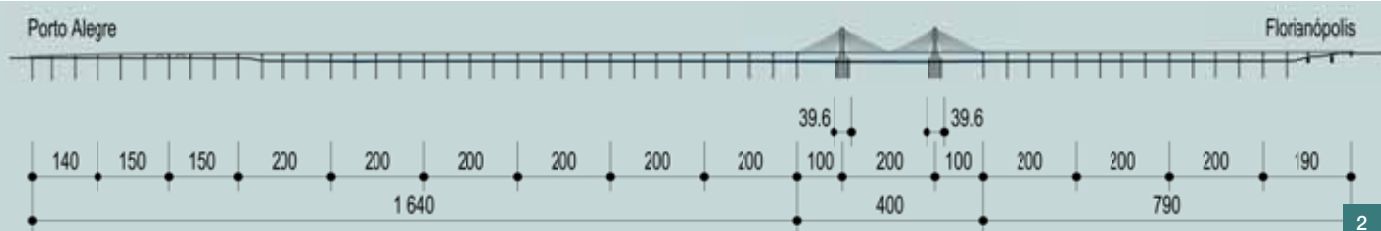


MOST ANITA GARIBALDI V BRAZÍLIÍ

ANITA GARIBALDI BRIDGE IN BRAZIL



1



2

**Richard Novák, Petr Kocourek,
Leonard Šopík, Jiří Stráský**

Most celkové délky 2,8 km je tvořen hlavním zavěšeným mostem a přístupovými viadukty. Zavěšený most má tři pole s rozpětími 100 + 200 + 100 m; rozpětí typického pole viaduktu je 50 m. Mostovka je sestavena z prefabrikovaných, kontaktně betonovaných segmentů s dodatečně betonovanými konzolami podepíranými prefabrikovanými vzpěrami. Mostovka zavěšeného mostu, která je v ose mostu zavěšena na dvou 65 m vysokých pylonech, byla montována letmo v symetrických konzolách, přístupové viadukty byly montovány po polích s využitím horní výsuvné skruže. ■ The bridge of a total length of 2.8 km is formed by a main cable-stayed bridge and approach viaducts. The cable stayed bridge has three spans of lengths of 100 + 200 + 100 m; a typical span length of the approach viaducts is 50 m. The deck is assembled of precast match-cast segments and additionally cast overhangs supported by precast struts. The deck of the cable-stayed bridge which is suspended in the bridge axis on two 65 m tall pylons was erected in balanced cantilevers; the approach spans were erected span-by-span, using overhead movable scaffolding.

V minulých letech procházela Brazílie obdobím bouřlivého rozvoje, při kterém byla modernizována dopravní infrastruktura. Most přes kanál Laranjeiras u města Laguna je situován na silnici BR 101, která je hlavní komunikací v severojižním směru podél východní-

ho pobřeží. Tato komunikace byla původně postavena jako dvoupruhá, nyní je rozšiřována na čtyřpruh. Součástí komunikace je i most Anita Garibaldi [1], (obr. 1), který byl s ohledem na velikost soutěžen jako samostatný objekt.

Most se nachází v těsné blízkosti oceánu v subtropickém pásu s výjimečným výskytem mrazu, avšak v oblasti se silnými nárazy větru, kterým tvoří překážku železniční trať a mořský záliv.

ARCHITEKTONICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Most celkové délky 2,8 km je tvořen hlavním zavěšeným mostem délky 400 m a severním a jižním přístupovým viaduktem délek 1 640 a 790 m (obr. 2).

Trasa převáděné komunikace se nachází převážně v podélném sklonu 0,127 % s výjimkou prvních polí, kde stoupá z terénu ve sklonu až 3 %. Osa komunikace je v severním viaduktu přímá, před zavěšenými poli přechází do půdorysného oblouku s poloměrem 2 000 m. Příčný sklon je jednostranný 2 %.

Mostovka

Mostovku hlavního mostu i přístupových viaduktů tvoří komorový nosník s velmi vyloženými konzolami podepíranými příhradovými prefabrikovanými vzpěrami (obr. 3). Výška nosníku 3,2 m je po celé délce přemostění konstantní, šířka mos-

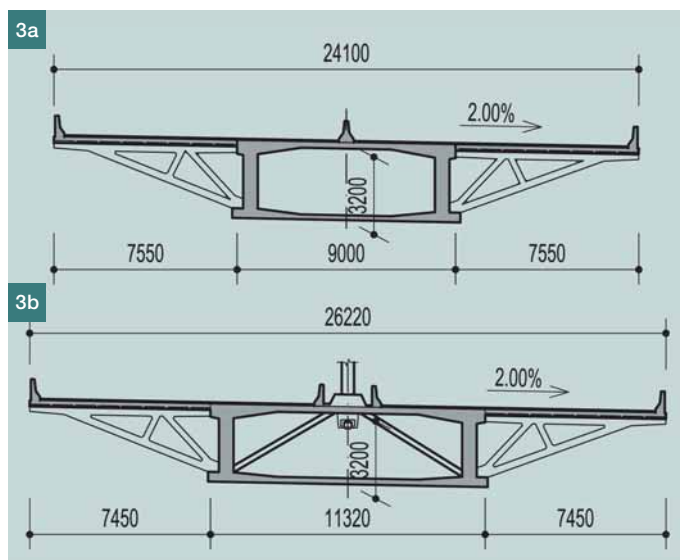
tu v zavěšené části je 26,22 m, v přístupových viaduktech 24,1 m. Přejech je proveden ve dvou polích.

