

IABSE SYMPOSIUM SHANGHAI 2004 - NOVÉ MOSTY PŘES JANG-C'-ŤIANG

VLASTIMIL ŠRŮMA

IABSE SYMPÓZIUM V ŠANGHAJI

Každoroční sympóziium Mezinárodní asociace pro mosty a inženýrské konstrukce IABSE se konalo v roce 2004 od 22. do 24. září v čínské Šanghaji. Jeho motem bylo Životní prostředí a infrastruktura velkých měst, náplň přednášek se ale tradičně týkala především velkých inženýrských projektů – mostů, výškových a speciálních budov a konstrukčně-technologických problémů, z nichž řada měla s městským urbanismem spojitost méně než hypotetickou.

Předneseno bylo na dvě stě příspěvků, a to skutečně z celého světa (program sympózia lze najít na www.iabse.org). Domácí převahu ovšem měli čínští konstrukční inženýři, což zároveň zahraničním účastníkům poskytlo jedinečnou příležitost získat ucelenější představu o rozsahu, intenzitě a technické úrovni současné výstavby v nejlidnatější zemi světa.



Několik nejzajímavějších projektů ze Šanghaje a jeho okolí, které jsou vedle Hongkongu a Macaa výkladní skříň dyna-

60 m však až po ústí do Žlutého moře stále dělilo provincii na rychle se rozvíjející oblast Šanghaj-Suzhou-Wuxi-Changzhou na jihu a zaostávající přímořskou část severně od Jang-c'-ťiang s izolovanými městy Nantong a Dongtai. V 70. až 90. letech prudce vzrůstal provoz na Dlouhé řece až po dnešních 2 500 až 3 000 lodí, které projedou denně stavenišťem mostu Sutong. Velkokapacitních přívozů je již jedenáct, jsou však stále méně schopny uspokojit rostoucí dopravní nároky.

Od poloviny 80. let jsou zkoumány možnosti překonání Dlouhé řeky mezi Nankingem a Šanghají a pro budoucí mosty a tunely bylo vytipováno celkem dvanáct lokalit. Pro jejich výstavbu se však našly prostředky až o deset let později. Ve specifických čínských podmínkách trvalo rovněž určitou dobu, než tamní inženýři získali – při jen velmi postupném otevírání státu zahraničním expertům a firmám – vlastní zkušenosti s projektováním a výstavbou mostů takových rozměrů, aby si mohli na třetí nejdelší řeku světa na jejím dolním toku troufnout. Důležitými mezníky se v tomto směru staly zavěšený Yangpu most v Šanghaji (1993, hl. pole 602 m) a pionýrské visuté mosty Bay Bridge v Shantou (1995, 452 m) a Humen Bridge (Boca Tigris) u Kantonu (1997, 888 m). Výstavbu náročných a dlouhých přemostění dnes usnadňuje i fakt, že přehrada Tři soutěsky eliminuje kolísání průtoku na dolním toku řeky.

Masivní a dlouhodobý hospodářský růst Číny a překotný rozvoj oblasti mezi Šanghají a Nankingem umožnily konečně koncem 90. let i zcela mimořádnou kumulaci rozsáhlých a investičně nákladných dopravních projektů spojujících oba břehy největší čínské řeky (obr. 3). V současnosti jsou už mezi Nankingem a ústím řeky v provozu tři mosty, tři jsou ve výstavbě a sedmý most – přes samotné ústí řeky – je usilovně připravován (Tab. 1).

Sutong Bridge

Přemostění Sutong propojí města Suzhou a Changshu na jihu a Nantong na severu a stane se důležitou dopravní spojnici oblasti Šanghaje se severem provincie Jiangsu a severní Čínou. Most se nachází cca 110 km od ústí a cca 95 km od připravovaného Chongmingského mostu



Obr. 2 Dokončený Druhý nankingský most

Obr. 3 Poloha mostů přes Jang-c'-ťiang mezi Nankingem a Šanghají



mického rozvoje jihovýchodního pobřeží Číny, je náplní tohoto článku.

