

DVĚ ZAVĚŠENÉ LÁVKY POSTAVENÉ VE MĚSTĚ EUGENE, OREGON, USA ■ TWO CABLE-STAYED PEDESTRIAN BRIDGES BUILT IN A CITY OF EUGENE, OREGON, USA

Jiří Stráský, Pavel Kaláb,
Radim Nečas, Jan Koláček

Dvě zavěšené lávky pro pěší postavené nad provozovanými komunikacemi v univerzitním městě Eugene, Oregon, USA, jsou popsány s ohledem na jejich architektonické a konstrukční řešení, statickou a dynamickou analýzu a postup výstavby. Zavěšené mostovky jsou sestaveny z prefabrikovaných segmentů a monolitické desky. Prefabrikované segmenty byly montovány letmo v noci nad provozovanými komunikacemi; během montáže byly segmenty kloubově spojeny. Při montáži byly uzavřeny jenom dva pruhy komunikací. ■ Two cable-stayed pedestrian bridges built across the existing freeways in a university city of Eugene, Oregon, USA are described in terms of the architectural and structural solution, static and dynamic analysis and process of construction. The suspended decks are assembled of precast segments and a cast-in-place deck slab. The precast segments were erected at night in cantilevers spanning over the freeways; during the erection the segments were hinge connected. Only two highways lanes were closed during the erection of the segments.

Nedávno byly v univerzitním městě Eugene, Oregon, USA, postaveny dvě zavěšené lávky pro pěší (obr. 1 a 2). U obou lávek jsou hlavní zavěšená pole, která přemostují rychlostní komunikace, sestavena z prefabrikovaných segmentů a spřažené desky (obr. 3a); konstrukci navazujících ramp tvoří monolitická deska stejného obvodu (obr. 3b).

Šířka mezi zábradlím je 4,2 m a umožňuje současný provoz cyklistů a chodců (obr. 4 a 5). V prostoru nad komunikacemi je, podobně jako u všech lávek postavených v USA, zábradlí tvořeno ochrannou síťovinou výšky 2,44 m. Aby se odstranil nepříjemný pocit z ohraničeného prostoru (v USA nazývaný *cattle effect*), je síťovina odsunuta vně co



nejdál a je podepřena závěsy, na které je současně připevněno madlo zábradlí (obr. 6).

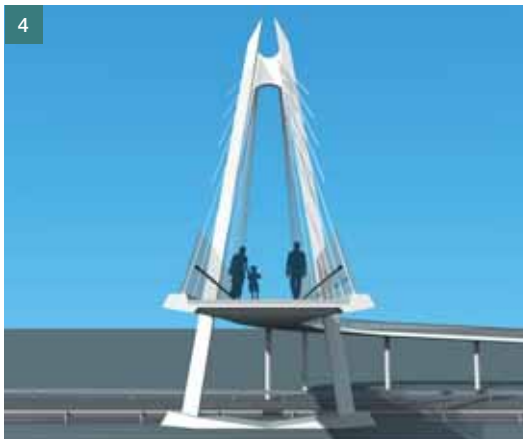
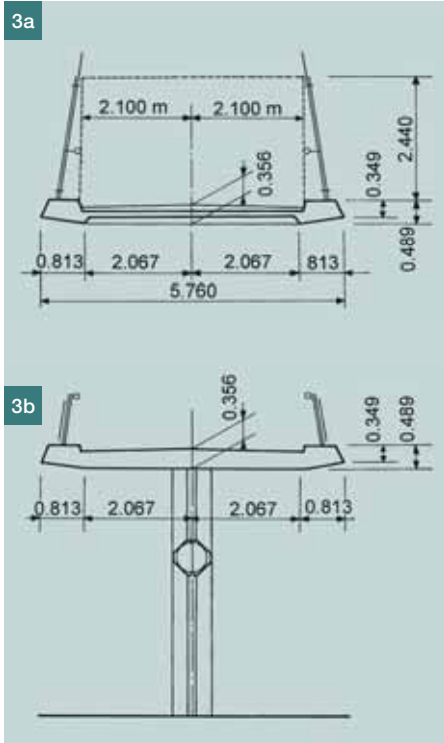
U obou lávek bylo snahou navrhnout atraktivní a současně hospodárné konstrukce, které bylo možné postavit za cenu tradičních nosíkových mostů. Ekonomie řešení byla dosažena využitím prefabrikovaných segmentů již dříve použitých při stavbě lávek z předpjatého pásu [1], [2], neobvyklým řešením montážního spojení segmentů a montáží v noci s minimálním omezením provozu.

