

NÁVRH LÁVKY PŘES ŘEKU LABE V NYMBURCE

Jiří Stráský, Leonard Šopík, Jan Pozdíšek, Karel Zlatuška

Lávka pro pěší a cyklisty, která v městě Nymburk přemostuje řeku Labe, je popsána s ohledem na architektonické a konstrukční řešení, statickou a dynamickou analýzu a vliv technologie výstavby na její návrh. Lávku tvoří mostovka z předpjatého betonu, která je zavěšena na vně skloněné ocelové oblouky. Lávka byla postavena s minimálním vlivem na provoz na řece. Originální technologie výstavby byla popsána v článku [1].

DESIGN OF THE ELBE RIVER FOOTBRIDGE IN NYMBURK

The pedestrian and cyclist bridge, which bridges the Elbe River in a city of Nymburk, is described in terms of its architectural and structural arrangement, static and dynamic analysis and the impact of a construction technology on its design. The footbridge is formed by a prestressed concrete deck, which is suspended on its outer edges on outwards inclined steel arches. The footbridge was built with a minimal impact on the river traffic. The original construction technology was described in the paper [1].

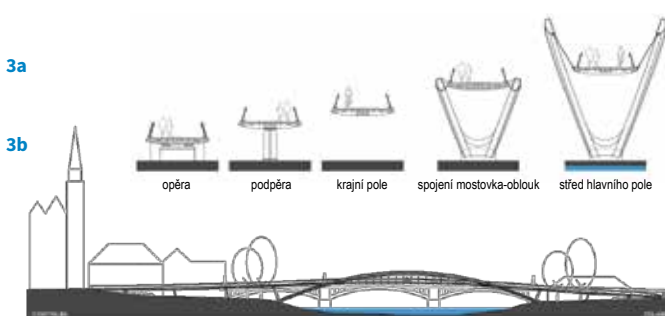


1

Investor	město Nymburk
Projekt	Stráský, Hustý a partneři s.r.o., Brno
Generální zhotovitel	HOCHTIEF CZ a. s., Praha
Výroba a montáž ocelové konstrukce	LEMONTA s.r.o., Sokolov
Podzhotovitel výsunu, vyzdvižení a předpětí	VSL SYSTÉMY /CZ/, s.r.o., Praha
Zahájení výstavby	září 2020
Uvedení do provozu	listopad 2021



2



3a

3b



4

Architektonické a konstrukční uspořádání

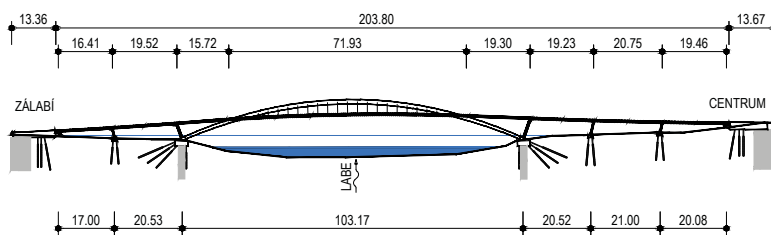
Lávka pro pěší a cyklisty spojuje střed města Nymburk s městskou částí Zálabí a zároveň navazuje na komunikace pro pěší a cyklisty situované podél řeky Labe. Protože je situována poblíž historického obloukového mostu, je tvořena také obloukovou konstrukcí, má však větší rozpětí a podle požadavku investora je bez podpěr v řece (obr. 1).

Realizované přemostění vychází z návrhu firmy Stráský, Hustý a partneři (SHP), Brno, který získal v architektonicko-konstrukční soutěži první cenu. Lávka je situována v poloze původní demolované konstrukce.