VELKÉ MOSTY NA DOLNÍM TOKU JANG-C'-ŤIANGU

Dolní tok řeky Jang-c'-ťiang (Chang Jiang, Yangtze River, Dlouhá řeka), který v délce téměř 450 km protíná lidnatou provincii Jiangsu, tvořil odnepaměti obtížnou přírodní překážku překonatelnou pouze přeplavením. Zprovoznění prvního nankingského mostu v roce 1969 znamenalo sice historický průlom v dopravních možnostech země, 400 km obrovitého toku šířky až 10 km a hloubky běžně přes

Poř. od ústí	Název	Typ	Hlavní pole	Provoz
1	Chongming bridge	(nerozhodnuto)	cca 2300m – visutý cca 1200m – zavěšený	(2008)
2	Sutong bridge	zavěšený	1088m	(2008)
3	Jiangyin bridge	visutý	1385m	1999
4	Runyang bridge	visutý	1490m	(2005)
5	2 nd Nanjing bridge	zavěšený	628m	2001
6	1 st Nanjing bridge	příhradový	128m	1969
7	3 rd Nanjing bridge	zavěšený	648m	(2007)

Tab. 1 Velké mosty na dolním toku Jang-c'-ťiangy

Poř.	Název mostu	Stát	Rozpětí hlavního pole [m]	Rok dokončení
1	Sutong bridge	Čína	1088	(2008)
2	Stonecutters bridge	Čína	1018	(2008)
3	Tatara bridge	Japonsko	890	1999
4	Normandy bridge	Francie	856	1995
5	3 rd Nanjing Yangtze river bridge	Čína	648	(2007)
6	2 nd Nanjing Yangtze river bridge	Čína	628	2001
7	Wuhan Baisha island bridge	Čína	618	2000
8	Qingzhou Minjiang bridge	Čína	605	2001
9	Shanghai Yangpu bridge	Čína	602	1993
10	Shanghai Xupu bridge	Čína	590	1997

Tab. 2 Světové zavěšené mosty s největším rozpětím

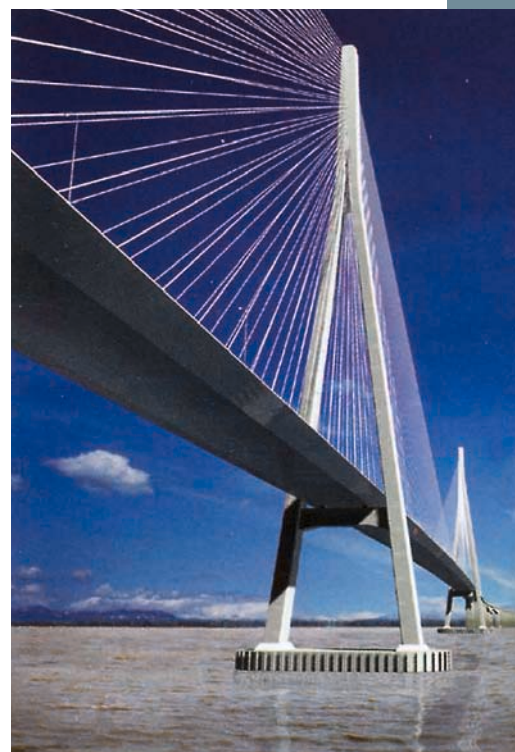
v Šanghaji. Po dokončení plánovaném na prosinec 2008 významně odlehčí Jiangyinskému mostu, který představuje zatím jediné pevné spojení obou břehů Jang-c'-ťiangy východně od Nankingu, a Runyangskému mostu, který má být v otevřen v závěru letošního roku.

Budovaný dálniční úsek je 32,4 km dlouhý, vlastní přemostění Sutong měří 8,2 km. Skládá se z hlavního, zavěšeného mostu přes řeku s nájezdovými rampami a z příjezdových estakád na obou březích. Mosty ponosou šestipruhovou dálnici šířky 34 m. Řeka je v místě mostu 6 km široká, dosahuje hloubky až 50 m. Hlubší než 20 m je v šířce přes 1000 m, polohu plavebního kanálu ale mění pohyblivé nánosy usazenin. Plavební průřez výšky 62 m má proto šířku téměř 900 m, aby

vyhovoval podmínkám plavby zaocéánských lodí o výtaku až 50 000 t. Přemostění se staví od června 2003, celkové náklady mají dosáhnout 6,45 mld. jüanů (CNY), tedy cca 18,3 mld. Kč. Na stavbě má být spotřebováno 2,85 mil. m³ betonu a 233 tis. t oceli, přemístěno bude 3,2 mil. m³ zeminy.

