřovány na tomto malém modelu. Při zatížení 80 kN nedošlo k žádnému porušení desky ani příčných žebry. Tím byla únosnost dostatečně prokázána. Zatížení bylo dále změněno tak, že model byl zatěžován pouze jedním břemenem ve středu šířky komunikace na desce mezi příčnými žebry (obr. 6). Při zatížení 110 kN došlo ke zlomení vyztužených žebry (obr. 7), avšak deska byla porušena jen malými trhlinami. Nedošlo tedy k výraznému porušení desky.

Další pokus (tzv. velký model) byl zaměřen na ověření pouze desky mostovky. Experiment byl proveden na hotovém segmentu vyrobeném v definitivní formě způsobem stejným jako následné segmenty zabudované do konstrukce lávky. Deska byla zatěžována postupně ve čtyřech místech vždy mezi žebry lokálním břemenem s kontaktní kruhovou plochou o průměru 200 mm (obr. 8). Příčná žebra byla podložena uprostřed rozpětí, aby nedošlo k jejich zlomení tak, jako u malého modelu.

Zatížení bylo aplikováno v pěti cyklech do úrovně 22 kN (tedy cca 1,8násobku úrovně max. reálného kolového tlaku). V této fázi nebyly pozorovány žádné trhliny. Pak bylo zatížení zvyšováno až do porušení. První trhliny se začaly objevovat při zatížení 150 až 200 kN. Kolaps desky nastal dle očekávání propíchnutím na úrovni 320 až 370 kN (obr. 9).

Nejnižší hodnota byla dosažena u konce segmentu, kde šlo o krajní pole desky mezi příčnými žebry, a proto únosnost byla zákonitě nižší. Dále se ukázalo, že kolapsové zatížení je ovlivněno též odvodňovacími otvory. Únosnost desky uprostřed rozpětí a u kraje se výrazně nelišila.

Pokus ověřil, že únosnost 60mm desky na propíchnutí (deska bez výztuže, pouze s drátky, o tloušťce 60 mm) je více než dostatečná. Kolapsové zatížení bylo cca 20x větší než předpokládaný kolový tlak včetně dynamického účinku. Při pohledu na lomovou plochu odpadlého kužele, který byl velmi plochý, je patrné rovnoměrné rozdělení drátků.

Pokus ověřil, že únosnost 60mm desky na propíchnutí (deska bez výztuže, pouze s drátky, o tloušťce 60 mm) je více než dostatečná. Kolapsové zatížení bylo cca 20x větší než předpokládaný kolový tlak včetně dynamického účinku. Při pohledu na lomovou plochu odpadlého kužele, který byl velmi plochý, je patrné rovnoměrné rozdělení drátků.

VÝROBA SEGMENTŮ

Výroba segmentů probíhala kontaktním způsobem na krátké dráze. Výrobní linka byla umístěna ve výrobně mostních segmentů společnosti SMP CZ, a. s.,



Obr. 5 Zkouška kotvení oblasti ■
Fig. 5 Test of the anchorage zone

Obr. 6 Malý model – zatížení osamělým břemenem ■ Fig. 6 Small model – loading by a single point load

Obr. 7 Malý model – porušení příčných žebry ■ Fig. 7 Small model – failure of the transversal ribs

Obr. 8 Velký model – zatížení desky segmentu osamělým břemenem ■ Fig. 8 Large model – loading of the slab by a point load

Obr. 9 Porušená deska propíchnutím ■
Fig. 9 Failure of the slab by punching



v Brandýse nad Labem. Místo bylo vybráno s ohledem na dopravu segmentů pomocí lodí po Labi přímo z výroby na staveniště v Čelákovících.

Standardní segmenty mají délku 11,3 m. Vzhledem k tomu, že technologie betonáže byla velmi složitá, betonáž celého segmentu najednou by mohla být riziková, s ohledem na dosažení kvality provedení. Proto se segmenty betonovaly na dva záběry o délce 5,65 m. Ocelová forma má pevnou spodní část, na které jsou připevněny pohyblivé bočnice a jedno čelo (obr. 10). Druhé čelo je tvořeno již hotovým segmentem. Horní tvar segmentu je bedněn vikem, které zaklápí celou plochu betonovaného segmentu. Na výrobní lince o délce tří krátkých segmentů (cca 17 m) byly dále rektifikovatelné podpory podpírající hotové segmenty, které tvořily druhé čelo be-

tonovaného segmentu. Před betonáží se musely hotové segmenty přesně zaměřit, aby kontaktní spára byla správně nastavena do budoucího tvaru mostu včetně nadvýšení. Pracovní spára uprostřed standardního segmentu byla vztužena betonářskou výztuží.