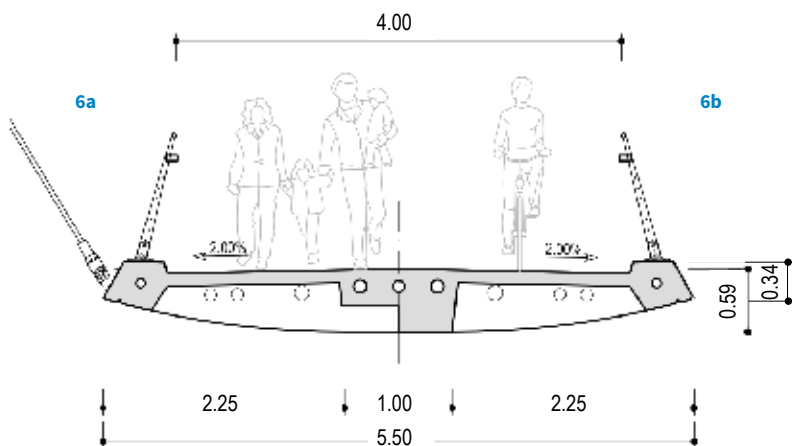
Konstrukci lávky tvoří dva vně skloněné ocelové oblouky, na kterých je zavěšena mostovka z předpjatého betonu. Vzepětí oblouků bylo voleno tak, aby v převážné části nad řekou byly oblouky situovány nad hlavami chodců, a tak nebránily volnému výhledu z lávky, a aby zároveň chodcům jdoucím podél řeky nezakrývaly pohled na historický most a střed města (obr. 2 a 3). Aby oblouky co nejpřirozeněji navázaly na terén, jejich výška se směrem k základům zmenšuje. Odpovídající redukce ohybového namáhání tak umožnila zmenšit velikost základových patek a minimalizovat zásah do břehů.

Protože je štíhlá ocelová konstrukce natřena šedozelenou barvou, oblouky nevytváří dominantu, ale souzní se stávajícím historickým mostem a krásnou polabskou krajinou. Chodník je osvětlen LED svítidly situovanými v madlech zábradlí. Osvětlení oblouku sleduje jeho křivku, a tak zdůrazňuje jeho přirozenou funkci – překonat překážku (obr. 4). Světla jsou orientována směrem dolů, a proto netvoří světelný smog. Jednoduché zábradlí je tvořeno skloněnými sloupky s lanovou výplní. V místě napojení na stávající komunikace jsou navrženy terénní a vegetační úpravy, které přirozeně navazují na polabskou krajinu.

V soutěžním návrhu byla krajní pole tvořena předpjatým pásem vetknutým do krajních opěr, které byly namáhány velkou vodorovnou silou o velikosti až 30 MN. Tato síla byla přenášena kombinací tlačných vzpěr spojujících základy oblouku s opěrami a původním založením tvořeným milánskými stěna-

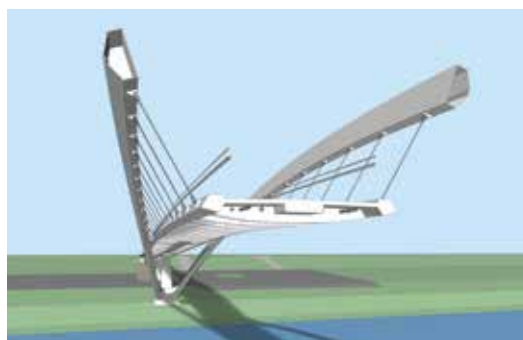


5



1 Lávka přes Labe v Nymburce je situována poblíž historického obloukového mostu 2 Vzepětí oblouků bylo voleno tak, aby nenarušovalo výhled na historický most ani centrum města 3 Lávka: a) příčné řezy, b) pohled proti toku řeky 4 Lávka v noci 5 Podélný řez 6 Příčný řez mostovkou: a) hlavní pole, b) krajní pole 7 Hlavní pole 8 Krajní pole

1 The Elbe River Footbridge in Nymburk is situated nearby the historic arch bridge 2 The rise of the arches was chosen so as not to disturb the view of the historic bridge and the city center 3 Footbridge: a) cross-sections, b) elevation 4 Footbridge at night 5 Elevation 6 Cross-section of the deck: a) main span, b) side spans 7 Main span 8 Side span



7



8

mi a mikropilotami. Oproti předpokladu návrhu mohly být původní opěry demolovány až při stavbě nové konstrukce, a tak nebylo možné během projekčních prací provést diagnostiku původního založení. Bez informací o stavu stěn a mikropilot nebylo možné původní založení využít, a proto byl předpjatý pás nahrazen spojitým nosníkem.