Sutongský most je velkolepé dílo, které se těší hned na několik světových rekordů (obr. 4). Rozpětí hlavního pole 1088 m překonává pole rovněž rozestavěného mostu Stonecutters v Hongkongu o 70 m a dnes rekordní most Tatara v Japonsku o téměř 200 m (viz Tab. 2).

Krajní zavěšené úseky mají délku 500 m a jsou vždy dvěma mezilehlými pilíři rozděleny na tři pole rozpětí 300 + 100 + 100 m (obr. 5). Výška pylonů

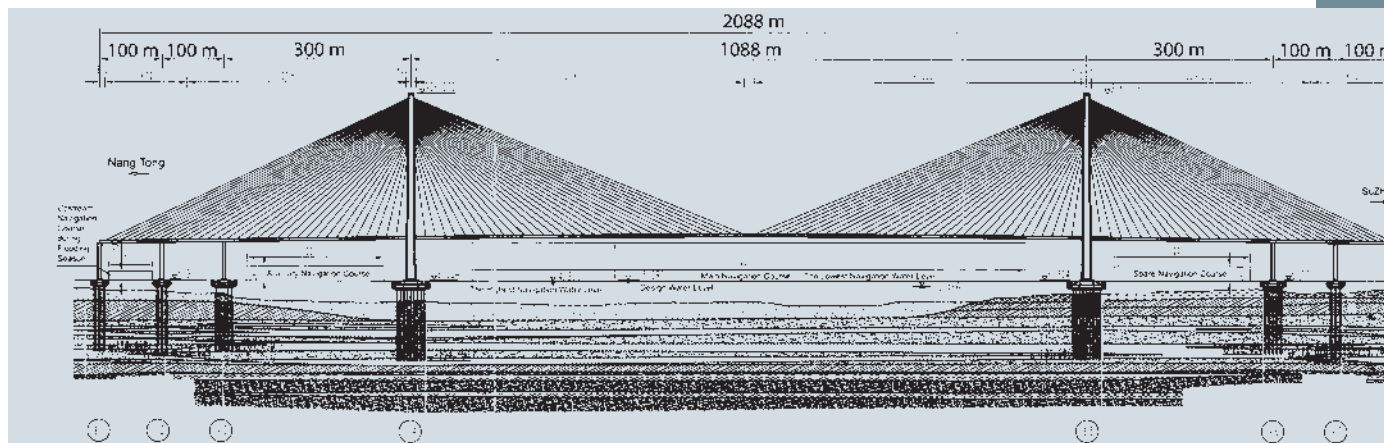


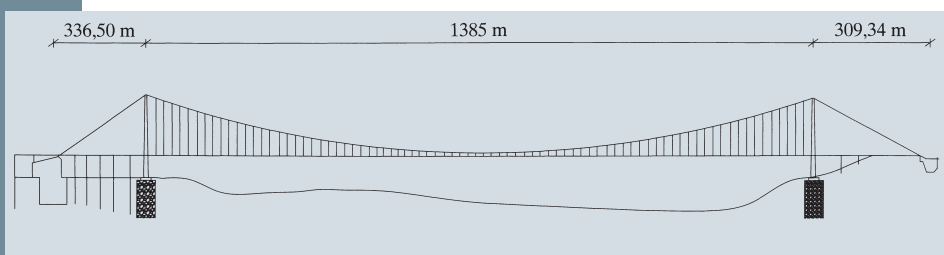
Obr. 4 Počítačová animace hotového mostu Sutong

306 m zaostává jen 37 m za rekordními 343 m nejvyššího pylonu viaduktu Millau ve Francii. Hlavně na severním břehu jsou velmi složité základové poměry, skalní podloží je až 280 m hluboko a kryjí ho mocné vrstvy plastických až tekutých jílovitopísčitých naplavenin, které jsou teprve od 60 m pod povrchem dostatečně tuhé.

