

LÁVKA PRO PĚŠÍ PŘES LAKE HODGES, SAN DIEGO, KALIFORNIE, USA ■ PEDESTRIAN BRIDGE ACROSS THE LAKE HODGES, SAN DIEGO, CALIFORNIA, USA



1

Jiří Stráský, Richard Novák

Dosud nejděší lávka z předpjatého pásu o třech polích stejných délek 100,58 m je popsána z hlediska architektonického a konstrukčního i postupu výstavby. Předpjatý pás celkové délky 301,74 m je tvořen prefabrikovanými betonovými segmenty a monolitickými sedly situovanými u všech podpěr. Most byl navržen na základě velmi podrobné statické a dynamické analýzy. Aerodynamické výpočty byly ověřeny zkouškou ve větrném tunelu. ■ The world's longest stress ribbon pedestrian bridge of three equal spans of 100.58 m is described in terms of its architectural and structural solution and a process of the construction. The stress ribbon deck of total length of 301.74 m is assembled of precast segments and cast-in-place saddles situated at supports. The bridge was designed on the basis of a very detailed static and dynamic analysis, the aerodynamic stability was verified in a wind tunnel.

V květnu 2009 byla slavnostně otevřena dosud nejděší lávka z předpjatého pásu (obr. 1). Lávka je situována v severní části San Diega, v Kalifornii a je součástí parku San Dieguito River Valley, který v délce 88 km spojuje ústí řeky s pouští rozprostírající se na východ od Volcan Mountain. Posláním parku je nejen zajistit rekreaci, ale také ochránit národní zdroje a životní prostředí. Lávka převádí pěší a cyklistické stezky přes jezero Hodges (obr. 2), které je v závislosti na počasí někdy plné vody a někdy prázdné a tvoří mokřiny.

Konstrukce z předpjatého pásu svými jemnými rozměry nenásilně zapadá do krajiny a má minimální vliv na životní prostředí jak při stavbě, tak i provozu. Umožnila návrh lávky poměrně velkého rozpětí jen se dvěma pilíři v jezeře. Skuteč-

Obr. 1 Lávka přes Lake Hodges ■ Fig. 1 Pedestrian Bridge across the Lake Hodges

Obr. 2 Situování lávky poblíž Freeway I-15 ■ Fig. 2 Location of the bridge near the Freeway I-15

Obr. 3 Podélný řez ■ Fig. 3 Elevation

Obr. 4 Prefabrikovaný segment: a) příčný řez, b) spára mezi segmenty, c) nosné a předpínací kabely ■ Fig. 4 Precast segment: a) cross section, b) joint between segments, c) bearing and prestressing tendons

Obr. 5 Vnitřní podpěra: a) podélný řez, b) příčný řez, c) půdorys ■ Fig. 5 Intermediate support: a) elevation, b) cross section, c) plan