Mostovku celkové délky 203,8 m tvoří spojitý nosník o osmi polích s rozpětími od 16,41 do 71,93 m (obr. 5). Lávka bezbariérově navazuje na stávající komunikace. Geometrie lávky za-

ručuje, že plavební kanál o šířce 50 m je bezpečně zachován a podélný sklon mostovky není větší než 7,7 %. Po lávce jsou také převáděny telekomunikační kabely.

Mostovka z předpjatého betonu je nad řekou zavěšena na ocelových obloucích (obr. 6 a 7), v krajních polích je podepřena šikmými stojkami (obr. 8 a 9). Rozpětí oblouků je 103,17 m a jejich vertikální vzepětí je 11,25 m. Vodorovná vzdálenost oblouků je proměnná od 1,9 m v jejich patě do 10,6 m uprostřed rozpětí (obr. 10). V patě jsou oblouky vzájemně spojeny.



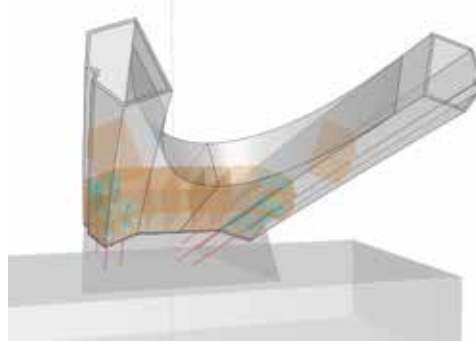
9



10



11



12

9 Mostovka a podpěra krajního pole 10 Mostovka a oblouk 11 Pata oblouku a krajní pole 12 Pata oblouku 13 Konstrukce mostu 14 Podpěra: a) řez dřikem, b) příčný řez 15 Stavební stadia 16 Konstrukce hlavního pole před vyzdvižením 17 Konstrukce před rozepršením
9 Deck and pier of the side span 10 Deck and arch 11 Arch spring and side span deck 12 Arch spring 13 Bridge structure 14 Pier: a) stem section, b) cross-section 15 Construction sequences 16 Structure of the main span before lifting 17 Structure before jacking

Oblouky z oceli S355 mají komorový průřez proměnné výšky od 820 do 1 350 mm a šířky 665 mm. Ocelové průřezy jsou ztuženy výztuhami, na které navazují plechy pro ukotvení závěsů. Uprostřed vnější plochy jsou v obloucích vytvořena vybrání, která slouží k umístění osvětlení oblouků. Typické závěsy jsou tvořeny tyčemi McAlloy Ø 42 a 48 mm. Ty první, které jsou příliš krátké, jsou nahrazeny kloubovým připojením. V průmětu mostovky s oblouky bylo při montáži vzájemné spojení tvořeno pohyblivými ocelovými klouby. Tyto klouby byly po montáži zabetonovány v krátkých blocích.

Oblouky jsou podepřeny betonovými bloky, které tvarově navazují na jejich vnější tvar (obr. 11). Bloky, které byly vybetonovány po rozepršení oblouků, jsou spojené se základovými patkami podepřenými mikropilotami. Aby ve spárách mezi oblouky

a bloky nevznikl za provozu tah, jsou spáry předepnuty předpínacími tyčemi kotvenými v obloucích a v blocích (obr. 12). Na stěny oblouků jsou navazeny vnitřní výztuhy, které přenášejí namáhání ze stěn do patních plechů. Odstranilo se tak velké hranové napětí pod vnějšími stěnami průřezu, a proto nebylo nutné bloky pod oblouky rozšiřovat.