Založení každého z pylonů je proto tvořeno skupinou 131 vrtaných pilot průměru 2,5 až 2,8 m a délky až 130 m. Základové bloky pylonů nad pilotovými rošty mají tvar příčně orientované osmičky

Obr. 5 Podélné schéma mostu Sutong





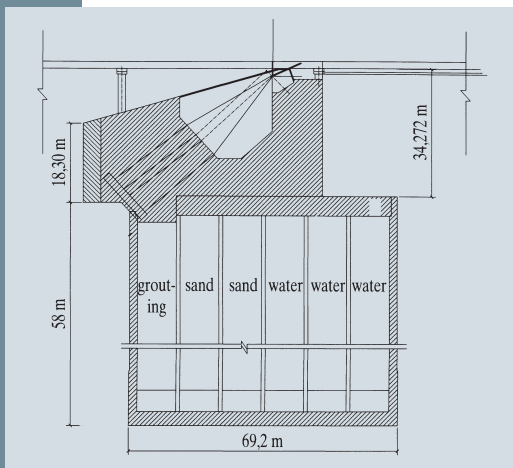
Obr. 6 Podélné schéma Jiyangyinského mostu

vnějších rozměrů 113,8 x 48,1 x 12,6 m. Pylony mají tvar obráceného písmene „Y“, jsou z předpjatého betonu a všechny jejich části jsou duté s tloušťkami stěn od 1 m ve vrcholové části až po 1,5 m v úsecích pod úrovní mostovky. Pylony obkračují mostovku svými stojkami rozměrů cca 7,5 x cca 13 m (po výšce proměnné) a mohutnou příčlí profilu 13



Obr. 7 Pohled na Jiyangyinský most

Obr. 8 Podélný řez severním kotevním blokem



x 8 m. Mostovka je ocelová komorová a má šířku 35 m. Zavěšena je ve dvou rovinách při svých okrajích. Rekordních je pravděpodobně i 580 m délky nejdelšího mostního závěsu.

Pro další informace viz www.stbridge.com.cn.

Jiangyin Bridge

Výstavba Jiyangyinského mostu [1], který je vzdálený cca 80 km od budovaného přemostění Sutong, začala v listopadu 1994, most byl otevřen pro provoz v září 1999. Přemostění spojuje Jiangyin na jihu s Jingjiangem na severu. Jiangyin Bridge, který je s rozpětím 1385 m (obr. 6) v současnosti rekordním čínským visutým mostem (v době dokončení 4. na světě) představuje stále ještě jediné pevné spojení obou břehů řeky pod Nankingem. Převádí svými šesti dopravními pruhy dálniční tah Šanghaj – Beijing (Peking) a dočasně (do otevření mostu Sutong) i provoz budované přibřežní dálnice Tongjiang – Sanya.

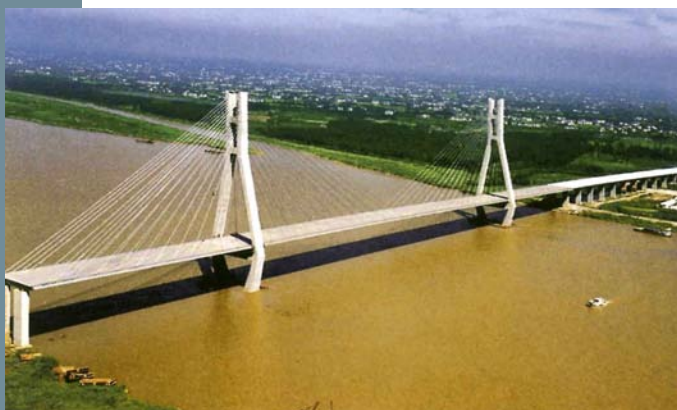
Most překračuje řeku ve vybraném místě její malé šířky (cca 1,5 km) ve

výšce 60 m nad hladinou. Pro svoje estetické kvality („opasek z jadeitu vznášející se nad řekou“) získal hned několik cen. Zatímco ocelová komorová mostovka hlavního pole a navazující komůrky bočních polí z předpjatého betonu jsou velmi subtilní (3,02 m), pylony a kotevní bloky jsou mohutné a robustní a vizuálně visu-

tu mostovku velmi odlehčují (obr. 7).

Specialitou bylo založení severních kotevních bloků (obr. 8). Vrstvy neúnosných a nestabilních písčitých naplavenin sahají až do hloubky 80 m. Na skalní podklad byl proto nejdříve osazen keson rozměru 69,5 x 69,5 m, výšky 58 m, byl částečně zaplaven a částečně vyplněn pískem a betonem. Kotevní bloky výšky 34,2 m byly potom betonovány po částech ve vazbě na montáž kabelů, aby bylo eliminováno nerovnoměrné sedání společného kesonu. Výsledné sednutí činilo 50 mm, z toho 90 % činilo sednutí během prvního roku, ještě před montáží mostovky.