MOSTOVKA

Prefabrikované segmenty délky 3,048 m mají dvoutrámový průřez, kte-

rý je ve spárách zesílen nízkými příčnickami. Ve spřažené desce jsou situovány předpínací kabely. S ohledem na redukci délky ramp jsou mostovky obou konstrukcí velmi štíhlé, jejich stavební výška je jen 356 mm. Prefabrikované segmenty jsou zavěšeny po obou okrajích, rampy jsou podepřeny jednosloupovými podpěrami situovanými v podélné ose lávky.

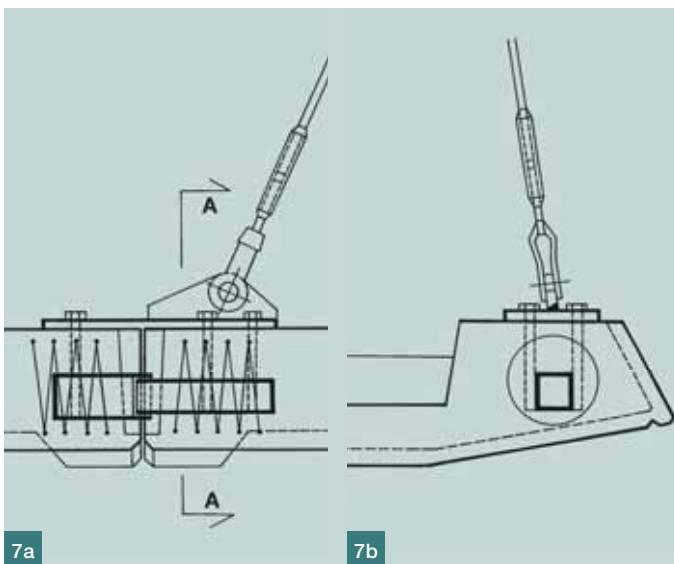
Spáry mezi segmenty jsou vyplněny betonem, který byl betonován současně se spřaženou deskou. Při montáži byly segmenty vzájemně opřeny přes naváděcí prvky tvořené ocelovými trubkami vyplněnými betonem (obr. 7 a 8). Stabilita montované konstrukce byla zajištěna kotevními prvky závěsů. Prvky jsou tvořeny svislými pásnicemi, v kte-



Obr. 1 Lávka přes komunikaci Delta Ponds ■
 Fig. 1 Pedestrian bridge across the Delta Ponds Freeway
 Obr. 2 Lávka přes Freeway I-5 ■
 Fig. 2 Pedestrian bridge across the I-5 Freeway
 Obr. 3 Příčný řez, a) zavěšená část, b) rampy ■
 Fig. 3 Cross section, a) suspended part, b) ramps
 Obr. 4 Lávka I-5, konstrukční uspořádání ■
 Fig. 4 I-5 Bridge, structural arrangement

Obr. 5 Lávka Delta Ponds, konstrukční uspořádání ■
 Fig. 5 Delta Ponds bridge, structural arrangement
 Obr. 6 Lávka I-5, zábradlí a ochranná síť ■
 Fig. 6 I-5 Bridge, railings and protective fence
 Obr. 7 Detail spojení, a) podélný řez, b) příčný řez ■
 Fig. 7 Connection detail, a) elevation, b) cross section
 Obr. 8 Montážní spojení ■
 Fig. 8 Erection connection

rých jsou kotveny závěsy, a vodorovnými pánsicemi, které přemostují spáry a jsou přišroubovány jak k již namontovanému, tak i montovanému segmentu. Oválné otvory na straně montovaného segmentu umožnily nejen vyrovnat výrobní nepřesnosti, ale také přitlačit montovaný segment k již smontované části konstrukce. Rameno vnitřních sil mezi naváděcími a kotevními prvky zajistilo přenos ohybového momentu, a tak zabránilo vybočení tlačené montované konzoly. Po vybetonování spár a spřažené desky byly šrouby dotaženy a pásnice přitlačeny k segmentům. V provozním stavu se tak staly součástí mostovky a ve spárách se podílely na přenosu normálového napětí od nahodilého zatížení.



LÁVKA PŘES FREEWAY I-5

Lávka (obr. 2), která přemostuje Freeway I-5, spojuje obytnou část města s nákupním střediskem Gateway.

Konstrukci lávky tvoří hlavní most přemostující komunikaci, který je monoliticky spojen se zakřivenými rampami. Hlavní most byl navržen ve dvou alternativách. V první byl most o dvou polích s rozpětími 31,76 m zavěšen na pylonu umístěném v ose komunikace (obr. 9). V druhé alternativě byl most zavěšen na vzpěradlovém rámu přemostujícím komunikaci (obr. 10). Základy vzpěr byly spojeny s koncovými příčnicí vnějšími vzpěrami, které přenášely vodorovnou složku ze vzpěr do předpjaté mostovky. Svislá tahová síla byla z koncových příčnic přenesena do základů svislými kabely.