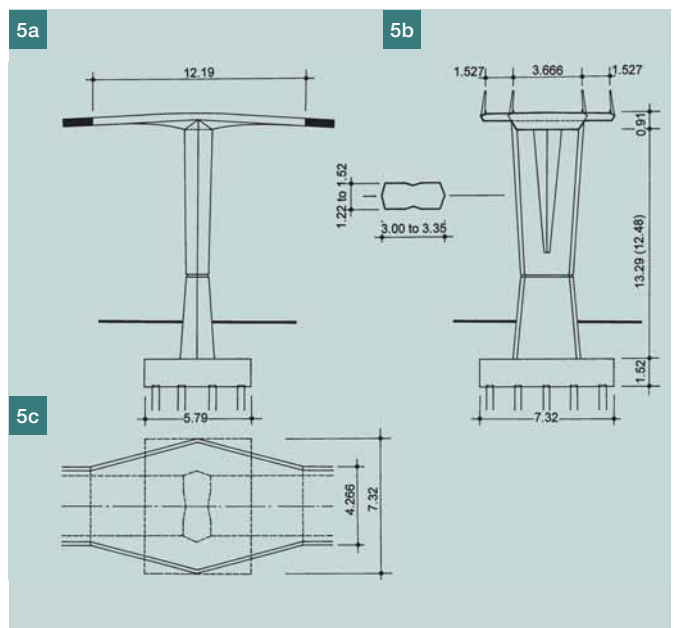
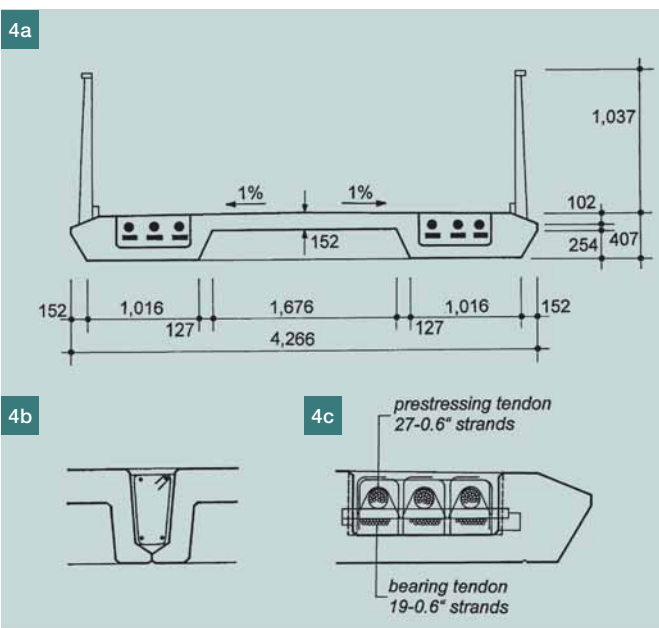
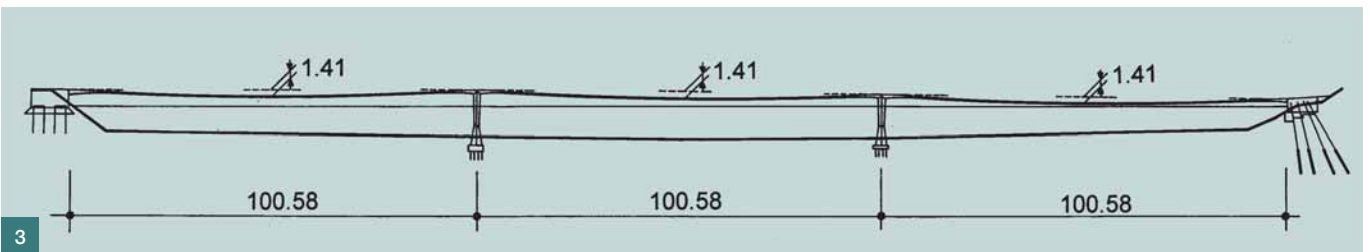
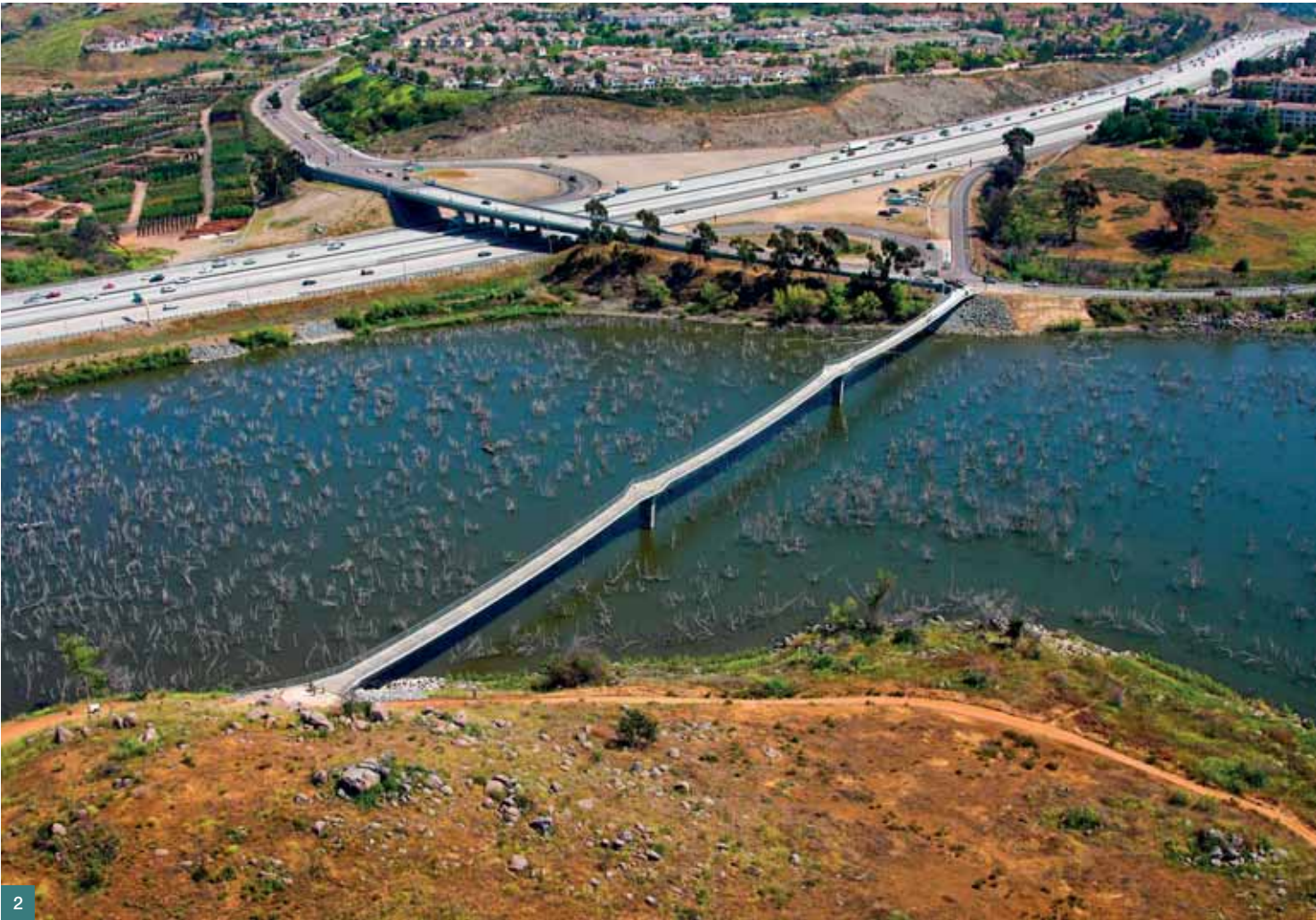
ností, že konstrukce má tři spojitá pole, se nevýhoda těchto konstrukcí – nutnost přenesení velkých vodorovných sil do podloží – výrazně redukovala a stavba se tak stala velmi ekonomickou.