Mostovka byla sestavována postupně. Nejdříve se smontoval základní komorový nosník (obr. 4a a 5), následně se osadily a předpínací tyčemi Dywidag přípnuly prefabrikované vzpěry (obr. 4b a 6) a na ně se uložily 110 mm vysoké prefabrikované deskové panely (obr. 4c a 7). Po osazení betonářské a předpínací výztuže se vybetonovala a předeplula mostovková deska (obr. 4d a 8). Příčné předpětí je vnášeno dvojicemi kabelů tvořenými sedmi lany průměru 15,2 mm, které byly situovány po obou stranách prefabrikovaných vzpěr. U zavěšeného mostu bylo možné montovat segmenty s již osazenými prefabrikovanými vzpěrami.

Hlavní zavěšený most

Zavěšený most celkové délky 400 m má tři pole délek 100 + 200 + 100 m (obr. 2). Dva štíhlé jednosloupové pylony komorového průřezu mají výšku 65 m. S ohledem na půdorysné zakřivení a velkou příčnou štíhlost jsou pylony příčně kotveny dvěma dvojicemi kabelů kotvenými v podporových příčnicích (obr. 9a,b).

Páteří komorový nosník je po první závěs monolitický, dále je (mimo uzavírací spáry délek 2 a 3,3 m) sestaven z prefabrikovaných segmentů délek 3,3 m. V místě kotvení závěsů jsou



Obr. 1 Most Anita Garibaldi ■
Fig. 1 Anita Garibaldi bridge

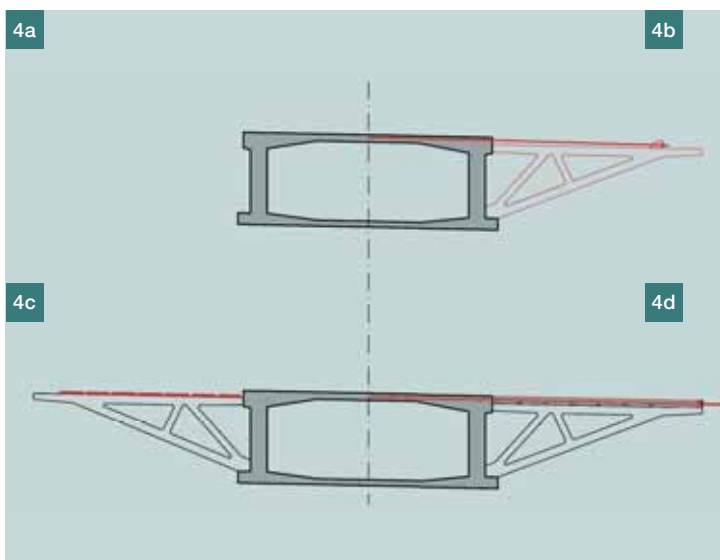
Obr. 2 Podélný řez mostem
■ Fig. 2 Bridge elevation

Obr. 3 Příčný řez mostovkou: a) přístupové viadukty b) zavěšený most ■ Fig. 3 Deck cross section: a) approach viaducts, b) cable-stayed bridge

segmenty ztuženy předpjatými stěnami přenášejícími zatížení ze závěsů do dolních rohů komorového nosníku (obr. 3b). V podélném směru je konstrukce předepnuta kabely tvořenými 19 lany průměru 15,2 mm, stěny jsou předepnuty předpínacími tyčemi Dywidag průměru 32 mm.

Obr. 4 Postupná výstavba mostovky: a) prefabrikovaný segment, b) vnější prefabrikované vzpěry, c) prefabrikované deskové panely, d) monolitická deska ■ Fig. 4 Progressive erection of the deck: a) precast segment, b) outer precast struts, c) precast slab panels, d) cast-in-place slab
Obr. 5 Montáž segmentu
■ Fig. 5 Segment erection

Pylony mají komorový průřez šířky 2 m a proměnné výšky 6 až 9 m. Tloušťka podélných stěn je konstantní 0,5 m, tloušťka příčných stěn je proměnná od 1 do 2,5 m. S nosnou konstrukcí jsou pylony rámově spojeny. Příčné stěny komorového průřezu přímo navazují na příčnice mostovky, kte-



Obr. 6 Vnější prefabrikované vzpěry ■
Fig. 6 Outer precast struts

Obr. 7 Montáž prefabrikovaných deskových panelů ■ Fig. 7 Erection of precast slab panels

Obr. 8 Výztuž monolitické desky ■
Fig. 8 Reinforcement of the cast-in-place slab

ré pod mostovkou přechází do stěnových podpěr tloušťky 1,3 m. Stěny jsou vetknuty do základové patky podepřené pilotami průměru 2,5 m.