Obě konstrukce byly vizualizovány, předběžně posouzeny a byla určena jejich cena. Ukázalo se, že estetický přínos vzpěradlového rámu je diskutabilní a v žádném případě neospravedlní zvýšení ceny. Proto byla dále rozpracována klasická zavěšená konstrukce.

Konstrukci lávky celkové délky 161,6 m tvoří hlavní zavěšený most o dvou polích s rozpětími 31,76 m (obr. 9), který je monoliticky spojen se zakřivenými rampami vetknutými do krajních opěr. Rampy, které jsou rámově spojeny s jednosloupovými podpěrami, mají rozpětí polí od 9,144 do 12,192 m. Konstrukce tak tvoří integrovaný most bez ložisek a dilatačních závěrů. Na most navazuje kruhové schodiště, které spolu s pylonem vytváří architektonickou dominantu přemostění. Hlavní pole jsou zavěšena na pylonu tvaru písmene A (obr. 11 a 12), který je situován v širokém středním pruhu. Pylon je tvořen dvěma sklo-

Obr. 9 Lávka I-5, podélný řez ■ Fig. 9 I-5 Bridge, elevation

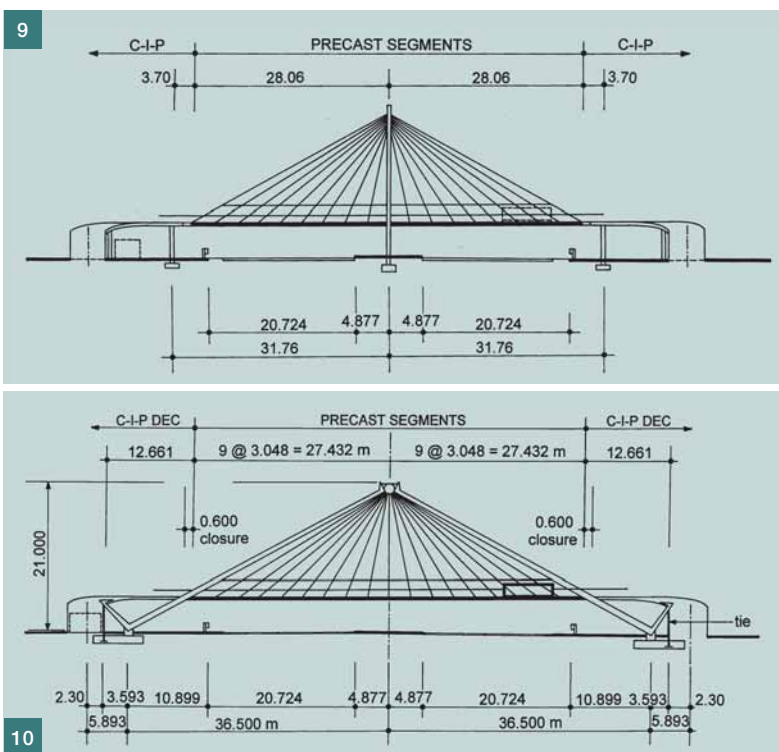
Obr. 10 Lávka I-5, alternativa, podélný řez ■ Fig. 10 I-5 Bridge, alternative, elevation

Obr. 11 Lávka I-5, pylon, a) příčný řez, b) podélný řez ■ Fig. 11 I-5 Bridge, pylon, a) cross section, b) elevation

Obr. 12 Lávka I-5, pylon ■ Fig. 12 I-5 Bridge, pylon

Obr. 13 Lávka I-5, pylon a závěsy ■ Fig. 13 I-5 Bridge, pylon and stays

Obr. 14 Lávka I-5, kotvení závěrů ■ Fig. 14 I-5 Bridge, stays anchoring



nými stojkami trojúhelníkového průřezu ve vrcholu vzájemně spojenými ocelovým příčnicí, který byl po smontování konstrukce obetonován (obr. 13).

Závěsy, které mají semi-radiální uspořádání, jsou kotveny v mostovce ve spárách mezi segmenty po 3,048 m, v pylonu, v ocelovém příčnicí, po 0,147 m. Jsou tvořeny hladkými tyčemi průměru 25,4 mm. V pylonu jsou tyče zašroubovány do silné ocelové pásnice, v které byly vyvrtány závit (obr. 14). Pro redukci místních ohybových momentů, které vznikají v tyčích v místě jejich kotvení, byl před vybetonováním příčnicí na tyče navlečen neoprenový prstenec zajišťující jejich pružné podepření.

