

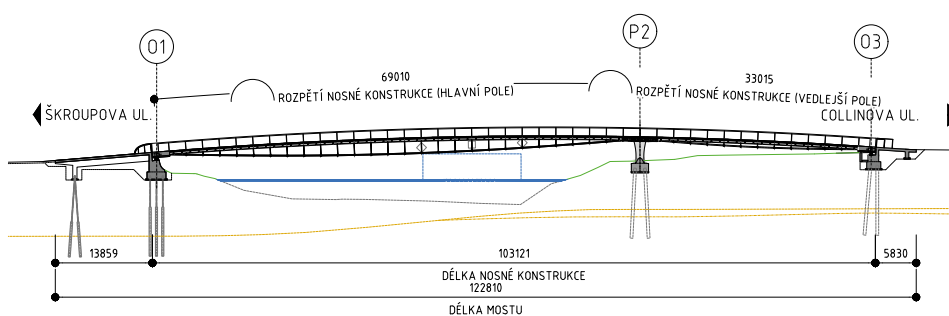
PROJEKT A REALIZACE NOVÉ LÁVKY PRO PĚŠÍ A CYKLISTY PŘES LABE V HRADCI KRÁLOVÉ

Lukáš Vráblik, Petr Harazim, Libor Kábrt, Gabriela Elichová, Martin Elich, Jiří Keclík, Lucie Navarová, Viktor Stržínek

Článek popisuje návrh a postup výstavby nové mostní konstrukce pro pěší a cyklisty přes řeku Labe v Hradci Králové. Konstruktivní, geometrické a materiálové řešení lávky vychází z vítězného návrhu architektonicko-konstruktivní soutěže, která probíhala v roce 2014. Jedná se o unikátní konstrukční systém kombinující subtilní mostovku z prefabrikovaných panelů z UHPFRC a štíhlá ocelová žebra podepřená nosnými kabely.

DESIGN AND CONSTRUCTION PROCESS OF NEW FOOTBRIDGE OVER THE LABE IN HRADEC KRÁLOVÉ

The article describes design and construction process of a new bridge structure for pedestrians and cyclists over the Labe River in Hradec Kralove. The structural, geometric, and material solution of the footbridge is based on the winning design of the architectural and structural competition held in 2014. It is a unique structural system combining a slender bridge deck made of precast UHPFRC panels and extremely slender steel ribs supported by load-bearing cables.



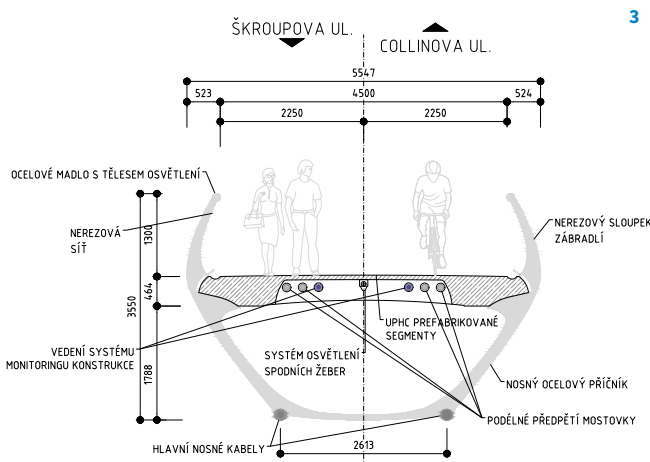
Investor	statutární město Hradec Králové
Architektonický návrh	GEM Vision Ing. arch. akad. arch. Libor Kábrt Ing. arch. Gabriela Elichová Ing. arch. Martin Elich
Zhotovitel	SMP CZ, a. s.
Generální projektant RDS	Valbek, spol. s r.o.
Výroba UHPFRC panelů	KŠ PREFA s.r.o.
TDS	BUNG CZ s.r.o.
Předpokládané uvedení do provozu	březen 2023

Nová lávka přes Labe v Hradci Králové je realizována za účelem propojení centra města a rozvíjející se lokality na levém břehu v blízkosti kongresového centra Aldis a nové centrály ČSOB (více o nové budově ČSOB v *Betonu 2/2022 – pozn. red.*). Velmi důležitá je i dopravní funkce lávky – po obou březích řeky Labe (Smetanovo a Eliščino nábřeží) jsou vedeny hojně využívané stezky pro pěší a cyklisty.