Krajní pilíře jsou tvořeny dvojicí kruhových stojek o průměru 2,5 m, které jsou v horní části spojeny hlavicí sloužící jako úložný práh navazujících polí



a současně jako koncový příčník mostovky.

Závěsy, které jsou situovány v podélné ose mostu, mají semiharfově uspořádání (obr. 9b,c). V každém pylonu je kotveno 2x 13 závěsů prostřednictvím pasivních kotev. Aktivní kotvy jsou situovány v nosné konstrukci po 6,6 m.

Závěsy jsou tvořeny 50 až 72 paralelními lany průměru 15,7 mm, které jsou vedeny v HDPE trubkách žluté barvy. Každé lano má trojnásobnou protikorozní ochranu – galvanizování, vosk a PE obal. Ocelové trubky, kterými prochází závěsy v mostovce, jsou navrženy tak, aby umožnily dodatečné osazení tlumičů kmitání. Do výšky 2,5 m nad vozovkou jsou lana chráněna ocelovou trubkou.

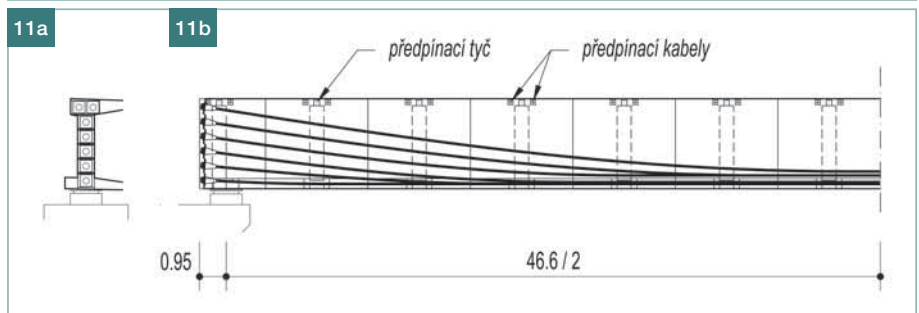
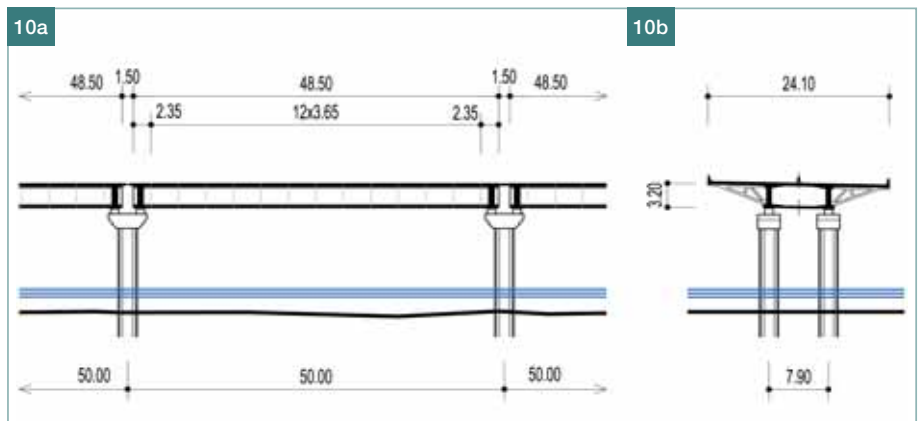
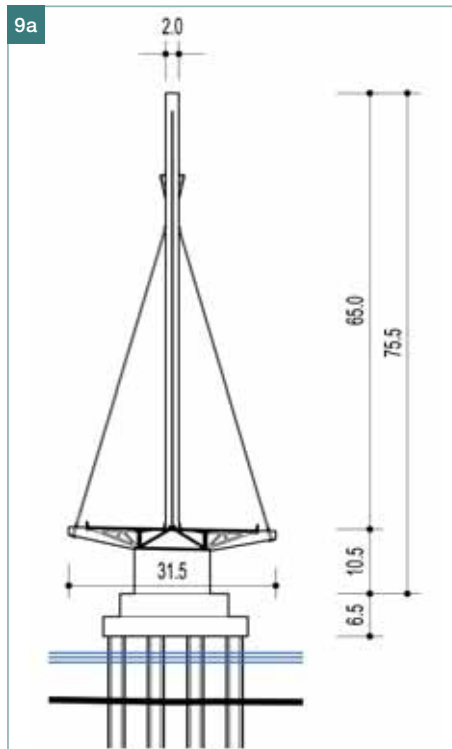
Přístupové viadukty

Severní přístupový viadukt délky 1 640 m má 33 polí. První pole má délku 40 m, všechna ostatní pole mají délku 50 m. Prvních deset polí se nachází na pevném terénu, zbývající část je vedena nad vodou. Jižní přístupový viadukt délky 790 m má 16 polí. Pole u opěry má délku 40 m, všechna ostatní pole mají délku 50 m. Výška pilířů je od 2 do 16 m.