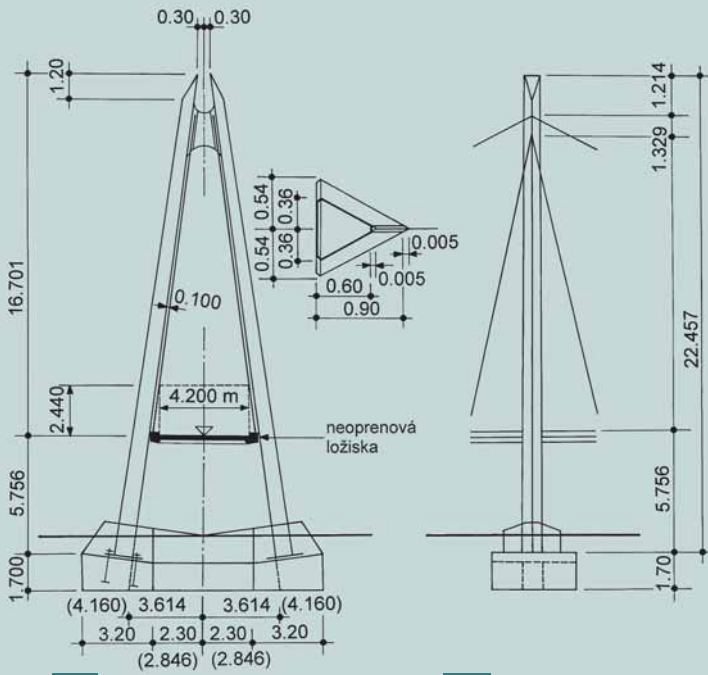
Mostovka je i u pylonu zavěšena. Vo-

dorovné účinky jsou z mostovky přeneseny do pylonu svislými neoprenovými ložisky vloženými mezi stojky a segmenty. Stojky jsou pod segmenty navíc spojeny dvěma předpínacími tyčemi, jejichž předpětí garantuje minimální přítlak na ložiska. Tímto způsobem byl vytvořen poddajný příčný rám bezpečně přenášející zatížení větrem a zemětřesením.

Betonový pylon byl vybetonován ve vodorovné poloze ve formě umístěné ve středním dálničním pruhu. Do projektové polohy byl osazen jeřábem (obr. 15). Před montáží pylonu byl v místě pylonu osazen montážní rám, který při montáži umožnil rektifikaci pylonu a uložení podporových segmentů.

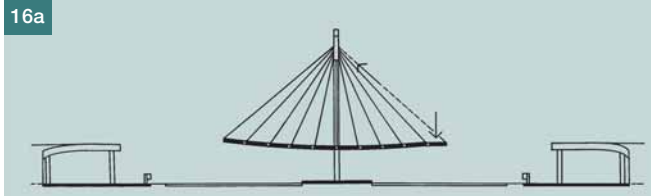
Mostovka byla montována letmo v kon-





11a

11b



16a

16b

16c



14



17

Obr. 15 Lávka I-5, montáž pylonu ■
Fig. 15 I-5 Bridge, pylon erection

Obr. 16 Lávka I-5, postup montáže:
a) montáž segmentů, b) uzavírací spára, c) betonáž a předepnutí mostovky ■

Fig. 16 I-5 Bridge, erection sequences:
a) segment erection, b) closure, c) deck casting and prestressing

Obr. 17 Lávka I-5, noční montáž segmentů ■

Fig. 17 I-5 Bridge, night segments' erection

Obr. 18 Lávka I-5, část smontované konstrukce ■

Fig. 18 I-5 Bridge, portion of the erected structure

Obr. 19 Lávka I-5, smontované segmenty a skruž navazujících ramp ■
Fig. 19 I-5 Bridge, erected segments and approach ramps' falsework



15



18



19

zolách od pylonů (obr. 16a, 17 a 18). Po smontování segmentů se osadila betonářská výztuž a předpínací kabely. Po výškové rektifikaci bylo osazeno bednění spojující pevnou skruž se segmenty (obr. 16b a 19). Následně byly vybetonovány spáry mezi segmenty a spřažená deska. Potom byla zavěšená pole předepnuta kabely vedenými ve spřažené desce a kotvenými v pracovní spáře prvních přímých polí ramp (obr. 16c). Po předepnutí střední části se postupně vybetonovaly železobetonové rampy.

