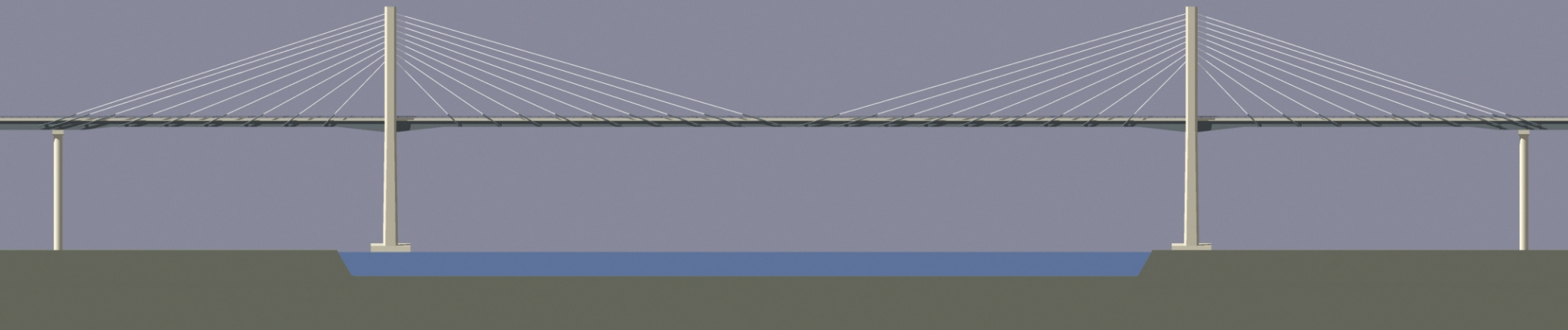


Most ponad kanál Arthur Kill

*statické
pôsobenie*

*theory, analysis
Vladimír Budinský SSK*



KEYWORDS : bridge, cable-stayed bridge, structural analysis, most, zavesený most, statický výpočet, SSK

ÚVOD

Prezentovaný most je prvým veľkým významným mostom, vybudovaným v New Yorku, od výstavby mosta *Verrazzano Narrows Bridge* z roku 1964. Kanál Arthur Kill sa nachádza medzi štátom New York a New Jersey a tvorí jednu z hlavných vodných trás k prístavu *Newark* a ku kontajnerovému terminálu *Howland Hook*. Nový most je náhradou starého oceľového priehradového mosta z roku 1926, ktorý svojimi parametrami už nevyhovoval moderným požiadavkám, a jeho oprava, resp. modernizácia, by vyžadovala neúmerne finančné prostriedky.



Zavesený most je však len časťou celkového projektu. Celý projekt zahŕňa viac ako 2310 metrov cestnej estakády, ktorá sa skladá z dvoch takmer identických stavieb vedľa seba a každá z nich vedie premávku v jednom smere v troch jazdných pruhoch šírky 3660 mm. Väčšina dĺžky estakády je vyskladaná z moderných prefabrikovaných betónových nosníkov. Tento článok sa zaoberá len jednou zavesenou časťou, plus dve prilahlé rozpätia, ktoré tvoria jeden dilatačný celok. Okrem toho má stavba ešte množstvo ďalších súvisiacich objektov.

Projekt sa buduje v rámci verejno-súkromného partnerstva (PPP) pod vedením spoločnosti *Macquarie Infrastructure*, ktorá bude financovať výstavbu a údržbu mosta počas 35 ročného koncesného obdobia.

Po otvorenej súťaži, ktorá viedla k užšiemu výberu troch kandidátov, vybral vlastník tím [NYNJ Link](#), ktorý tvoria

- [Macquarie Infrastructure and Real Assets](#)
- [Kiewit-Weeks-Massman AJV](#)
- [Parsons Corp.](#)

aby navrhli, vybudovali, financovali a udržiavali stavbu.

[Macquarie](#) je medzinárodná investičná firma do infraštruktúry so sídlom v Sydney v Austrálii

[Parsons](#) je medzinárodná inžinierska a projekčná firma so sídlom v Pasadene v Kalifornii.