Typické pilíře jsou tvořeny dvojicemi kruhových stojek o průměru 2,5 m, které jsou ukončeny hlavicí sloužící jako úložný práh. Stojky i hrncová ložiska jsou situované pod stěnami komorového nosníku v příčné vzdálenosti 7,9 m. Stojky přímo navazují na vrtané piloty stejného průměru. V místě šikmého křížení mostu se železnicí jsou stojky situovány vně železnice v příčné vzdálenosti 16,25 m a jsou vzájemně spojeny úložným prahem, který podporuje ložiska situovaná pod stěnami komorového nosníku.

Viadukty jsou tvořeny soustavou prostých nosníků propojených monolitickou deskou mostovky do tří- až čtyřpolových dilatačních celků (obr. 10). Délka nosníků v typických polích je 48,5 m, jejich rozpětí je 46,6 m. Pátevní komorový nosník je sestaven z prefabrikovaných, kontaktně vyráběných segmentů. Délka typických segmentů je 3,65 m a délka podporových segmentů je 2,35 m. Nosníky jsou předepnuty 2x 7 soudržnými kabely tvořenými 27 lany průměru 15,2 mm (obr. 11). Kabely jsou vedeny ve stěnách nosníku tloušťky 600 mm.

Mostovka je uložena prostřednictvím hrncových ložisek na monolitických hlavicích pilířů. Každá podpěra je tvořena dvojicí pilířů kruhového průřezu



Obr. 9 a) Příčný řez pylonem, b,c) pylon a závěsy ■ Fig. 9 a) Pylon elevation, b,c) pylon and stays

Obr. 10 Přístupový viadukt – typické pole:
a) podélný řez, b) příčný řez
■ Fig. 10 Approach viaduct – typical span:
a) elevation, b) cross section

Obr. 11 Předpínací kabely: a) pohled na kotvy, b) podélný řez
■ Fig. 11 Prestressing cables: a) view on anchors, b) elevation

Obr. 12 Souběžná stavba zavěšeného mostu a viaduktů ■ Fig. 12 Simultaneous construction of the cable stayed bridge and the viaducts

Obr. 13 Montáž segmentu ■
Fig. 13 Segment erection

Obr. 14 Postupná stavba zavěšených polí
■ Fig. 14 Progressive erection of the suspended spans

Obr. 15 Uzavírací spára před výškovou rektifikací ■ Fig. 15 Closure joint before vertical adjustment

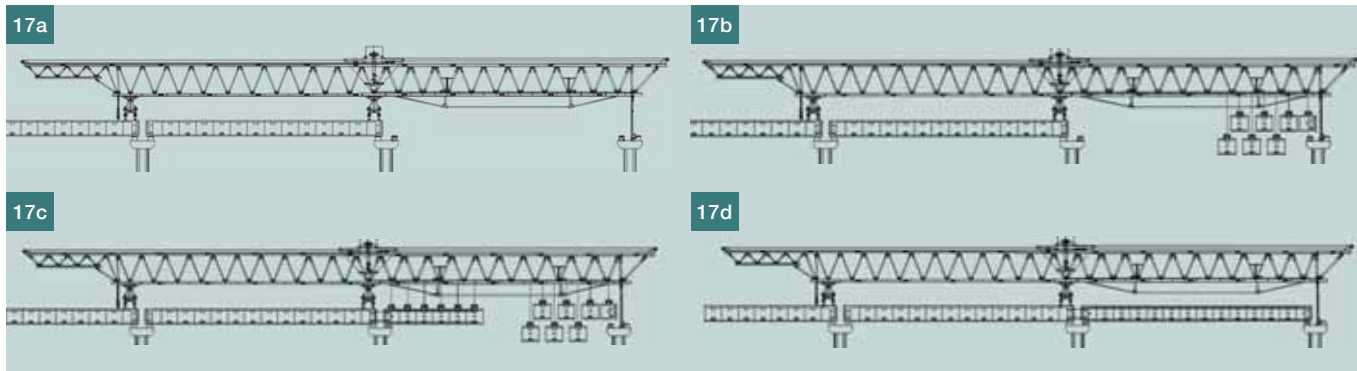
Obr. 16 Postupná betonáž segmentů ■
Fig. 16 Progressive casting of segments

situovaných pod oběma stěnami komory. Hlavice umožňuje uložení nosné konstrukce z obou sousedních polí. Pilíře jsou průměru 2,5 m a ve spodní části plynule přecházejí do železobetonové vrtané piloty stejného průměru. Opěry mají nízký úložný práh přímo založený na dvojici pilot průměru 2,5 m. Závěrné zídky, křídla a přechodové desky mají standardní uspořádání.