Investor	ODOT, Oregon (Oregonské ředitelství silnic a dálnic),
Architektonický návrh, koncept řešení a kontrola projektu	firma Jiri Strasky, Consulting Engineer, Greenbrae, California
Projekt	firma OBEC Consulting Engineers, Eugene, Oregon
Zodpovědný projektant	Gary Raylor
Statická a dynamická analýza	Ing. Pavel Kaláb, Ph.D.
Dodavatel	firma Mowat Construction Company, Vancouver, Washington

Obr. 20 Lávka Delta Ponds, celkový pohled ■ Fig. 20 Delta Ponds bridge, aerial view

Obr. 21 Lávka Delta Ponds, podélný řez, a) most, b) hlavní most ■ Fig. 21 Delta Ponds bridge, elevation, a) bridge, b) main bridge

Obr. 22 Lávka Delta Ponds, pylon, studované alternativy ■ Fig. 22 Delta Ponds bridge, pylon, studied options

Obr. 23 Lávka Delta Ponds, pylon, a) příčný řez, b) podélný řez ■ Fig. 23 Delta Ponds bridge, pylon, a) cross section, b) elevation

Obr. 24 Lávka Delta Ponds, pylon a mostovka ■ Fig. 24 Delta Ponds bridge, pylon and deck

Obr. 25 Lávka Delta Ponds, pylon a závěsy ■ Fig. 25 Delta Ponds bridge, pylon and stays



20

LÁVKA PŘES KOMUNIKACI DELTA PONDS

Druhá lávka, která byla postavena přes rychlostní komunikaci Delta Ponds, spojuje obytné čtvrti s rekreační oblastí Delta Ponds (obr. 20).

Lávku celkové délky 231,648 m (obr. 21a) tvoří dva dilatační celky délky 98,298 a 133,35 m, které jsou vzájemně kloubově spojeny. Pole přemostující rychlostní komunikaci je sestaveno z prefabrikovaných segmentů a monolitické desky, které mají totožné uspořádání jako u lávky přes Freeway I-5 (obr. 3a). Všechna ostatní pole jsou tvořena plnou monolitickou deskou, která má stejný obvod jako hlavní pole (obr. 3b).

Hlavní přemostění tvoří zavěšená

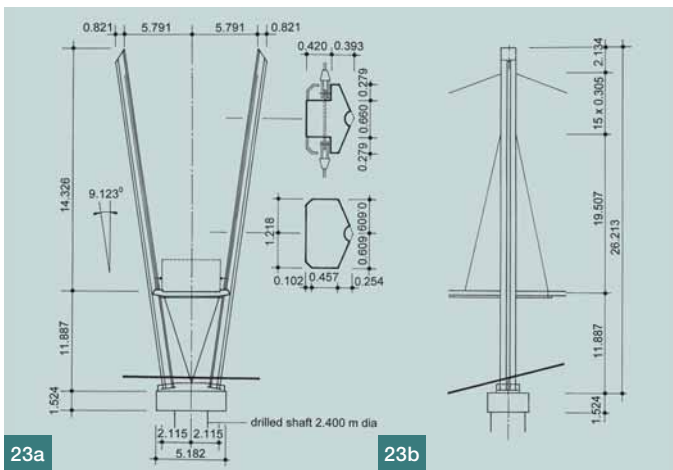
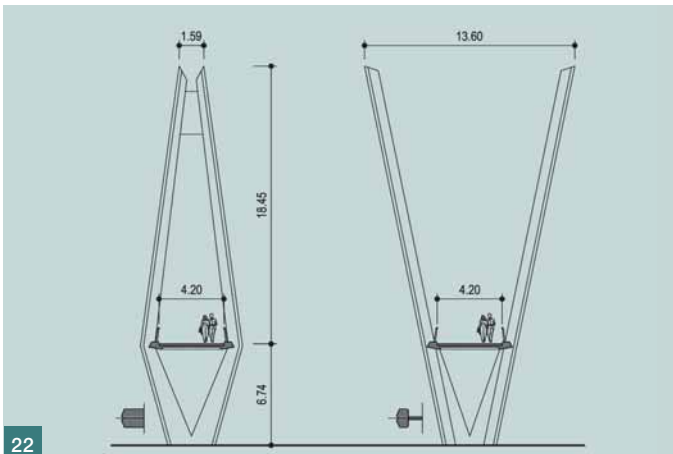
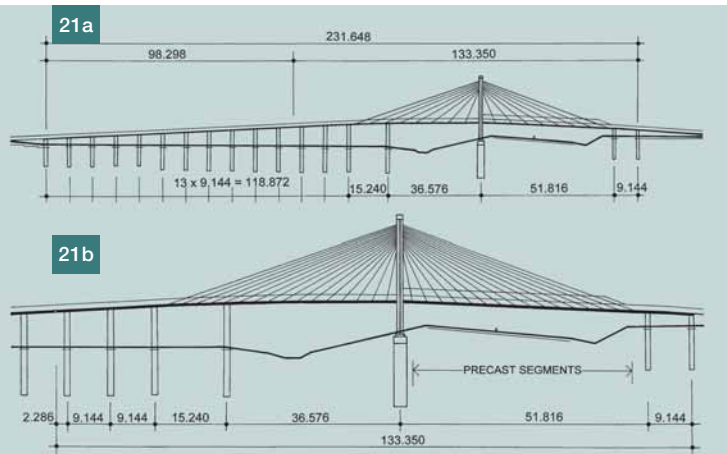
konstrukce o třech polích délek 15,24 + 36,58 + 51,82 m, na která navazují pole délek 9,144 m (obr. 21b). Z prefabrikovaných segmentů je navrženo jen hlavní pole přemostující komunikaci (obr. 5).