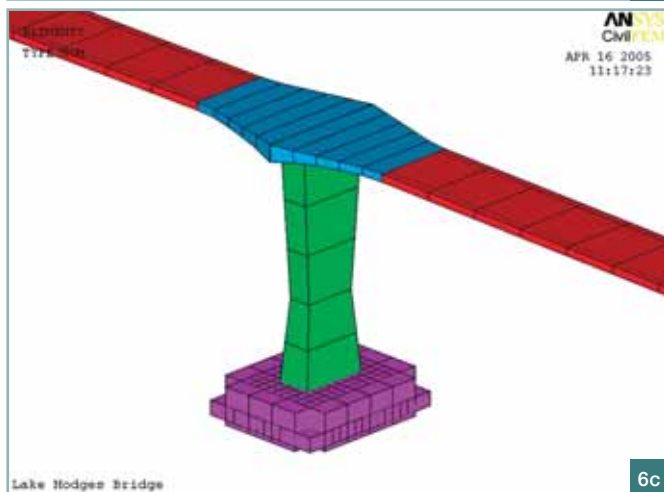
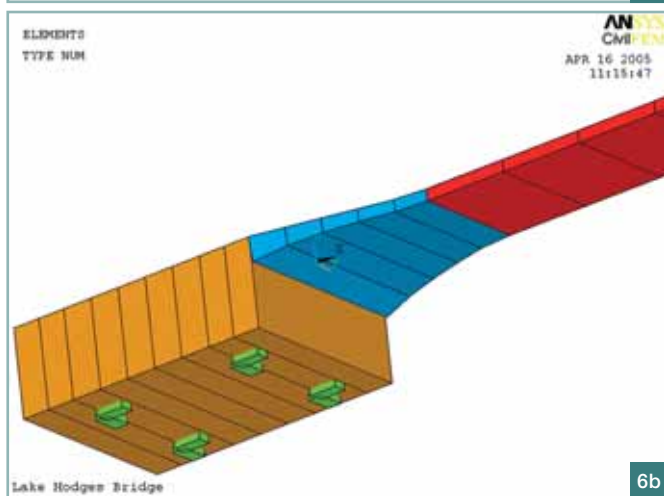
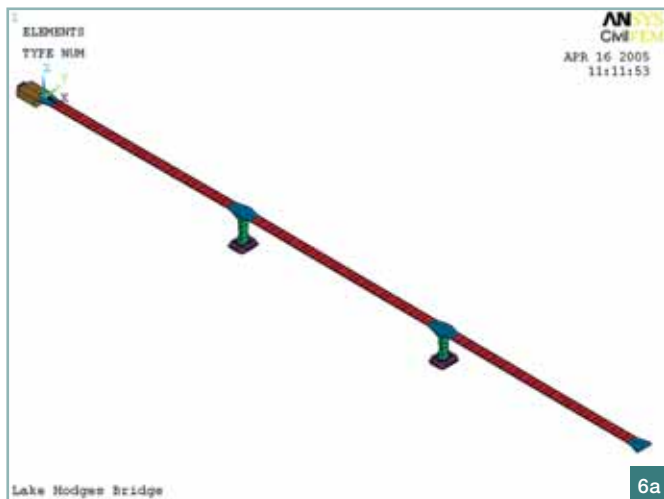
Tím, že konstrukce spojuje ekonomii s čistou konstrukční krásou, představuje jedinečný technický objekt, který se stal symbolem parku a ekologického přístupu k navrhování.

ARCHITEKTONICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Architektonické a konstrukční řešení vychází z našich dřívějších dvou realizovaných staveb: lávky přes Vltavu, která byla postavena v roce 1984 v Praze-Tróji, a lávky přes řeku Sacramento postavené v roce 1990 v Reddingu, v severní Kalifornii [1].

Nosnou konstrukci lávky tvoří předpjatý pás o třech stejných polích délek 100,58 m (obr. 3). Průvės předpjatého pásu uprostřed rozpětí je 1,41 m, maximální podélný spád u podpěr je 5,6%. Předpjatý pás celkové délky 301,74 m je





Obr. 6 Výpočtový model: a) konstrukce, b) opěra, c) vnitřní podpěra

■ Fig. 6 Calculation model: a) structure, b) abutment, c) intermediate support

Obr. 7 Zkouška ve větrném tunelu ■ Fig. 7 Wind tunnel test

Obr. 8 Piloty jižní opěry ■ Fig. 8 Drilled shafts of the south abutment

Obr. 9 Výztuž a skalní kotvy severní opěry ■ Fig. 9 Reinforcement and rock anchors of the north abutment

Obr. 10 Ocelové sedlo ■ Fig. 10 Steel saddle

Obr. 11 Nosné kabely ■ Fig. 11 Bearing tendons

Obr. 12 Typický segment ■ Fig. 12 Typical segment

Obr. 13 Podporový segment ■ Fig. 13 Support segment

Obr. 14 Smontované segmenty ■ Fig. 14 Assembled segments

Obr. 15 Betonáž spár, rýh a sedel ■ Fig. 15 Casting of the joints, troughs and saddles



sestaven z prefabrikovaných segmentů (obr. 4 a 12) a monolitických sedel situovaných u všech podpěr. Délka sedel u opěr je 6,095 m, nad vnitřními podpěrami je 12,19 m. Předpjatý pás je vetknut do krajních opěr a je rámově spojen s vnitřními podpěrami (obr. 5). Jak prefabrikované segmenty, tak i monolitická sedla jsou z betonu válcové pevnosti 41,4 MPa.

Prefabrikované segmenty tloušťky 0,407 m jsou 3,048 m dlouhé a 4,266 m široké. Každý segment je tvořen dvěma okrajovými žebry a mostovkovou deskou, která je u spár zesílena příčnickem (obr. 4a). V průběhu montáže jsou segmenty zavěšeny na nosné kabely (*bearing tendons*), po kterých byly posunuty do projektované polohy. Po vybetonování monolitických sedel a spár mezi segmenty je konstrukce předepnuta předpínacími kabely (*prestressing tendons*). Nosné kabely jsou tvořeny 2x třemi kabely z 19 lan průměru 15,5 mm, předpínací kabely jsou tvořeny 2x třemi kabely z 27 lan 15,5 mm. Nosné i předpínací kabely jsou situovány v rýhách vytvořených v krajních žebrech (obr. 4c).