Vybavení mostu

Vozovka je asfaltová dvouvrstvá o celkové tloušťce 70 mm. Betonová svodidla tvaru New Jersey jsou monoliticky spojená s nosnou konstrukcí. Středové svodidlo je oboustranné, na mostě nejsou revizní chodníky. Most je odvodněn po 2 m PVC trubkami, které odvádí vodu volným pádem pod most. Všechna ložiska jsou hrncová. Mostní závěry jsou kobercového typu.





VÝSTAVBA MOSTU

Výstavba hlavního zavěšeného mostu i přístupových viaduktů probíhala současně (obr. 12).

Hlavní zavěšený most

Současně s výstavbou spodní stavby byly postupně betonovány segmenty metodou dlouhé dráhy.

Po provedení pilot, základových patek pylonu a stěnových podpěr byly na pevné skruži postupně vybetonovány 39,6 m dlouhé zárodky a do překládaného bednění byly po úsecích dél-

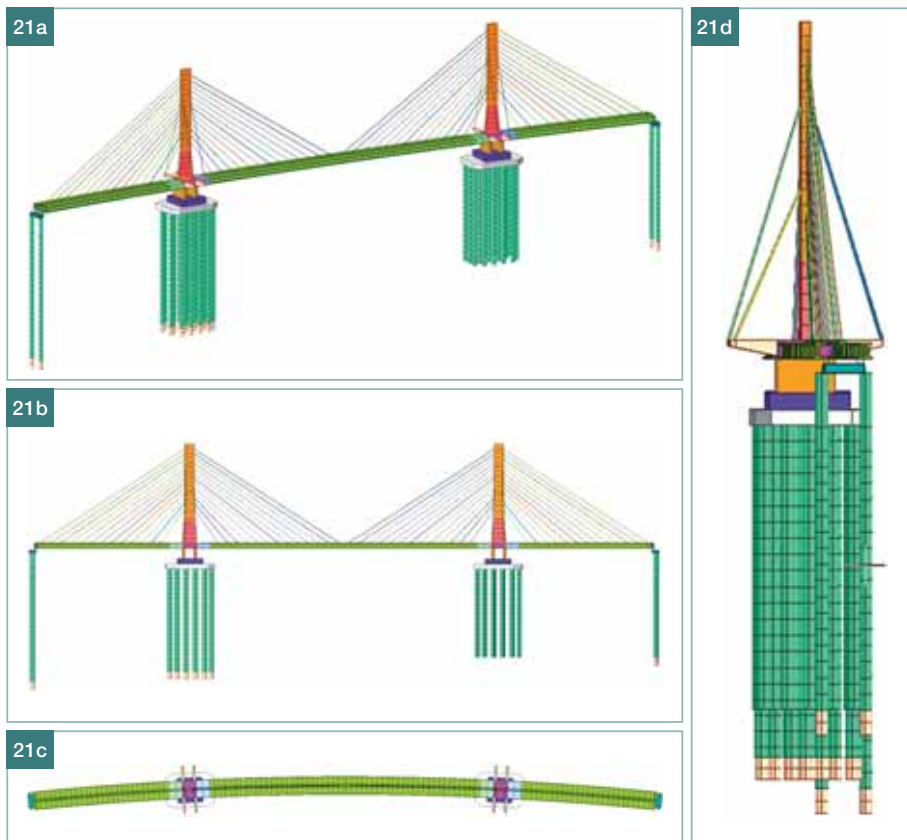
ky 2,95 až 3,6 m betonovány pylony. Jakmile byly osazeny kotvy prvních závěsů, byla zahájena symetrická montáž segmentů tvořících páteřní komorový nosník. Segmenty byly montovány spolu s již osazenými prefabrikovanými vzpěrami.

Segmenty byly na soulodích dopraveny pod montované konzoly, na kterých byly situovány zdvihací zařízení (obr. 13). Po vyzdvžení segmentu do projektované polohy byl nanesen epoxidový tmel a segment byl připnut k již smontované konstrukci. Po vytvrzení tmelu byla kon-

strukce předepnuta definitivními kabely a symetricky k ose pylonu byly napnuty závěsy. Segmenty byly montovány ve dvoudenním pracovním cyklu (obr. 14).

Před vybetonováním a předepnutím střední uzavírací spáry (obr. 15) byly montované konzoly výškově a směrově rektifikovány a síly v závěsech byly upraveny. Prefabrikované deskové panely se osazovaly směrem od pylonů. Po vybetonování vnějších konzol a jejich příčném předepnutí bylo upraveno napětí v závěsech a byly provedeny dokončovací práce.