Lávka je zavěšena na pylonu, který je situován mezi komunikací a potokem vedeným podél násypu. S ohledem na šikmé křížení komunikace a polohu souběžné kanalizace bylo nutno navrhnout co nejmenší základ pylonu. Proto byly studovány konstrukce zavěšené na pylonu tvaru \diamond a písmene V (obr. 22). Obě konstrukce byly vizualizovány, předběžně posouzeny a byla určena jejich cena. Návrhy byly projednány s veřejností, která se – s ohledem na neobvyklý a současně atrak-

tivní tvar – rozhodla pro druhý tvar (obr. 23 a 24). Tato konstrukce byla také hospodárnější.

Pylon je tvořen dvěma skloněnými stojkami rámově spojenými s mostovkou, pod kterou jsou stojky ztuženy stěnovým diafragmatem tvaru písmene V. V horní části stojek byly osazeny ocelové přípravky, na které byly osazeny závěsy (obr. 25). Závěsy, které mají semi-radiální uspořádání, jsou v mostovce kotveny po 3,048 m, v pylonu po 0,305 m. Jsou tvořeny uzavřenými lany průměru 25,4 mm. Příčný sklon závěsů, který je rozdílný od sklonu stojek, vyplynul z požadavku minimálního ohybového namáhání (obr. 26).

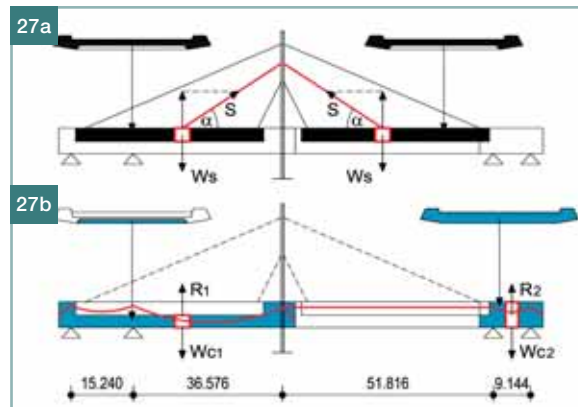
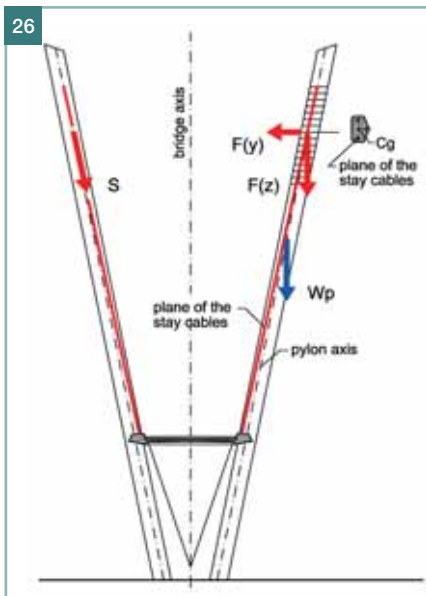
Zatímco přilehlý most má železobetonovou mostovku, hlavní most má mos-



točkovku z předpjatého betonu. Síly v závěsích a vedení a velikost předpětí byly navrženy tak, aby od zatížení stálého mostovka i pylon byly namáhány jen centrickým tlakem. Při tomto uspořádání dostáváme tvarově stálou konstrukci, u které nedochází k přerozdělení vnitřních sil od dotvarování betonu. Síly v závěsích v zavěšeném poli byly navrženy tak, aby jejich svislé složky vyrovnávaly tíhu vylehčené mostovky W_S , která je tvořena segmenty a mono-

litickou deskou (obr. 27a). Z požadavku, aby vodorovné složky sil v závěsích byly po obou stranách pylonu stejně velké, ale opačného znaménka, je zřejmé, že síly v závěsích v přilehlém poli nemohou vyrovnat tíhu plné mostovky. Rozdíl tíhy mezi plnou a vylehčenou mostovkou W_{C1} je vyrovnán radiálními silami R_1 od zakřivených kabelů (obr. 27b). V navazujících polích je zakřivení kabelů voleno tak, aby radiální síly R_2 vyrovnaly tíhu W_{C2} plné mostovky.