Tvar ocelové komůrky mostovky byl optimalizován na základě zkoušek ve větrném tunelu Tongji University v Šanghaji. Komorový nosník má šířku 32,5 m a konzolami je následně rozšířen na výsledných 36,9 m. Mostovka byla montována z připravených sekcí speciálními jeřáby pojíždějícími po nosných lanech.



Obr. 10 Pohled na severní zavěšený Runyangský most

Obr. 9 Přehledná kresba Runyangského přemostění



Celkové náklady na výstavbu mostu činily cca 7,8 mld. Kč. Na stavbě bylo spotřebováno 453 tis. m³ betonu a 74,9 tis. t oceli.

Runyang Bridge

Přemostění je podobně jako přemostění Sutong součástí grandiózního čínského plánu výstavby základní dálniční sítě, kterou budou tvořit čtyři kapacitní trasy sever-jih a čtyři trasy západ-východ včetně čtyř nových přemostění Dlouhé řeky.

Přemostění Runyang leží na budované dálnici mezi Zhenjiangem na jihu a Yangzhou na severu, cca 100 km nad Jiangyinským mostem. Celková délka úseku je 35,6 km a tvoří ho severní nájezdová rampa, severní most, mimoúrovňová křižovatka na ostrově Shiye, jižní most a jižní nájezdová rampa, na kterou navazuje ještě příjezdová estakáda (obr. 9).

Jižní, visutý most překračuje hlavní koryto řeky a s délkou hlavního pole 1490 m se stane rekordním rozpětím v Číně (a třetím na světě). Kotevní bloky nosných kabelů mají rozměry 69 x 50 m s hloubkou založení 29 m u jižního a 48 m u severního bloku.

Severní most je zavěšenou konstrukcí s ocelovou komůrkovou mostovkou o rozpětí hlavního pole 406 m a 176 m u bočních polí (obr. 10). Přemostění ponese šestipruhovou dálnici ve výšce 50 m nad hladinou řeky, takže nebude překážet plavbě zaoceánských lodí do Nanjingu a Wuhanu.

Technický vývoj a zkoušky spjaté s touto mimořádnou stavbou se mj. týkaly:

- ochrany spodní stavby mostů před nárazy vysokotonážních lodí [2]
- speciálních zařízení a postupů pro montáž mostovky visutého jižního mostu (obr. 11),

Stavba začala v říjnu 2000 a má být ote-

vřena již letos, v září 2005. Náklady jsou odhadovány na cca 15,5 mld. Kč. Pro další informace viz www.rybridge.com.cn.

2nd Nanjing Bridge

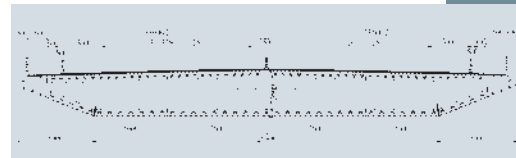
V březnu 2001, tedy téměř 32 let od otevření prvního, ocelového příhradového mostu v Nankingu bylo uvedeno do provozu 11 km po proudu nové přemostění Dlouhé řeky, které nese název Druhý nankingský most. Přemostění je 21,2 km dlouhé a křížuje řeku v místě velkého ostrova Baguazhou. Převádí v orientaci jih-sever šestipruhovou dálnici mezi východním okrajem Nankingu a městem Luhe na levém břehu řeky. Širší, jižní rameno řeky je překlenuto zavěšeným mostem délky 1238 m s rozpětím hlavního pole 628 m (v současnosti 3. místo na světě – obr. 2). Oba krajní zavěšené úseky hlavního mostu jsou rozděleny vloženým pilířem na pole 246,5 a 58,5 m.

Mostovku tvoří stejně jako v případech ostatních velkých mostů přes Jang-c'-ťiang ocelová komůrka nesená dvěma rovinami závěsů při svých krajích (obr. 12). U Druhého nankingského mostu má šířku 38,2 m a výšku 3,5 m (1/180 rozpětí).