Monolitická sedla jsou rámově spojena s krajními opěrami a vnitřními podpěrami (obr. 5). Sedla mají proměnnou tloušťku i šířku. Tloušťka se mění od 0,407 do 0,91 m, šířka od 4,266 do 7,32 m. Nad podpěrami jsou tak vytvořeny vyhlídkové plošiny s lavičkami vyzývající k zastavení.

Sedla byla betonována po smontování všech segmentů do bednění zavěšeného na již smontovaných segmentech a na podporových pilířích, popřípadě krajních podpěrách. V průběhu montáže konstrukce byly nosné kabely uloženy na teflonových deskách situovaných na ocelových sedlech. Spáry mezi prefabrikovanými segmenty jsou vyztuženy petlicovým stykem (obr. 4b a 12). Spáry mezi krajními segmenty a monolitickými sedly jsou vyztuženy silnou betonářskou výztuží vyčnívající ze segmentů (obr. 13).

Vnitřní podpěry výšky 12,48 a 13,29 m mají proměnnou šířku od 3 do 3,35 m a proměnnou tloušťku od 1,22 do 1,52 m (obr. 5). Jsou vyztuženy třemi vzájemně propojenými svazky svislých prutů ovinutými spirálovou výztuží zajišťující plastické chování podpěr. V podpěrách jsou zakotvena ocelová sedla podporující nosné kabely (obr. 10 a 11). Vnitřní podpěry jsou založeny na ražených ocelových pilotách.

Vodorovná síla velikosti až 53 MN je přenášena do podloží u jižní opěry čtyřmi vrtanými pilotami průměru 2,7 m a délky 24 m (obr. 8), u severní opěry skalními kotvami (obr. 9). Piloty jsou silně vyztuženy svazky betonářské výztuže situovanými ve dvou vrstvách a ovinutými spirálou, která je v místech vetknutí do opěr nahrazena svařovanými kruhovými pruty.



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17

Obr. 16 Dokončená konstrukce – pohled ■ Fig. 16 Completed structure – view from below

Obr. 17 Dokončená konstrukce ■ Fig. 17 Completed structure

Obr. 18 Dokončená konstrukce – minimální zásah do krajiny ■ Fig. 18 Completed structure – minimum influence on the landscape

STATICKÁ A DYNAMICKÁ ANALÝZA

Pro návrh konstrukce a pro kontrolu projektu byl využit programový systém ANSYS (obr. 6), pro vlastní projekt byl použit programový systém LARSA. Konstrukce byla modelována jako soustava rovnoběžných prutů vystihujících působení nosných a předpínacích kabelů, prefabrikovaných segmentů a sedel a betonu rýh [1]. Výpočet vystihl postup výstavby a změnu statického působení: v době montáže všechno zatížení přenáší jen nosná lana, po vybetonování spár působí konstrukce jako předpjatý pás. Poddajnost podpěr byla vystižena pružným podepřením základů.

Vlivem předpětí a objemových změn betonu vznikají v monolitických sedlech velké kladné ohybové momenty. Protože tahová namáhání vznikají v dostatečné vzdálenosti od nosných a předpínacích kabelů, byla sedla navržena jako částečně předpjatý prvek, jehož tuhost byla vlivem trhlin redukována.

Velká pozornost byla věnována posouzení konstrukce na účinky zemětřesení. Konstrukce byla posouzena pro spektrum odezvy s maximální hodnotou zrychlení 0,3 g. Analýza prokázala, že pro dané zatížení se konstrukce chová elasticky. To je dáno především skutečností, že tíha konstrukce je velmi malá a horizontální pohyby jsou omezeny velkou tahovou únosností kabelů.

Protože hodnoty prvních ohybových frekvencí jsou od 0,574 do 1,197 Hz, byla konstrukce posouzena postupem uvedeným v [2] pro dynamické zatížení reprezentované pulsující silou:

$$F = 180 \sin(2\pi f_0 T).$$

Hodnota vybuzeného zrychlení $a = 0,047 \text{ m/s}^2$ je mnohem menší než přípustná hodnota $a_{\text{lim}} = 0,5 (f_0)^{1/2} = 0,5 (0,574)^{1/2} = 0,379 \text{ [m/s}^2\text{]}$. Proto chodci nemají nepříjemné pocity, když jdou, anebo stojí na lávce.