Obr. 17 Montáž typického pole: a) přesun skruže, b) montáž segmentů, c) montážní sepnutí segmentů, d) předepnutí montovaného pole ■ Fig. 17 Erection of a typical span: a) moving of the scaffolding, b) segments' erection, c) segments' erection post-tensioning, d) prestressing of the erected span

Obr. 18 Montáž segmentů

■ Fig. 18 Segments' erection

Obr. 19 Montážní sepnutí segmentů ■

Fig. 19 Segments' erection post-tensioning

Obr. 20 Postupná výstavba viaduktů

■ Fig. 20 Progressive construction of the viaducts'

Obr. 21 Výpočtový model: a) axonometrický pohled, b) podélný pohled, c) půdorys,

d) příčný pohled ■ Fig. 21 Calculation model: a) axonometric view, b) elevation,

c) plan, d) transverse elevation

Obr. 22 První vlastní tvary

a frekvence: a) svislý ($f_v = 0,582$ Hz),

b) příčný ($f_H = 0,620$ Hz), c) torzní

($f_T = 1,650$ Hz) ■ Fig. 22 First natural

modes and frequencies: a) vertical

($f_v = 0.582$ Hz), b) transverse ($f_H = 0.620$ Hz),

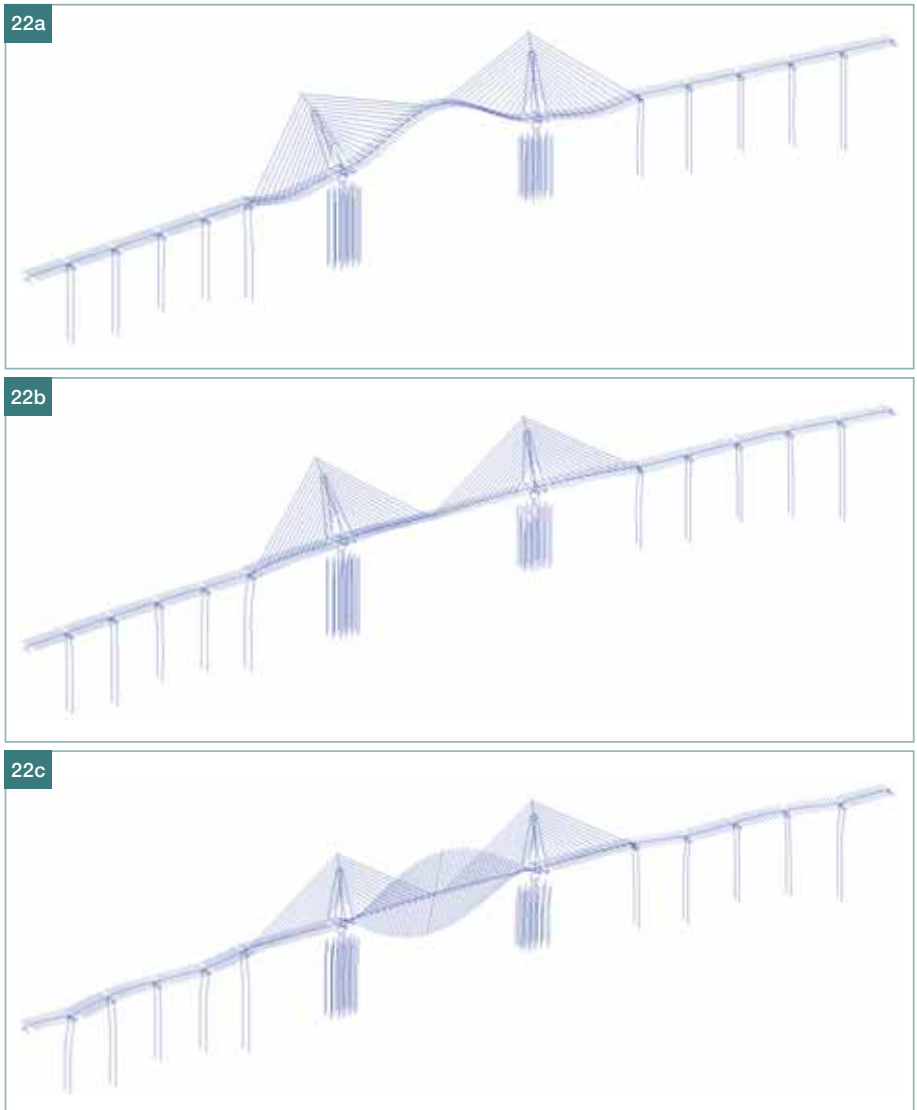
c) torsional ($f_T = 1.650$ Hz)