Železobetonové pylony mostu jsou 195,4 m vysoké a mají opět tvar obráceného „Y“. V místě mostu je rameno řeky široké 1,2 km, voda má hloubku až 40 m a proudí rychlostí 3 m/s. Tloušťka nestabilních naplavenin je až 38 m. Hlubinné základy pylonů musejí přenést jak zatížení vnášené pylony, tak i síly od případných nárazů lodí v podélném (uvažována osamělá síla 27 000 kN) i příčném směru (síla 13 500 kN). Pro založení pylonů byla proto zvolena speciální integrovaná konstrukce, která do značné míry pohltí energii případných nárazů lodí a jen malou část tohoto namáhání (a deformace) předá hlubinnému základu vlastního pylonu. Sestává z masivní železobetonové



Obr. 11 Montáž mostovky visutého mostu Runyang

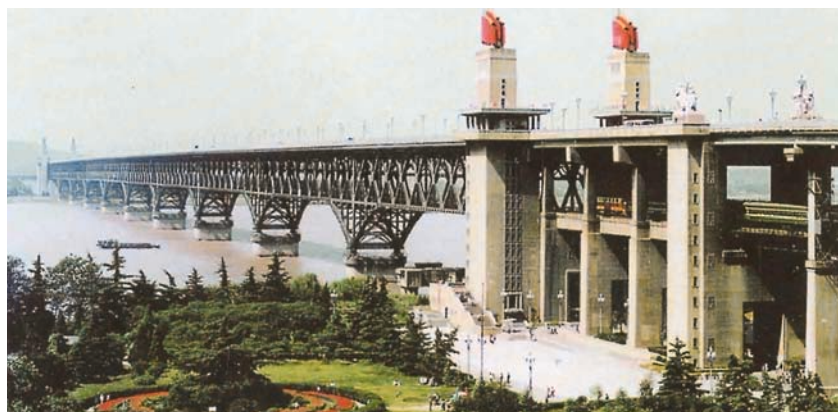


Obr. 12 Příčný řez ocelovou komůrkou Druhého nankingského mostu

vé jímky průměru 36 m a výšky 65,5 m, se stěnami tloušťky 8 m a s oběma povrchy opacněřovanými ocelovými plechy. Do 6 m tlustého dna této základové krabice je vetknuto 21 vrtaných pilot průměru 3 m dlouhých 83 až 102 m.

Vlastní pylony byly betonovány do posuvného bednění; jejich vizuálnímu ztvárnění byla věnována velká péče (obr. 2). Vodorovné deformace šikmých stojek pylonů od vlastní tíhy před jejich spojením byly rektifikovány rozpěrnou konstrukcí. Závěsy jsou kotveny protilehle v dutinách horní svislé části pylonu – v každé z obou polovin pylonu vždy dvojice pro jednu rovinu závěsů. Štěpící síly z kotvení závěsů v hlavách pylonů jsou eliminovány smyčkovými předpínacími kabely. V šanghajské Tongji University byly provedeny četné modelové zkoušky mostu, mj. právě full-size test namáhání zhlaví pylonů. V té souvislosti byly zkoumány vlastnosti několika typů tlumičů šikmých závěsů používaných ve světě s cílem najít pro nové nankingské mosty a most Sutong optimální řešení – viz [3].

Obr. 13 Pohled na Nankingský most



Druhý nankingský most byl stavěn tři a půl roku, od října 1997. Spolu s nájezdovými rampami přišla stavba hlavního zavěšeného mostu na 2,45 mld. Kč. Oproti plánu byla stavba zkrácena o sedm měsíců a údajně bylo ušetřeno 850 mil. Kč. Na stavbě bylo s potřebováno 10 750 m³ betonu, 23 000 t oceli a 2100 t pozinkovaných patentovaných drátů pro závěsy. Další podrobnosti viz [4].

Nanjing Bridge

Otevření dvoupatrového, smíšeného ocelového příhradového mostu s mohutnými náběhy v roce 1969 se stalo celočínskou událostí prvořadého významu. Po roztržce se Sovětským svazem v období Kulturní revoluce a odjezdu sovětských specialistů, kteří jeho výstavbu od roku



Obr. 14 Vizualizace Třetího nankingského mostu

1961 vedli, byl po osmi letech stavby dokončen vlastními silami „hrdinných čínských montérů a inženýrů“ (obr. 13).