[Kiewit-Weeks-Massman](#) je spoločný podnik spoločností

- Kiewit Infrastructure Co. z Woodcliff Lake v New Jersey;
- Weeks Marine Inc. z Cranfordu v New Jersey;
- Massman Construction Co., dodávateľ ťažkých stavebných a námorných stavieb so sídlom v Overland Parku v Kansase.

Za inžiniera mostnej kontroly pre developera bola vybraná spoločnosť *Systra/International Bridge Technologies (IBT)* zo San Diega, čo bola zmluvne vyžadovaná požiadavka.

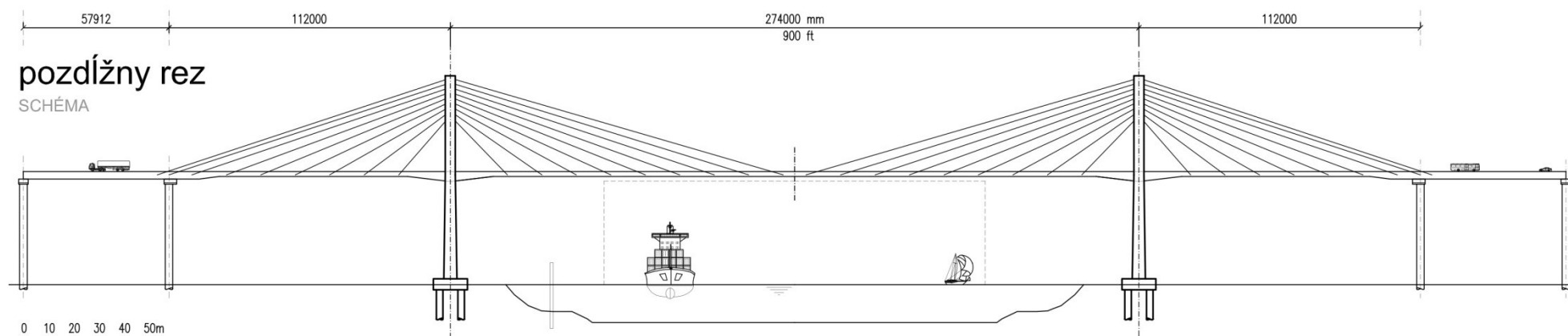
IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE MOSTA

Vlastník:	Prístavný úrad New Yorku a New Jersey , <i>Port Authority of New York & New Jersey</i>
Developer:	NYNJ Link, ktorého súčasťou je hlavný dodávateľ a hlavný projektant
Hlavný dodávateľ:	Kiewit-Weeks-Massman AJV
Hlavný projektant:	Parsons Corp. , Pasadena, Kalifornia