Lávka je přirozeně spojí, pro přechod Labe již nebude nutné využívat Labský most na městském okruhu.

Finální návrh mostní konstrukce vychází striktně z vítězného návrhu architektonicko-konstruktivní soutěže z roku 2014. Jedná se o velmi komplexní projekt, jenž je definován řadou okrajových podmínek zejména s ohledem na umístění lávky v intravilánu města, parametry převáděné komunikace a ome-

zení plynoucí z charakteru a umístění překračovaných překážek. Základním sjednocujícím parametrem jsou tvary dílčích částí konstrukce a finální celková geometrie konstrukce, která je charakterizována přirozeným a optimálním rozložením tuhostí a vnitřních sil. Projekt přemostění nezahrnuje jen samotnou konstrukci lávky, ale komplexně řeší celé území a napojení na stávající infrastrukturu města.



Popis konstrukce lávky

Základní uspořádání konstrukce

Konstrukce lávky je navržena jako nesymetrický spojitý nosník o dvou polích. Hlavní pole, překračující řeku Labu se zaručeným plavebním gabaritem a dvojicí nábrežních stezek, má rozpětí 69 m. Vedlejší pole má rozpětí 32 m. Staticky se jedná o samokotvenou visutou konstrukci tvořenou mostovkou z prefabrikovaných dílců z UHPFRC, která je podepřena ocelovými vzpěrami a dvojicí visutých kabelů vedených podél jejich vnějších okrajů. Mostovka je navržena ve tvaru velmi plochého oblouku, který je definován výškovým vedením komunikace. Geometrie hlavních nosných kabelů je dvojí křivosti, základním principem její definice je rovnoměrné vyrovnání silových účinků od stálého zatížení (vlastní tíha a ostatní stálé). Finálně je pak dosaženo rovnovážného stavu, kdy je pro kombinaci silového účinku od napnutí hlavních nosných kabelů a stálého zatížení lávky dosaženo prakticky nulového ohybového namáhání mostovky.

Hlavní nosné kabely jsou kotveny v ocelových příčnicích na krajních opěrách a v ocelovém příčniku nad pilířem. Ocelový příčník je s pilířem spojen tuze, na krajních opěrách je nosná konstrukce uložena pomocí dvojice ložisek. Jak již bylo uvedeno výše, geometrie a napínací napětí hlavních nosných kabelů je zvoleno tak, aby došlo k vyrovnání účinků vlastní tíhy konstrukce a ekvivalentního zatížení od účinků předepnutí těchto kabelů. Pro fázi napínání kabelů bylo nutné zabezpečit dokonalý „pohluz“ mezi kabely a ocelovými žebry, avšak po dosažení požadované úrovně

napětí došlo k finálnímu „uzamknutí“ polohy kabelu vůči ocelovým žebřům. Vytvořen tak byl virtuální Vierendeelův nosník, jehož spodní pas je tvořen napnutými hlavními nosnými kabely. Chování celé soustavy je pak zásadně ovlivněno tuhostí tohoto spodního pasu – průřezovou plochou nosných kabelů a tuhostí aretace jejich polohy vůči ocelovým žebřům (obr. 1, 2 a 3).

Založení lávky, spodní stavba

Lávka je založena pomocí mikropilot (krajní opěra O1 na pravém břehu) a ražených prefabrikovaných pilot (pilíř a krajní opěra na levém břehu). Prefabrikované ražené piloty sice nejsou v České republice zcela běžným řešením pro realizaci hlubinného založení, avšak jejich použití využívá výhody prefabrikace, jako je vysoká kontrola kvality výroby a časová úspora na stavbě.

Spodní stavba je tvořena dvojicí krajních opěr a pilířem. Jak krajní opěry, tak pilíř vycházejí ze základních geometrických a vizuálních principů celé stavby. Jejich tvary jsou velmi složité a v kombinaci s požadavky na finální povrchy znamenaly pro zhotovitele velkou výzvu. Krajní opěra na pravém břehu plní kromě standardní funkce uložení nosné konstrukce ještě roli ochrany sítí situovaných za závěrnou zídou směrem vně lávky. Bylo tak nutné vytvořit „skrytý“ most, který překonává prostor se sítěmi, zaručuje jejich ochranu a umož-

ňuje jejich případnou inspekci a opravu bez zásahu do konstrukce lávky.