Pylon je sestaven ze dvou prefabrikovaných stojek. Před jejich montáží byl v místě pylonu osazen montážní rám, který při montáži umožnil rektifikaci stojek a přístup ke kotvení závěsů. Stojky byly montovány z dálnice v noci při vyloučení dvou jízdních pruhů. Při montáži byly stojky montážně připevněny k již vybetonované mostovce sousedního pole. Po jejich připojení k základu se dobetonovala podpůrná část mostovky a postupně se letmo



Obr. 26 Lávka Delta Ponds, návrh sklonu stojek a závěsů ■ Fig. 26 Delta Ponds bridge, design of the columns and stays inclination

Obr. 27 Lávka Delta Ponds, vyrovnání zatížení, a) síly v závěsích, b) předpětí ■ Fig. 27 Delta Ponds bridge, load balancing, a) stays forces, b) prestressing

smontovaly prefabrikované segmenty. Montáž byla provedena v noci s vyloučením jen dvou jízdních pruhů (obr. 28). Po dokončení montáže (obr. 29) byla osazena betonářská a předpínací výztuž, zavěšeno bednění uzavírající spáry a vybetonovány spáry a spřažená deska. Po předepnutí mostovky byly dobetonovány ztužující stěny pylonu a rektifikovány závěsy.

Most byl stavěn v rámci Obamových stimulačních projektů. O stavbě bylo rozhodnuto v březnu 2009, projekt byl zpracován v dubnu a stavba byla zahájena v červnu 2009. Lávka byla předána do užívání v září 2010.

Investor	město Eugene
Architektonický návrh, koncept řešení a kontrola projektu	firma Jiri Strasky, Consulting Engineer, Greenbrae, California
Projekt	firma OBEC Consulting Engineers, Eugene, Oregon
Zodpovědný projektant	Andy Howe
Statická a dynamická analýza	Ing. Radim Nečas, Ph.D., a Ing. Jan Kolářek, Ph.D.
Dodavatel	firma Mowat Construction Company, Vancouver, Washington

STATICKÁ A DYNAMICKÁ ANALÝZA

Obě lávky byly navrženy na základě podrobné statické a dynamické analýzy. Konstrukce, které byly modelovány prostorovými rámy (obr. 30 a 31), byly analyzovány programovým systémem ANSYS. Analýza zahrnuje postupnou montáž konstrukce, určení vnitřních sil od všech normových zatížení na definitivní konstrukci, určení vlastních tvarů konstrukce, posouzení konstrukce na účinky zemětřesení a analýzu konstrukce na dynamické zatížení vyvolané chodci. Dy-

Obr. 28 Lávka Delta Ponds, noční montáž segmentů ■

Fig. 28 Delta Ponds bridge, night segments' erection

Obr. 29 Lávka Delta Ponds, smontované segmenty ■

Fig. 29 Delta Ponds bridge, erected segments

Obr. 30 Lávka I-5, výpočtový model ■

Fig. 30 I-5 Bridge, calculation model

Obr. 31 Lávka Delta Ponds, výpočtový model ■

Fig. 31 Delta Ponds bridge, calculation model

Obr. 32 Zrychlení lávek, 13 – Lávka I-5, 14 – Lávka Delta Ponds ■

Fig. 32 Acceleration of pedestrian bridges, 13 – I-5 Bridge, 14 – Delta Ponds bridge

Obr. 33 Lávka Delta Ponds ■

Fig. 33 Delta Ponds bridge

Obr. 34 Lávka Delta Ponds ■

Fig. 34 Delta Ponds Bridge



28



29

namický výpočet uvažil „tension stiffening“ tažených prvků.

Při analýze byly nejdříve určeny vlastní tvary kmitání ($f_{(0)}$ první ohybová, svislé f_v a vodorovné $f_{(1)}$). Po určení vlastních frekvencí bylo vždy provedeno vybuze-
né kmitání postupem popsaným v [3].

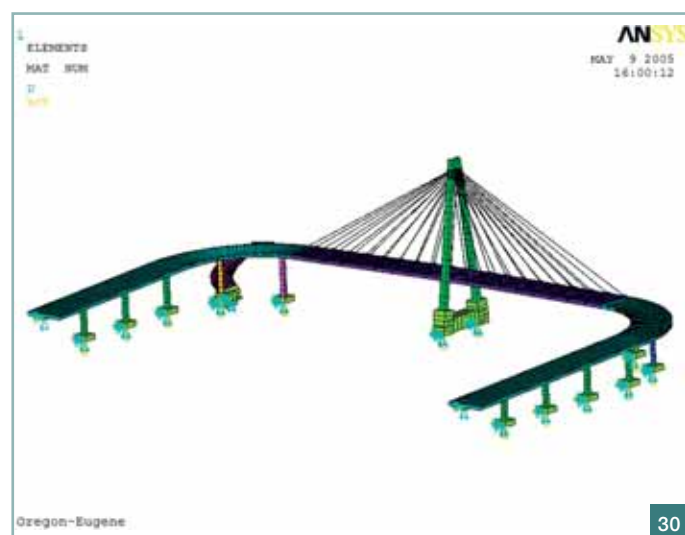
Maximální zrychlení konstrukce je spolu s řadou lehkých betonových konstrukcí uvedeno v obr. 32. Ačkoliv jsou obě konstrukce mimořádně štíhlé, jsou velmi tuhé a uživatelé lávek nemají nepříjemný pocit vyvolaný kmitáním konstrukce od pohybu lidí a větru.