Mostovka z betonu C60/75 je tvořena okrajovými nosníky, středovým žebrem a mostkovkou deskou (obr. 6 a 13). Mostovka celkové šířky 5,5 m je každé 3 m ztužena příčnými tloušťkami 250 mm. V místě spojení mostovky s oblouky mají příčnicku šířku 1 m. Tloušťka mostkovkové desky je 120 mm. Výška středního žebra je dvojnásobná: v zavěšeném poli je 350 mm, ve všech ostatních polích jeho výška 590 mm odpovídá celkové tloušťce mostovky. Mostovka je podélně předepnuta dvěma kabely tvořenými la-

ny 12-0,6" umístěnými v krajních nosnících a třemi kabely umístěnými ve středovém žebře – jedním kabelem 19-0,6" a dvěma kabely 22-0,6". Předpínací kabely z 12 a 19 lan jsou spojovány v konstrukčních spárách situovaných mezi hlavním zavěšeným polem a krajními poli. Kabely tvořené 22 lany jsou průběžné a jsou vedeny po celé délce mostu. Pro případné budoucí zesílení mostu jsou v příčných vytvořeny otvory pro umístění dalších dvou kabelů tvořených lany 22-0,6".

V krajních polích mají kabely vedené ve středním žebře klasický průběh kabelů spojitěho nosníku, v převážné části zavěšeného pole jsou kabely přímé. Protože na zavěšené pole navazují poměrně dlouhá krajní pole, byly spoje oblouku s mostovkou zatíženy velkými reakcemi. Pro jejich odlehčení byly v části zavěšeného pole situované u oblouku kabely ohnuty tak, aby odpovídající radiální síly odlehčily spoj a část zatížení se přesunula na navazující závěsy (obr. 20b).

Krajní pole jsou podepřena šikmými pilíři z betonu C40/50 (obr. 9 a 11). Pilíře mají konstantní tloušťku 0,4 m a proměnnou šířku. Rozšiřují se od svých vrcholů, kde navazují na střední mostkovkové žebro, směrem k základům (obr. 14). Všechny pilíře jsou vrubovými klouby spojeny s mostovkou. Pilíře umístěné nad základovými patkami oblouku, které jsou z betonu C60/75 a které mají tloušťku 0,6 m, jsou do patek vetknuty; ostatní pilíře mají vrubové klouby také u svých patek. Vrbové klouby v podélném směru umožňují pootočení mostovky, v příčném směru zajišťují rámové spojení stojek s mostovkou a základy. Aby byl zaručen dostatečný tlak potřebný pro funkci vrbových kloubů, jsou stojky předepnuty předpínacími tyčemi ukotvenými v patkách pilířů a v betonových blocích zakotvených v mostovce. Bloky byly betonovány současně s pilíři a byly předepnuty před betonáží mostovky. Aby pootočení kloubů nevyvolalo velké místní ohybové namáhání předpínacích tyčí, jsou tyče zainjektovány tukem. Kolem tyčí se tak vytvořilo pružné prostředí, které redukuje jejich ohyb. Základy podpěr a krajních opěr jsou podepřeny mikropilotami.

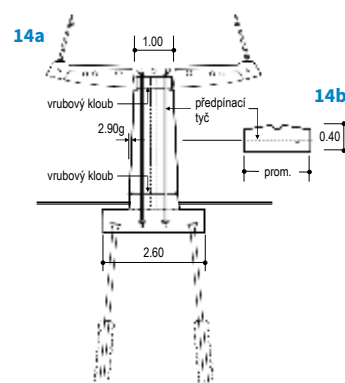
Výstavba

Technologii stavby navrhl zhotovitel mostu. Stavbu lávky lze rozdělit do devíti stadií (obr. 15). Střední část mostu byla smontována na břehu, kde byla na pevné skruži vybetonována mostovka a na montážních podpěrách byly smontovány oblouky (obr. 15a). Poté byla mostovka zavěšena na oblouky, jejichž konce byly montážně podepřeny a vzájemně spojeny vnějšími kabely (obr. 15b). Pak byla uvolněna skruž a mostovka byla předepnuta. Tímto způsobem vznikla staticky určitá konstrukce tvořená obloukem s táhlem (obr. 15c).