Nejvýraznějším prvkem spodní stavby je mezilehlý pilíř na levém břehu situovaný v těsné blízkosti nábrežní stezky pro pěší a cyklisty (obr. 4 a 5). Zatímco na krajních opěrách je konstrukce uložena na dvojici ložisek, s pilířem je spojena tuze. Vytvořen je zde pevný bod celého konstrukčního systému. Pilíř je tvořen dvojicí dřívků se společným základem a spodním blokem. Geometricky se jedná o velmi složitou konstrukci tvořenou plochami s dvojí křivostí s malými poloměry oskulačních kružnic. Z tohoto důvodu zhotovitel zvolil technologii digitální fabrikace, bednicí formu vlastními kapacitami prefabrikaoval a následně zkompletoval na stavbě.

Nosná konstrukce

Mostovka je tvořena 39 prefabrikovanými segmenty z UHPFRC (37 standardních segmentů a 2 zesílené, které jsou umístěny před a za pilířem). Segmenty jsou tvořeny dvojicí podélných krajních trámů a subtilní deskou, která trámy vzájemně propojuje. Pro zajištění dostatečné tuhosti segmentů a pro umístění kabelů vnějšího předpětí je navržena dvojice příčných žebër (obr. 6 a 7). Spára mezi segmenty byla po realizaci předpětí mostovky před napnutím hlavních nosných kabelů vyplněna vysokopevnostní cementovou zálivkou.

Segmenty jsou podepřeny soustavou radiálních žebër, která zároveň za-

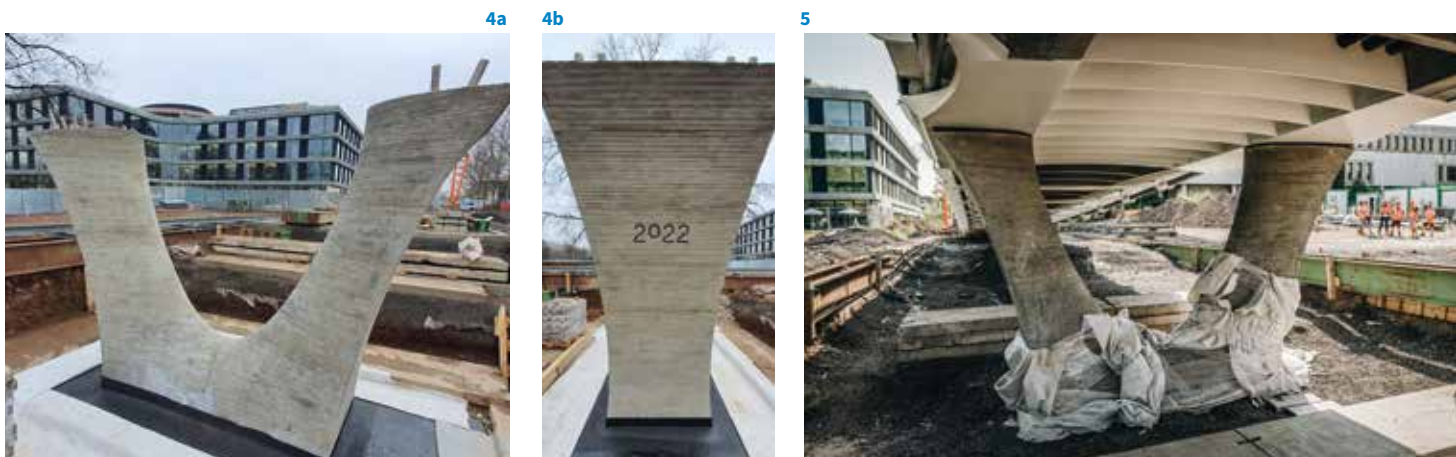
1 Podélné schéma mostu **2** Vizualizace dokončené lávky (zdroj: dokumentace DSP)

3 Příčný řez **4** Dokončený samostatný pilíř **5** Napojení pilíře na nosnou konstrukci

1 Longitudinal scheme of the bridge **2** Visualisation of the completed pedestrian bridge

(source: documentation for Building Permission) **3** Cross-section **4** Completed pier