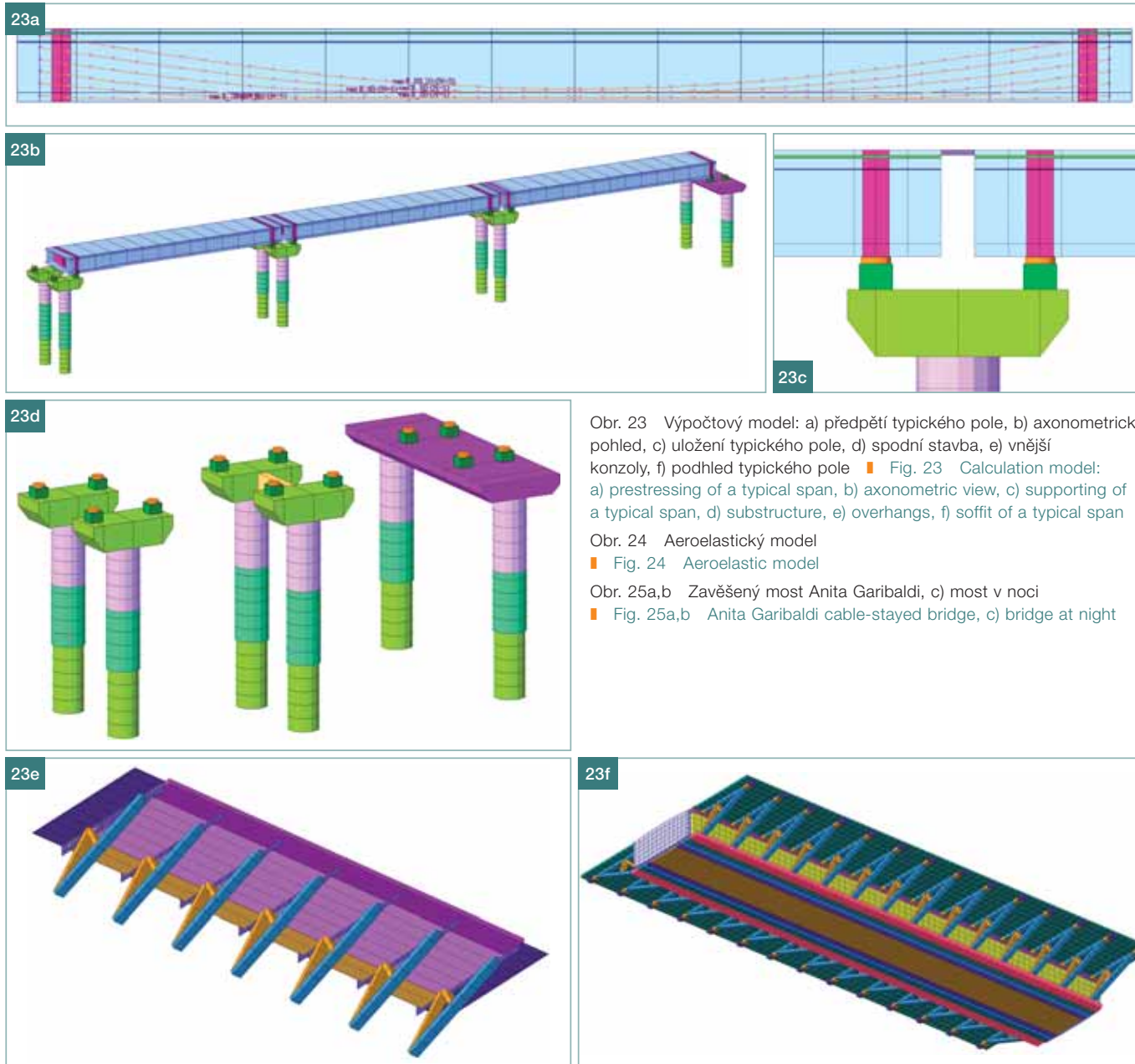
Přístupové viadukty

Segmenty přístupových polí byly postupně betonovány ve formě, jejíž délka odpovídala délce pole (obr. 16), a následně byly po polích montovány ve směru od krajních opěr k hlavnímu zavěšenému mostu. Segmenty byly postupně zavěšeny na horní výsuvnou skruž s takzvaným organickým předpětím [2]. Příhradová konstrukce skruže o dvou polích byla v poli, na kterém byly zavěšeny segmenty, zesílena vnějšími kabely. Úpravou napětí v kabelech lze eliminovat deformace skruže.

Montáž typického pole začala nájzdem skruže do montovaného pole. Přední podpěra skruže se opřela o hlavici podpěry, střední a koncová podpěra byly uloženy na podporových segmentech dříve smontovaných polí (obr. 17a). Potom byly ze soulodí postupně vyzdviženy a zavěšeny všechny segmenty (obr. 17b a 18), následovalo postupné spínání segmentů montážním předpětím (obr. 17c a 19). Podporové segmenty byly podepřeny hydraulickými lisami a konstrukce byla předepnuta definitivními kabely. Následovalo podbetonování ložisek, uvolnění lisů, odepnutí závěsů a přesun skruže do dalšího pole (obr. 17d).

Po zainjektování kabelů byly smontovány vnější vzpěry (obr. 20), osazeny deskové panely a vybetonovány a následně předepnuty vnější konzoly.