Následně byla takto smontovaná konstrukce celkové hmotnosti 400 t po betonových pásech vedených od skruže do koryta řeky příčně posunuta nad řeku. Zde byla na montážních podpěrách zvednuta, podplavena lodí a následně na loď spuštěna (obr. 15d). Pak byla konstrukce na loď dopravena na projektované místo, kde byla zavěšena na montážní podpěry a vyzdvížena do



13

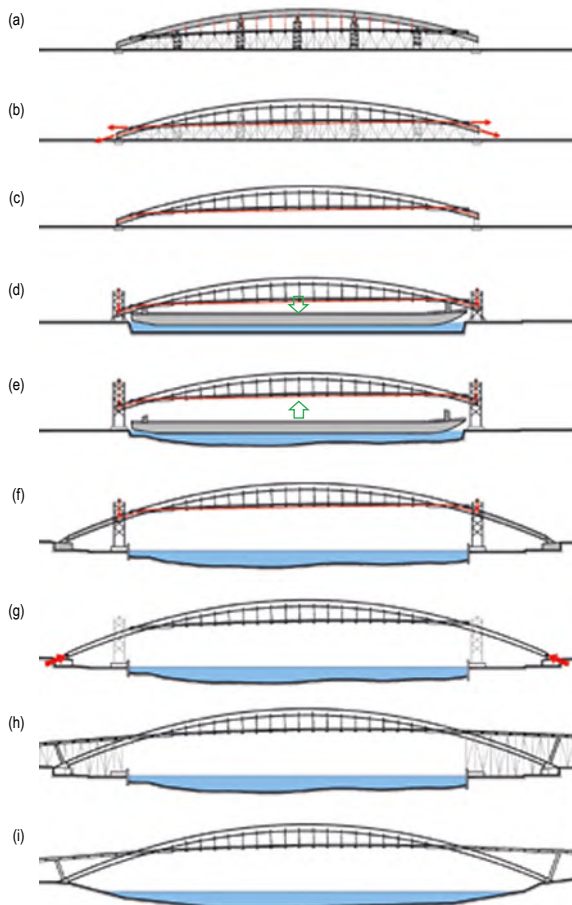


projektované polohy (obr. 15e a 16). Potom byly k takto smontované konstrukci přivařeny krajní části oblouků (obr. 15f a 17).

Jak v ocelové obloukové konstrukci, tak v betonových patkách byly navrženy montážní konzoly, mezi které byly vloženy hydraulické lisy. Působením lisů současně s deaktivací vnějších kabelů byly vyvozeny silové účinky na základy oblouku. Oblouk s táhlem tak byl transformován do pravého oblou-

ku (obr. 15g). Pružné deformace patek oblouku byly eliminovány opakovaným zatížením konstrukce lisy následující den. Pak byly dobetonovány kotvení bloky mezi ocelovou konstrukcí a základovými patkami a montážní konzoly byly odstraněny. Následovala montáž skruže krajních polí a jejich betonáž (obr. 15h). Po jejich předepnutí byly naneseny chodníkové vrstvy tvořící izolaci konstrukce, pak bylo osazeno zábradlí, dilatační závěry a osvětlení (obr. 15i).

15 16



17



Statická a dynamická analýza

Konstrukční řešení bylo vyvinuto na základě velmi detailních statických a dynamických výpočtů. Konstrukce byla analyzována programovým systémem Midas. V závislosti na povaze problému byla analyzována jako 3D konstrukce složená z nosíkových, skořepinových a objemových prvků. Výpočtový model vystihl prostorové působení konstrukce a skutečné okrajové podmínky (obr. 18). Působení pilot bylo vystiženo jejich pružným podepřením.