5 Connection of the pier to the superstructure





6

6 Uložení vyrobených segmentů 7 Detail spodního povrchu prefabrikovaných segmentů s předpětím 8 Základní prvky nosné konstrukce – prefabrikované panely z UHPFRC, ocelová žebra a hlavní nosné kabely včetně aretačních svorek 9 Výpočetní modely konstrukce

6 Storage of finished UHPFRC precast segments 7 Detail of bottom surface of precast segments with prestressing 8 Basic elements of superstructure – precast UHPFRC segments, steel ribs and main cables with locking clamps 9 Computational models of structure



7



8

jišťují propojení mostovky s hlavními nosnými kabely a tím i přenos vynášecích sil. Tvarově žebra přecházejí nad mostovkou do sloupků zábradlí. Zábradlí kopíruje rastr celé konstrukce, členěno je do částí odpovídajících délce segmentů. Do madla zábradlí bude integrováno LED osvětlení lávky. Prostor mezi sloupky bude vyplněn napnutou nerezovou sítí. Součástí ocelové konstrukce mostovky jsou i příčníky umístěné nad krajními opěrami a nad pilířem.

Napjatost mostovky (dekomprese při MSP) je zajištěna čtyřmi nesoudržnými předpínacími kabely, které procházejí UHPFRC segmenty. Tyto kabely zvyšují tlakové napětí především ve spárách mezi segmenty. Kabely jsou navrženy ze 13 lan a jsou průběžné přes celou délku lávky, kotveny jsou do ocelových příčníků nad krajními

opěrami. Z těchto míst byly kabely také napínány.

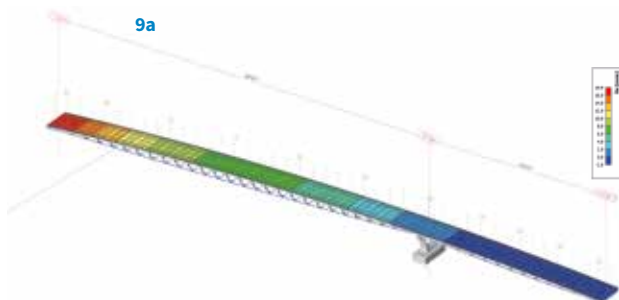
Hlavním nosným prvkem jsou čtyři uzavřené kabely o $\varnothing 130$ mm kotvené v mostovce pomocí pevných kotev na pilíři a aktivních kotev umožňujících napínání na krajních opěrách. Jedná se o kabely z uzavřených spirálových lan systému Redaelli s životností 100 let. Geometrie hlavních nosných kabelů vychází z optimalizovaného tvaru definovaného okrajovými podmínkami (požadovanými volnými prostory pod lávkou pro vedení lodní a cyklistické dopravy) a statickým chováním konstrukce. Kabely jsou zakřivené jak ve vertikální, tak i v horizontální rovině. Vedeny jsou na teoretické kuželové ploše, což vytváří spolu s ocelovými žebry tuhý konstrukční systém. V rámci realizační dokumentace byly kabely rozdě-

leny pro hlavní a vedlejší pole. Jejich propojení je zajištěno přes konstrukci ocelového příčníku nad pilířem.

Statický a dynamický výpočet

Pro statický výpočet byla použita řada výpočetních modelů. Tyto modely zohledňovaly komplikované statické působení konstrukce ve všech fázích výstavby a během celé životnosti konstrukce. Pro návrh a posouzení detailů konstrukce byly vytvořeny samostatné modely založené na 3D metodě konečných prvků. Výpočetní modely a postupy respektovaly specifické globální působení celé konstrukce a všech dílčích detailů, analýzy byly koncipovány jako fyzikálně a geometricky nelineární. (obr. 9)

Všechny výsledky z výpočetních modelů byly ručně porovnány s výsledky dosaženými analytickým řešením.



9a



9b



9c

Postup výstavby

Prostor celého staveniště je velmi stísněný, což je dáno polohou lávky v širším centru města a charakterem okolí. V prostoru stavby se nachází 27 různých inženýrských sítí, které bylo nutné před samotným započítím výstavby ochránit, vymístit či přeložit.