Betonáž probíhala ideálně v cyklu dvou dní. První den ráno se vybetonoval krátký segment. Odpoledne byl vyjmut z formy a přesunut na druhou pozici na výrobní lince. Následovalo očištění formy, instalace výztuže, kabelových kanálků a kotevních prvků pro ukotvení závěsů. Do formy byly umístěny i další konstrukční prvky, jako kotvy pro zvedání segmentů a pro chráničky vedoucí pod lávkou apod. Třetí den opět proběhla betonáž. Protože linka byla venku, byl výrobní proces závislý na počasí.

Forma se plnila dvěma násypkami uprostřed délky segmentu současně

ze dvou automixů (obr. 11). Beton se vyráběl v betonárně TBG Metrostav, s. r. o., v Tróji a dopravoval se do Brandýsa, kde byl vykládán přímo do formy. Všechny betonáže probíhaly za účasti technologa výrobce betonu, který kontroloval vlastnosti dodávaného betonu po přepravě. Po naplnění formy se beton ohříval na teplotu cca 60° C, aby se dosáhlo urychlení tvrdnutí a umožnilo se odbednění cca po 7 až 8 h po betonáži. Dále byl beton ošetřován klasickým způsobem, zakrytím geotextilií a vlhčením po dobu dalších cca 24 h. Segmenty opouštějící výrobní linku byly umístěny na skládku u řeky a připraveny na dopravu do Čelákovíc.

VÝSTAVBA LÁVKY

Výstavba lávky na staveništi byla zahájena už na podzim 2012. V té době se připravovaly základy opěr a pylonů.



Všechny základy jsou hlubinné na velkopřůměrových pilotách. Na jaře 2013 byla zahájena montáž pylonů. Pylony jsou ocelové a byly dopraveny na stavbu ve dvou částech. Ty byly na místě svařeny a vztyčeny pomocí dvou těžkých jeřábů (obr. 12). Pylony jsou ukotveny do základů pomocí šroubových spojů a podlity.

Segmenty lávky byly montovány symetricky z obou břehů. Montáž každé poloviny lávky byla zahájena instalací segmentu pod pylonem (obr. 13). Segmenty krajních polí se dopravovaly z výroby na valnicích a jeřábem byly umísťovány na lehkou pevnou

skruž z materiálu PERI. Pak se segmenty postupně připínaly k segmentu pod pylonem pomocí předpínacích tyčí (obr. 14). Koncová část lávky nad opěrou je dobetonována z klasického betonu. Po dokončení krajního pole se zahájila montáž segmentů nad řekou.

První segment byl dopraven ještě na valník a umístěn na pomocnou konstrukci těsně u břehu řeky. Další segmenty se již dopravovaly po vodě (obr. 15).

Na obou hotových konstrukcích krajních polí byl instalován ocelový montážní vozík. Vozíky byly vyrobeny firmou OK-BE, s. r. o. Hlavním nosným

prvkem byly dva prolamované ocelové nosníky tvaru I, které byly vykonzolvány nad řeku, aby mohly zvednout montovaný segment z pontonu.

Protože ocelové vozíky byly maximálně vylehčeny a zatížení zvedaným segmentem by nemohly samy unést, byl použit pomocný závěs, který kotvil konzolu vozíku do pylonu (obr. 16). Po aktivaci pomocného závěsu se nový segment zvedl pomocí čtyř tyčí profilu 20 mm a dutých válců (obr. 17) do požadované výšky, zvedání prováděla firma Freyssinet CS, a. s.

Vozík by dále vybaven ocelovým rámem, který umožňoval podélný posun segmentu, a tím navlečení a propojení předpínacích tyčí a přisunutí segmentu k hotové konstrukci. Pak byla kontaktní spára opatřena lepidlem a segment byl pomocí předpínacích tyčí připnut. Přitom se provádělo podrobné geodetické sledování, aby se zajistil přesný geometrický tvar lávky. Po zatvrdnutí lepidla se instalovaly definitivní závěsy Redaelli, dodané a instalované firmou VSL systémy /CZ/, s. r. o. Po jejich aktivaci bylo možné posunout montážní vozík do nové polohy a znovu aktivovat pomocný závěs.