Analýza montážních a provozních fází začala od výchozího stavu, ve kterém byla definována požadovaná geometrie a napětí. Byla také provedena podrobná časově závislá analýza postupně montované konstrukce. Metoda „strut and tie“ byla použita pro kontrolu důležitých detailů. Pečlivě byla také ověřena stabilita štíhlých oblouků.

Výpočet sledoval postupnou výstavbu konstrukce. Při analýze byl použit postupně se měnící výpočtový model (obr. 19). Nejdříve byla analyzována postupná výstavba střední části konstrukce, tj. betonáž mostovky a montáž oblouků (obr. 19a), následně bylo určeno namáhání při zavěšení mostovky na oblouk, napnutí vnějších kabelů, odskržení a předepnutí mostovky (obr. 19b). Při příčném přesunu na loď a zavěšení na mon-

táží podpěry byla takto smontovaná konstrukce podepřena na koncích oblouků, při transportu na lodi byla konstrukce podepřena v místě spojení mostovky s oblouky.

Následně byl posouzen stav, kdy se ke střední části připojily krajní části oblouku (obr. 19c). Potom byly podrobně analyzovány stavy, ve kterých se oblouky postupně rozepřely a kdy se deaktivovaly montážní kabely (obr. 19d). Tento stav byl postupně posouzen pro pět kroků. Následovalo posouzení betonáže a předepnutí krajních polí a přetížení konstrukce ostatním stálým zatížením.

Pro představu o namáhání konstrukce během výstavby jsou na obr. 20c uvedeny ohybové momenty, které vznikají v mostovce od zatížení vlastní tíhou a od předpětí v zatěžovacích stadiích (c) = (e), (d), a (g) uvedených na obr. 15.

Pro posouzení pohody chodců a účinků větru byly nejdříve určeny vlastní tvary a frekvence. První čtyři svislé tvary a frekvence jsou uvedeny na obr. 21, první dva vodorovné tvary

a frekvence jsou na obr. 22. Jak je zřejmé z obrázků, při kmitání konstrukce v příčném směru dochází současně ke zkroucení mostovky. S ohledem na nesymetrické konstrukční uspořádání se čisté krouživé frekvence nevyskytly.