Obr. 23 Výpočtový model: a) předpětí typického pole, b) axonometrický pohled, c) uložení typického pole, d) spodní stavba, e) vnější konzoly, f) podhled typického pole ■ Fig. 23 Calculation model: a) prestressing of a typical span, b) axonometric view, c) supporting of a typical span, d) substructure, e) overhangs, f) soffit of a typical span

Obr. 24 Aeroelastický model

■ Fig. 24 Aeroelastic model

Obr. 25a,b Zavěšený most Anita Garibaldi, c) most v noci

■ Fig. 25a,b Anita Garibaldi cable-stayed bridge, c) bridge at night

STATICKÁ A DYNAMICKÁ ANALÝZA

Předmětem kontroly projektu bylo posouzení působení konstrukce během stavby a za provozu. Bylo proto nutné provést nejen podrobnou statickou a dynamickou analýzu mostu pro návrhové zatížení, ale také posoudit všechny montážní stavy, posoudit všechny konstrukční prvky a provést kontrolu nadvýšení konstrukce. Pro analýzu konstrukce byl použit programový systém MIDAS Civil 2012, který umožňuje vystihnout postupnou výstavbu konstrukce i přerozdělení vnitřních sil vlivem objemových změn betonu. Detaily byly ověřeny metodou „strut and tie“.

Pro základní analýzu byl vytvořen prostorový prutový model jak hlavního zavěšeného mostu (obr. 21a až d), tak i přístupových viaduktů (obr. 23a až d).

Konstrukce byla modelována včetně spodní stavby a pilot, jejichž pružné vetknutí do podloží bylo vystiženo pružinami. Vysoká hladina napětí v závěsech umožnila lineární analýzu konstrukce a superpozici výsledků řešení.

Prostorové působení mostovky bylo ověřeno na výseku konstrukce sestavené z deskostěnových a prutových prvků (obr. 23e,f).

V rámci dynamické analýzy byly stanoveny frekvence vlastních tvarů kmitání nosné konstrukce (obr. 22a až c). Protože poměr prvních torzních a ohybových frekvencí je větší než 2,5, bylo zřejmé, že konstrukce je aerodynamicky stabilní. Pro vyšetření dynamické odezvy chování mostu byla rovněž stanovena kritická rychlost větru, při níž dojde k rozkmitání konstrukce. Výpočty prokázaly, že z hlediska dyna-



25a



25b



Literatura:

- [1] RIBERIO, C. F. The Octavio Frias de Oliveira and Anita Garibaldi cable-stayed bridges. In: *Proceedings of the International Conference on Multi-Span Large Bridges. 1-3 July 2015, Porto, Portugal*. Croydon: CRC Press, 2015.
- [2] PACHECO, P. New possibilities in bridge engineering – organic prestressing features. In: *Congresso Arrábida50*. Porto, Portugal, 2013.

mického chování je mostní konstrukce navržena bezpečně.

Z důvodu ověření chování konstrukce ve vzdušném proudění byly realizovány také zkoušky ve větrném tunelu. Byly zkoumány charakteristiky konstrukce na výseku mostovky, a to pro lamelární i turbulentní proudění v odklonech od vodorovné roviny od -10° do $+10^\circ$. Byl zhotoven i aeroelastický model celé zavěšené části (obr. 24), na

Investor	EMURB – Empresa Municipal de Urbanização SP
Projektant mostu	Enescil Engenharia de Projetos Ltda Antw Engenharia de Projetos Ltda Antranig Muradian Ltda
Projektant komunikace	Geométrica Engenharia de Projetos Ltda
Zkouška ve větrném tunelu	Prof. Joaquim Blessmann – LAC / UFRGS
Kontrola projektu	Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
Zhotovitel	Contrutora OAS Ltda
Výroba a instalace závěsů	Freyssinet CS, a. s.
Realizace	2012 až 2015

kterém bylo ověřeno chování a stabilita konstrukce v lamelárním i turbulentním proudění v různých směrových úhlech dopadu vůči ose mostu. Zkoušky byly provedeny na univerzitě v Porto Alegre.

ZÁVĚR

Most byl dokončen v roce 2015, kdy byl také předán do provozu (obr. 25a až c). V rámci kontroly projektu pracovníci firmy SHP několikrát navštívili

projektanta, zkoušku ve větrném tunelu i stavbu. Na stavbě byl kladen velký důraz na bezpečnost a na sociální péči o zaměstnance, výrazně menší důraz byl kladen na kontrolu kvality stavby z pohledu investora.

Ing. Richard Novák
Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
e-mail: r.novak@shp.eu



Ing. Petr Kocourek, Ph.D.
Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
e-mail: p.kocourek@shp.eu



Ing. Leonard Šopík, Ph.D.
Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
e-mail: l.sopik@shp.eu



prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.
Fakulta stavební VUT v Brně
& Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.
e-mail: j.strasky@shp.eu



25c