ZÁVĚR

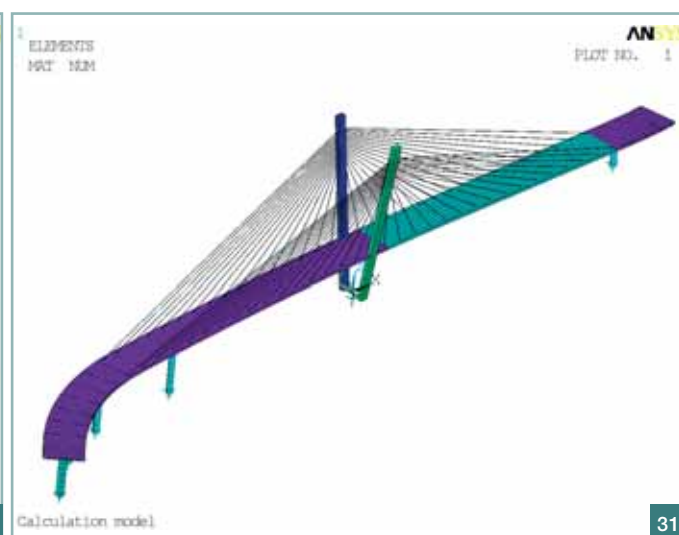
Lávky byly postaveny za cenu tradičních nosníkových konstrukcí. Protože realizace lávky přes komunikaci Delta Ponds probíhala v době krize, byla cena výrazně nižší, než byl připravený rozpočet. To umožnilo městu u vstupu na lávku situovat umělecké dílo a doplnit slavnostní osvětlení.

Realizace i dosavadní provoz lávek potvrdily správnost statických a dynamických výpočtů a ověřily detail spojení segmentů.

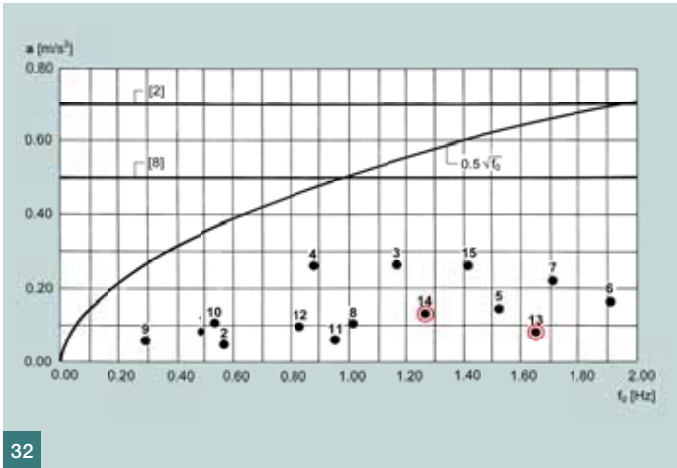
Obě lávky byly příznivě přijaty jak laic-



30



31



32



33

kou, tak i odbornou veřejností a jsou hojně využívány (obr. 33, 34).

V letech 2010 a 2012 získaly projekty obou lávek od PCA (Portland Cement Association) **Award of Excellence**. Porota ocenila zejména inovativní konstrukční detaily, rychlost montáže a štíhlost a tvarování mostovky a pylonů. Lávka přes komunikaci Delta Ponds získala v roce 2011 **Environmental Excellence Award** od Federal Highway Administration (Ministerstva dopravy USA).

Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.
Fakulta stavební VUT v Brně
& Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
Brno



Ing. Radim Nečas, Ph.D.
Ing. Jan Kolářček, Ph.D.



oba: Fakulta stavební VUT v Brně



Ing. Pavel Kaláb, Ph.D.
Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
Brno

Literatura:

- [1] *Rayor G., Strasky J.*: Design and construction of Rogue River (Grants Pass) Pedestrian Bridge, Western Bridge Engineers' Seminar, Sacramento, California, September 2001
- [2] *Strasky J., Rayor G.*: Stress-Ribbon Pedestrian Bridges Supported or Suspended on Arches, International Bridge Conference, Pittsburgh 2007
- [3] *Stráský J., Nečas R., Kolářček J.*: Dynamická odezva betonových lávek, Beton TKS 4/2009, str. 80–87, ISSN 1213-3116



34a



34c



34b



34d