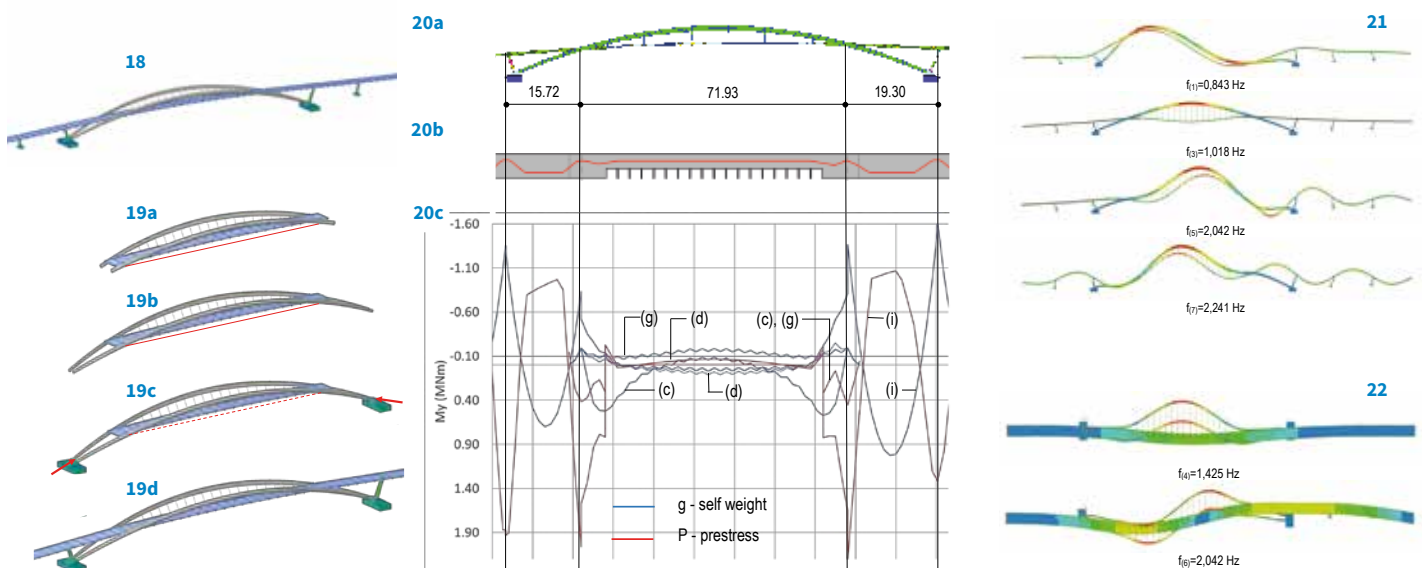
Pohoda chodců byla posouzena pro impulsy vyvolané dvěma osobami s hodnotami $2 \times 180 \text{ N}$ pro svislý směr a $2 \times 70 \text{ N}$ pro vodorovný směr. Odpovídající maximální zrychlení ve svislém směru je $a_v = 0,0580 \text{ m/s}^2$, ve vodorovném směru $a_H = 0,0152 \text{ m/s}^2$. Obě hodnoty jsou menší než přípustné zrychlení $a_{v,dov} = 0,459 \text{ m/s}^2$ a $a_{H,dov} = 0,167 \text{ m/s}^2$, které jsou odvozené od odpovídajících vlastních frekvencí ve svislém a vodorovném směru [2], [3].

Konstrukce lávky byla ověřena statickými a dynamickými zatěžovacími zkouškami provedenými akreditovanou měřicí laboratoří firmy Stráský, Hustý a partneři [4], [5].

Při statické zkoušce byla konstrukce zatížena prázdnými vozidly Tatra Phoenix o hmotnosti od 16,76

18 Výpočtový model **19** Výpočtové modely postupně montované konstrukce **20** Konstrukce během stavby: a) pohled, b) vedení kabelů ve středním žebří, c) ohybové momenty v mostovce **21** První čtyři svislé vlastní tvary a frekvence – pohled **22** První dva vodorovné vlastní tvary a frekvence – půdorys **23** Zatěžovací zkouška

18 Analytical model **19** Analytical models progressively erected structure **20** Structure during construction: a) elevation, b) layout of prestressing tendons in the central rib, c) deck's bending moments **21** First four vertical natural modes and frequencies – elevation **22** First horizontal natural modes and frequencies – plan **23** Loading test



17,48 t, které nenaplněné mají přibližně stejný nápravový tlak na předních i zadních nápravách. Konstrukce byla kontrolována pro čtyři zatěžovací stavy, účinnost zatížení byla od 57 do 70 %. Při zkoušce byla čtyři vozidla umístěna rovnoměrně nad obloukem, dvě vozidla byla situována na polovině oblouku a jedno vozidlo bylo postupně situováno ve středu druhého a šestého pole. Vozidla byla umístěna excentricky k podélné ose mostu, při zatížení čtyřmi vozidly byla osa vozidel vzdálena 0,456 m od osy mostu (obr. 23). Konstrukce tak byla ověřena nejen pro ohybové, ale také kroutící zatížení.

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

Předmětem dynamické zkoušky bylo ověření vlastních tvarů a frekvencí a sledování dynamické odezvy lávky na účinky chodců. Při měření se určovala odezva konstrukce na chů-

zi dvou osob jdoucích synchronizovanou chůzí v rezonanci s některou vlastní frekvencí svislého nebo vodorovného kmitání lávky a odezva konstrukce na běžný provoz na lávce.