Posouzení aerodynamické stability konstrukce bylo provedeno ve West Wind Labs, Marina, California [3]. Pro určení aerodynamického zatížení byl ve větrném tunelu odzkoušen model části konstrukce postavený v měřítku 1 : 10 (obr. 7). Následně byla provedena numerická simulace, která prokázala, že konstrukce zůstává stabilní do rychlosti 38,3 m/s [3], [4].

POSTUP STAVBY

Po provedení výkopových prací a pilot (obr. 8) byl postaven provizorní most spojující jižní opěru s vnitřními podpěrami. Zde byly vytvořeny Larsenové jímky a následně zaraženy ocelové piloty. Poté byly vybetonovány základy a vnitřní podpěry.

Po vybetonování krajních opěr – vlastně kotevních bloků – byly u severní opěry vyvrtány, osazeny a částečně napnuty skalní kotvy (obr. 9). Po osazení ocelových sedel byly nataženy a napnuty nosné kabely (obr. 10 a 11). Skalní kotvy pak byly dopnuty na požadované napětí.

Poté byly pod nosné kabely podvlečeny a následně zavěšeny prefabrikované segmenty (obr. 12). Tahem vrátku byly segmenty po kabelech posunuty do projektované polohy (obr. 13).

Po smontování všech segmentů bylo osazeno bednění sedel (obr. 14). Podélné nosníky nesoucí bednění byly podepřeny příčnými nosníky, které byly zavěšeny na již smontovanou konstrukci a současně podepřeny vnitřními podpěrami. Tak bylo zajištěno, že sedla spojitě navazovala na smontovanou konstrukci, jejíž tvar se v průběhu betonáže měnil podle postupně vzrůstajícího zatížení a podle teploty.

Po osazení předpínacích kabelů a betonářské výztuže rýh byly spáry mezi segmenty, rýhy a sedla vybetonovány (obr. 15). Všechna tři pole byla betonována současně ve směru od středu polí k podpěrám. Po dosažení pevnosti betonu 5 MPa byla konstrukce částečně předepnuta. Toto



18

Literatura:

- [1] *Strasky J.*: Stress Ribbon and Cable-Supported Pedestrian Bridges, ISBN: 0 7277 3282 X, Thomas Telford Publishing, London 2005, 2nd edition 2011
- [2] *Stráský J., Nečas R., Koláček J.*: Dynamická odezva betonových lávek, Beton TKS 4/2009, ISSN: 1213-3116
- [3] *Raggett J. D.*: Wind Study, Lake Hodges Pedestrian/Bicycle Bridge, West Wind Labs, Marina, California, USA, 2005
- [4] *Sánchez A., Tognoli J., Strasky J.*: The Lake Hodges Stress Ribbon Bridge, San Diego, California. Conference Footbridge 2008, Porto, Portugal

Investor	San Dieguito River Park
Projekt	kancelář T.Y.Lin International, San Diego, California
Koncept řešení a kontrola projektu	kancelář Jiri Strasky, Ph.D., P.E., Consulting Engineer, Greenbrae, California
Kontrolní statický a dynamický výpočet	Ing. Richard Novák
Dodavatel	Flatiron Construction Corp., San Diego, California

předpětí zajistilo, že mladý beton nebude poškozen od svévolného pohybu chodců a od změn teploty. Po dosažení projektované pevnosti byly předpínací kabely dopnuty. Následovala montáž zábradlí a osvětlení.

ZÁVĚR

Lávka byla kladně přijata jak laickou, tak i odbornou veřejností. Projekt získal řadu ocenění, z nichž nevýznamnější jsou: 'Outstanding project', Excellence in Structural Engineering 2010 – The National Council of Structural Engineers Associations (NCSEA) a 'Design Award' - Prestressed Concrete Institution (PCI) 2009 Design Competition.

Příspěvek byl vypracován v rámci výzkumného záměru MSM 0021630519 „Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce“.

Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.



Ing. Richard Novák

oba: Stráský, Hustý a Partneři, s. r. o.
Bohunická 50, 619 00 Brno
tel.: 547 101 811
e-mail: shp@shp.eu, www.shp.eu

STAVÍME NA PEVNÝCH ZÁKLADECH

www.smp.cz



MOST PŘES LUŽNICI VE VESELÍ N. L. NA DÁLNICI D3

STT
SMP CZ

Společnost skupiny **VINCI**
CONSTRUCTION