Skutečností je, že se jednalo na dlouhých 30 let o jediné pevné spojení

obou břehů Jang-c'-tiangu na dolním toku (první most přes Dlouhou řeku byl do té doby až 1150 km od jejího ústí, ve Wuhanu). Význam mostu proto byl, a dodnes je, obrovský. „Starý“ nankingský most převádí jak hlavní železniční trať mezi jihovýchodem Číny a jejím severem směrem na Beijing, tak i dálniční komunikaci. Délka železničního přemostění činí 6,8 km, celková délka dálničního přemostění je 4,6 km. Vlastní most překonává řeku 9 poli s rozpětími vždy 128 m.

3rd Nanjing Bridge

Třetí nankingský most bude lokálně spojovat jižní okraj Nankingu na pravém břehu s provincií Anhui na levém břehu Dlouhé řeky. Leží zhruba 19 km nad legendárním (prvním) nankingským mostem z roku 1969. Nové přemostění se stane součástí jedné z „národních transversál“ – kapacitní dálnice, která má do roku 2010 spojit po rovnoběžce Šanghaj se sečuánskou metropolí Chengdu ležící u pat Tibetu.

Výstavba tohoto dálničního mostu začala v listopadu 2002 a dokončen by měl být za cca 8,8 mld. Kč v roce 2007. Dálniční úsek je celkem 15,6 km dlouhý, vlastní přemostění měří 4,7 km. Hlavní most je zavěšený a hlavní pole dosáhne 648 m. Mostovka je nesena závěsy ve dvou rovinách. Estetickému řešení pylónů byla opět věnována velká pozornost (obr. 14) Most zatím nebyl na mezinárodní úrovni blíže prezentován.

Obr. 15 Vizualizace Chongmingského přemostění Jižního kanálu Dlouhé řeky, zavěšená varianta



Literatura:

- [1] Zhou, S.: Construction of the Jiangying Yangtze Suspension Bridge. SEI Vol. 14. No. 1, pp. 30–31, IABSE 2004
- [2] Chen, C.: Impact Protection Design of Ship Collision with Pier of Runyang Bridge. IABSE Symposium Shanghai 2004 Report, pp. 246–247, IABSE – AIPC – IVBH 2004
- [3] Sun, L., Shi, Ch., Zhou, H. and Cheng, W.: A Full-Scale Experiment on Vibration Mitigation of Stay Cable. IABSE Symposium Shanghai 2004 Report, pp. 154–155, IABSE – AIPC – IVBH 2004
- [4] Liu, L. and Zeng, X.: Second Nanjing Cable-Stayed Bridge. SEI Vol. 14. No. 1, pp. 34–36, IABSE 2004
- [5] Pan, L., Lu, Y. and Huang, J.: Proposed Bridge in Shanghai Chongming Rivercrossing Project. IABSE Symposium Shanghai 2004 Report, pp. 96–97, ABSE – AIPC – IVBH 2004

Chongming Bridge

Zdaleka největší konstrukcí přemostující Jang-c'-tiang by se ale již v horizontu několika málo let měl stát most Chongming pojmenovaný podle názvu velkého ostrova v samotném ústí řeky v těsné blízkosti Šanghaje. Realizace tohoto projektu má klíčový význam pro plánovaný rozvoj celé delty Jang-c'-tiangu, stejně jako pro rozvoj pobřežní části provincie Jiangsu. Přípravné práce začaly již v roce 2003 a jako o rocích dokončení stavby se stále hovoří o letech 2007 až 2008 [5]. Vizualizace budoucího mostu viz obr. 15.

Výhledově jsou připravena dvě mostní řešení, jedno - více proti proudu - se zavěšeným mostem rozpětí 1200 m, a druhé s visutým mostem rozpětí 2300 m (680 + 2300 + 680 m). V obou případech se jedná o světové rekordy. I toto přemostění by mělo nést šestiproudovou dálnici navazující na okruh vedený čtvrtí Pudong a spojit Šanghaj s ostrovem Chongming trasami vedenými přes ostrůvek Changxing. Obrovitá Dlouhá řeka se zde dělí na Jižní kanál široký 6,5 až 7 km a Severní kanál o šířce cca 8,5 km. Celá přemostění by byla dlouhá cca 25 km. V současnosti se na základě studie proveditelnosti a expertních posudků vybírá nejvhodnější z připravených tras, k nimž přibyla ještě varianta třetí, tunelová.