Měření prokázala dobrou shodu vypočítaných a naměřených vlastních frekvencí. Z hlediska pohody chodců byl kritický přechod dvou osob krokovou frekvencí 2,3 Hz ($\sim f(7) = 2,241$), kdy maximální hodnoty zrychlení dosahují hodnoty $0,45 \text{ m/s}^2$. Toto zrychlení je však menší než přípustná hodnota $0,70 \text{ m/s}^2$. Pro ostatní zatížení je zrychlení do $0,25 \text{ m/s}^2$.

Výsledky detailních dynamických zkoušek potvrdily předpoklady návrhu a prokázaly shodu teoretických a naměřených vlastních frekvencí. Také potvrdily, že lávka má dostatečnou dynamickou tuhost. Při aplikovaných dynamických zatíženích se nevyskytlo žádné nebezpečné rezonanční rozkmitání konstrukce. Pohyb chodců nevyvolává u uživatelů nepříjemné pocity.



23

Literatura:

- [1] VÍTEK, P. Výstavba lávky pro pěší v Nymburce. *Beton TKS*, 2021, roč. 21, č. 3, s. 4-9. ISSN 1213-3116.
- [2] STRÁSKÝ, J., NEČAS, R., KOLÁČEK, J. Dynamická odezva betonových lávek. *Beton TKS*, 2009, roč. 9, č. 4, s. 80-87. ISSN 1213-3116.
- [3] *Guidelines for the design of footbridges. fib Guide to good practice prepared by Task Group 1.2. Fédération internationale du béton (fib)*, 2005. ISBN 2-88394-072-X.
- [4] ŠTEFAN, P. *Lávka přes Labe v Nymburce*. Zpráva o statické zatěžovací zkoušce. Měřicí laboratoř, Stráský, Hustý a partneři, Brno, 2021.
- [5] NEČAS, R. *Lávka přes Labe v Nymburce*. Zpráva o dynamické zatěžovací zkoušce. Měřicí laboratoř, Stráský, Hustý a partneři, Brno, 2021.

inzerce

SHP

KREATIVITA, ZNALOST, ZKUŠENOST, POCTIVÁ PRÁCE

Stráský, Hustý a partneři s. r. o., Bohunická 50, 619 00 Brno, Česká republika, tel.: +420 547 101 811
www.shp.eu, shp@shp.eu

Kalvářský most, Nitra, Slovensko



25

24



26



Závěr

Nová mostní konstrukce využívá podobný konstrukční systém jako vedlejší historický obloukový most. I když má podstatně větší rozpětí, stávající most nepřehlušuje, ale doplňuje (obr. 24). Lávka využívá jeden z nejstarších nosných prvků – oblouk –, který svým tvarem vystihuje snahu překlenout překážku (obr. 25), avšak dává mu moderní výraz. Vnější sklonění oblouků otvírá prostor a vyzývá k přechodu. Osvětlení konstrukce zdůrazňuje statickou funkci a nezpůsobuje světelný smog (obr. 4 a 26).

Konstrukce lávky je tvořena prvky, které mají lidský rozměr, je pohodlná pro uživatele a její pohyb vyvolaný pohybem chodců anebo větrem nevyvolává u uživatelů nepříjemné pocity. Konstrukce lávky byla postavena s minimálním vlivem na provoz na řece.

24 Historický obloukový most a nová lávka
25 Lávka využívá jeden z nejstarších nosných prvků – oblouk **26** Pohled osvětlené mostovky a oblouku

24 Old arch bridge and new footbridge

25 The footbridge utilizes one of the oldest

load-bearing elements – an arch **26** Soffit of the illuminated bridge deck and arch



prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.
j.strasky@shp.eu



Ing. Leonard Šopík, Ph.D.
l.sopik@shp.eu



Ing. Jan Pozdříšek, Ph.D.
j.pozdisek@shp.eu



Ing. Karel Zlatuška
k.zlatuska@shp.eu

všichni: Stráský, Hustý a partneři s.r.o.