Pro instalaci mostní konstrukce a podepření všech dílčích částí byla použita těžká podpurná skruž v kombinaci s prostorovou lešeňovou konstrukcí. Manipulace s dílci byla zajištěna pomocí portálového jeřábu, který obsluhoval celé staveniště. Montáž nosné konstrukce započala umístěním ocelových žebér do správné polohy a instalací jejich ztužení, pomocí kterého je zaručena dostatečná globální stabilita konstrukce během procesu montáže a aktivace. Zároveň došlo i k osazení nadpodporových příčníků v oblasti krajních opěr a pilířů. Do připravených svorek byly následně umístěny hlavní nosné kabely. Dalším krokem byla postupná montáž segmentů, která postupovala od krajní opěry na pravém břehu k pilíři a následně k levé krajní opěře. Geometrie konstrukce byla průběžně rektifikována, aby byla zaručena možnost správné instalace a propojení všech částí lávky.

Po dokončení zalití spár mezi segmenty a jejich vytvrnutí bylo realizováno předpětí kabely vedenými skrze žebra segmentů. Zaručena tím tak byla dostatečná tlaková rezerva ve spárách mezi segmenty před finální aktivací konstrukce. Finální aktivace konstrukce byla realizována 29. června 2022 dle přesně stanoveného postupu na základě podrobné výpočetní analýzy. V jednotlivých krocích docházelo k postupnému napínání hlavních nosných lan, čímž se postupně eliminovaly síly v podpurné konstrukci (došlo k přeskupení zatížení z dočasných podpor na definitivní ložiska na krajních opěrách a do příčniku nad pilířem). Finálně došlo k částečnému predikovanému zvednutí konstrukce z montážních podpor. Po dosažení konečné definované napjatosti v hlavních kabelech byla jejich poloha vůči ocelovým žebřům uzamknuta pomocí dvojic svorek. Hlavní nosné kabely tak začaly pro další etapy fungování konstrukce působit jako spodní pas Vierendeelova nosníku.



10a

10 Celkový pohled na konstrukci
10 Overall view of the structure

Literatura:

- [1] *Projektová dokumentace RDS.*
Valbek, spol. s r.o. 2021–2022.

Konstrukce byla po celou dobu velmi podrobně sledována a monitorována. Je vystrojena čidly pro systém dlouhodobého kontinuálního monitorování, jehož výsledky jsou porovnávány s teoretickou predikcí.

Závěr

V současné době (srpen 2022) je dokončena výstavba nosné konstrukce. Probíhá výroba prvků vybavení lávky – zábradlí, mostní závěry, osvětlení. Započaty byly úpravy území okolo lávky a všech navazujících komunikací. Dle předpokladů by lávka měla být uvedena do provozu v březnu 2023.

Ve všech ohledech se jedná o zcela výjimečnou konstrukci, která se svými požadavky na přesnost a kvalitu vymyká běžným zvyklostem stavební praxe. Celý proces výstavby probíhá v režimu velmi úzké spolupráce mezi všemi zúčastněnými partnery (autory návrhu, projektantem RDS a zhotovitelem). Jedině tak je možné splnit teoretické předpoklady návrhu konstrukce a dílo zdárně postavit.

Je oprávněné předpokládat, že se lávka stane významnou dominantou této části Hradce Králové a bude znamenat milník v možnostech návrhu a výstavby mostních konstrukcí s využitím současných technologií a know-how.



10b

Fotografie:
Karol Košťalová (archiv společnosti Valbek)



doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., FENg.
Valbek, spol. s r.o.
lukas.vrablik@valbek.cz



Ing. Petr Harazim, Ph.D.
Valbek, spol. s r.o.
petr.harazim@valbek.cz



Ing. arch. akad. arch. Libor Kábrt
GEM Vision
libor.kabrt@gem.vision



Ing. Arch. Gabriela Elichová
GEM Vision
gabriela.elichova@gem.vision



Ing. Arch. Martin Elich
GEM Vision
martin.elich@gem.vision



Ing. Jiří Keclík
SMP CZ, a.s.
jiri.keclik@smp.cz



Ing. Lucie Navarová
SMP CZ, a.s.
lucie.navarova@smp.cz



Ing. Viktor Stržinec, MBA
SMP CZ, a.s.
viktor.strzinek@smp.cz