Po osazení všech dlouhých standardních segmentů (obr. 18) zůstala uprostřed hlavního pole mezera o délce cca 7,2 m. Do středu mezery byl osazen krátký segment a zbývající spáry o délce cca 800 mm byly dobetonovány běžným betonem C45/55. K propojení obou konzol, instalaci středového segmentu a bednění uzavíracích spár



14



15

Obr. 10 Spodní část formy ■

Fig. 10 Lower part of the mould

Obr. 11 Betonáž segmentu pomocí dvou automixů ■ Fig. 11 Casting of the segment from two truck mixers

Obr. 12 Montáž pylonu ■

Fig. 12 Assembly of the pylon

Obr. 13 Osazování prvního segmentu pod pylonem ■ Fig. 13 Erection of the first segment under the pylon

Obr. 14 Montáž segmentů krajního pole na skruži ■ Fig. 14 Assembly of the segments in the side span on the fixed scaffolding

Obr. 15 Zvedání segmentu z pontonu ■ Fig. 15 Lifting of the segment from the pontoon



16

Obr. 16 Zvedání standardního segmentu ■
Fig. 16 Lifting of the standard segment

Obr. 17 Dutý hydraulický válec na vozíku ■
Fig. 17 Hydraulic hollow jack on the launching gantry

Obr. 18 Montáž posledního velkého segmentu ■
Fig. 18 Assembly of the last regular segment

Obr. 19 Tlumič vodorovných posunů v opěře ■
Fig. 19 Damper of the horizontal movements in the abutment

Obr. 20 Dokončená lávka ■
Fig. 20 Completed footbridge

byl využit již pouze jeden z vozíků, druhý byl odsunut zpět k opěře a tam demontován.

Po zatvrdnutí betonu uzavíracích spár byly instalovány a předepruty podélné 15lanové předpínací kabely (předpínání bylo dodáno firmou VSL systémy /CZ/, s. r. o.). Nakonec byly instalovány tlumiče vodorovného posunu umístěné v opěrách (obr. 18). Tím byla dokončena nosná konstrukce lávky.

Zbývalo dokončit terénní úpravy a příjezdy na lávku. Povrch lávky je opatřen stříkanou přímo pocházenou izolací, která poskytuje ochranu povrchu proti povětrnosti a zajišťuje bezpečný provoz chodců a cyklistů po lávce. Zábradlí je jednoduché ocelové. Osvětlení lávky je umístěno do zábradlí.

MĚŘENÍ PŘI VÝSTAVBĚ

Lávka je velmi štíhlá, a proto velmi náchylná k odchylkám od projektovaného tvaru. Měření je velmi důležité ze dvou důvodů:

- dodržení geometrického tvaru,
- dodržení projektovaných sil v závěsech, a tím i předpokládaného namáhání lávky.

Podmínkou úspěšné výstavby byla přesná výroba segmentů a nastavení kontaktních spár. K tomu bylo využito geodetické měření. Při montáži bylo geodetické sledování základním způsobem měření. Dále byly sledovány síly v závěsech. To se ukázalo jako velmi obtížné, neboť lávka je lehká a síly v závěsech jsou velmi malé, a proto obtížně měřitelné. Byly pro-

to využity tři různé způsoby měření sil.

Firma Inset, s. r. o. prováděla měření pomocí magnetoelastických senzorů umístěných na závitových tyčích u spodních kotev vybraných závěsů. Přímé měření pomocí hydraulického lisu prováděli pracovníci stavby společně s VSL systémy /CZ/, s. r. o. Frekvenční měření (firma Excon) se ukázalo nakonec jako nejoperativnější a dostatečně přesné.

Díky velkému úsilí věnovanému různým měřením, kontrolám a nastavování geometrie se podařilo lávku postavit s minimálními odchylkami od projektovaného tvaru.

ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA

Na lávce se realizovala statická a dynamická zatěžovací zkouška. Lávka



18



je dimenzována na zatížení rovnoměrné o hodnotě 3 kN/m^2 , nebo na zatížení lehkým vozidlem o hmotnosti $3,5 \text{ t}$.

Statická zkouška spočívala v zatížení konstrukce soustavou osmi vozidel o hmotnosti $3,5 \text{ t}$, což představovalo asi 60% návrhového zatížení. Vypočtený průhyb pro dané zatížení byl 211 mm , zatímco měřením byl zjištěn okamžitý průhyb 189 mm , trvalý průhyb 12 mm a celkový průhyb 201 mm . To lze považovat za velmi dobrou shodu u takto lehkého statického systému.

Dynamická zkouška ověřovala dynamické vlastnosti lávky pomocí frekvenčního budiče a pak pomocí náhodně se pohybujících chodců. Všechny naměřené vlastní frekvence byly mimo rezonanční pásma a v dobrém souladu

s výsledky dynamického výpočtu. Dynamickou zkoušku prováděli pracovníci Katedry mechaniky Stavební fakulty ČVUT v Praze.

ZÁVĚR

Lávka přes Labe v Čelákovících se stala unikátní konstrukcí, kde byl poprvé v České republice použit materiál UHPC pro nosnou konstrukci (obr. 20 až 22).

Protože v době projektování nebyly k dispozici žádné legislativní podklady pro navrhování z UHPC, byl projekt založen na zkušenosti a na experimentálním ověřování kritických částí konstrukce. Návrhová pevnost použitého UHPC byla C110/130, reálné pevnosti však byly vyšší, odpovídaly třídě C130/150. Pečlivé ověřování použí-

tých materiálů a technologií bylo velmi náročné, ale na druhou stranu poskytlo dostatek informací pro to, aby návrh mohl být realizován bez větších problémů a s důvěrou, že jde o kvalitní dílo. Zejména pevnostní zkoušky prokázaly značné rezervy, což by se mohlo zdát zbytečné, ale je třeba si uvědomit, že jde o nový materiál a že přiměřená míra opatrnosti je zcela na místě.

Těsnou spoluprací mezi investorem, dodavatelem, projektantem, supervizí, dodavatelem betonu a dalšími subdodavateli se podařilo dílo úspěšně dokončit s přesvědčením, že nová lávka bude dobře sloužit svému účelu a kvalita použitých materiálů potvrdí očekávání mimořádné trvanlivosti.

Výstavba nosného systému lávky byla





21

Obr. 21 Dokončená lávka ■
Fig. 21 Completed footbridge

Obr. 22 Dokončená lávka
■ Fig. 22 Completed footbridge



22

Literatura:

- [1] Vítek J. L., Coufal R., Čítek D., 2013: UHPC – Development and Testing on Structural Elements. Elsevier, *Procedia Engineering* 65 (2013), pp. 218-223
- [2] Kalný M. et al., 2014: Zavěšená lávka přes Labe v Čelákovících, Sb. Mezinár. konf. Mosty 2014, Sekurkon, Brno, duben 2014
- [3] Kalný M., Kvasnicka V., Komanec J. et al., 2014: Cable-stayed footbridge with UHPC deck, Proc. of the 1st Inter. Concrete Innovation Conference, Oslo, Norway, June 2014
- [4] Vítek J. L., Coufal R., Brož R., 2014: Footbridge segments made of UHPC, Proc. of the 9th Inter. Conf. on Short and Medium Span Bridges, Calgary, Alberta, Canada, July 2014

dokončena v prosinci 2013. Kompletní lávka byla zkolaudována a uvedena do provozu koncem dubna 2014 po zimní přestávce po provedení stříkané izolační vrstvy, vybavení mostu a po vyhodnocení statické a dynamické zatěžovací zkoušky. Slavnostní otevření lávky se konalo dne 21. června 2014 za přítomnosti zástupců města a zástupců společností zúčastněných na výstavbě.

Konečná cena lávky včetně komunikačního napojení je 40,98 mil. Kč, z toho dotaci ve výši 10 mil. Kč poskytl SFDI.

Při výstavbě byly využity výsledky výzkumného projektu MPO (FR TI3/531) a projektu TAČR Centrum kompetence CESTI (projekt č. TE01020168).

ÚČASTNÍCI PROJEKTU

Investor	Město Čelákovice
Projekt konstrukce	Pontex, s. r. o.
Dodavatel	Metrostav, a. s., Divize 5
Dodavatel betonu	TBG Metrostav, s. r. o.
Dodavatel předpínání	VSL systémy /CZ/, s. r. o.
Měření	Inset, s. r. o., VSL systémy /CZ/, s. r. o., Excon, a. s.
Supervize	SHP, s. r. o.
Výstavba nosné konstrukce	podzim 2012 až prosinec 2013
Slavnostní otevření	červen 2014
Konečná cena	40,98 mil. Kč včetně DPH (z toho dotace 10 mil. Kč SFDI)



Ing. Jan Komanec



Ing. Milan Kalný


 Ing. Václav Kvasnicka
všichni: Pontex, s. r. o.
www.pontex.cz

 prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc.
Metrostav, a. s.
Stavební fakulta ČVUT v Praze
e-mail: vitek@metrostav.cz


Ing. Robert Brož



Ing. Petr Koukolík


 oba: Metrostav, a. s.
www.metrostav.cz

 Ing. Robert Coufal, Ph.D.
TBG Metrostav, s. r. o.