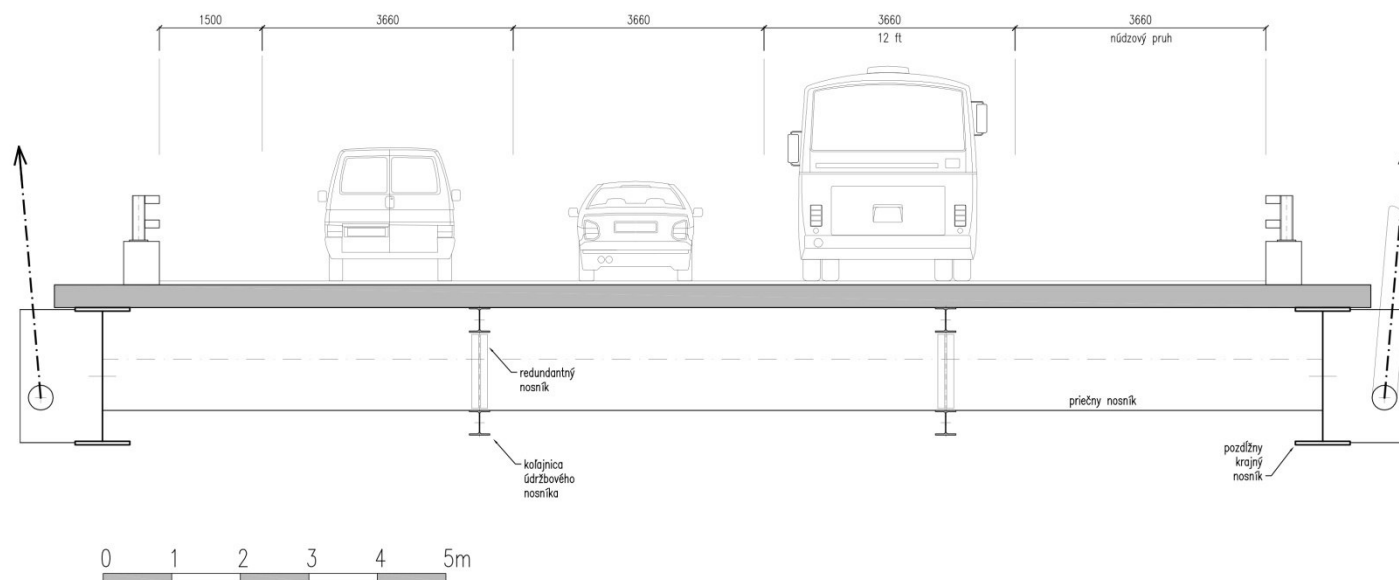
Ďalšie kooperujúce firmy

Aerodynamika:	Rowan Williams. Davies & Irwin, Guelph, Ontario, Kanada
Trvanlivosť a životnosť:	KTATator Inc., Pittsburgh a Tourney Consulting Group LLC, Kalamazoo, Michigan
Hĺbkové základy:	Dan Brown and Associates, Sequatchie, Tennessee
Podpovrchový prieskum a geotechnológia:	Haley & Aldrich, Burlington, Massachusetts
Výrobca oceľových konštrukcií (nosníky):	Canam Steel Corp., Point of Rocks, Maryland
Výrobca oceľových konštrukcií (kotvové skrinky):	Tampa Tank Inc./Florida Structural Steel, Gibsonton, Florida
Prefabrikované nosníky:	Northeast Prestressed Products, Cressona, Pensylvánia
Prefabrikované mostové panely:	Unistress Corp., Pittsfield, Massachusetts
Lighting Illumination:	Arts LLC, Bloomfield, New Jersey
Predpínacie systémy a káble:	Freyssinet

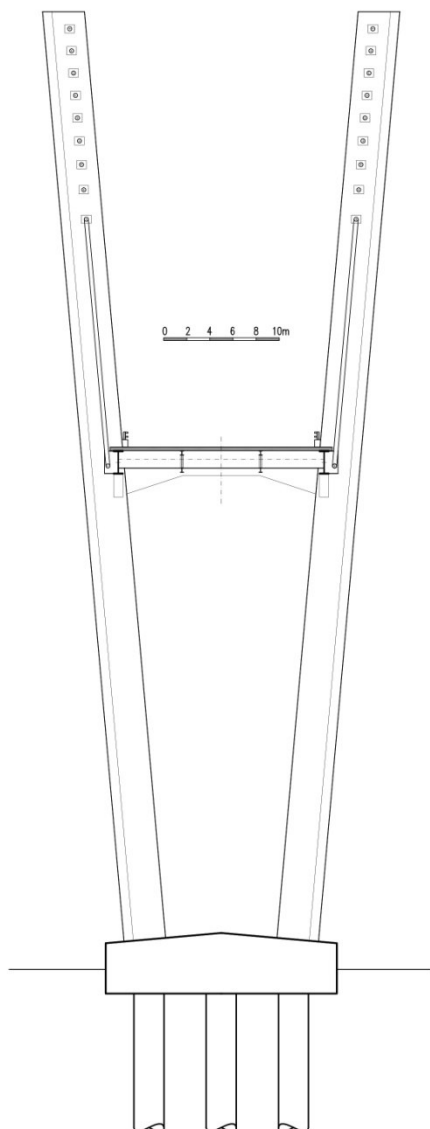
Cena celej stavby: 1,5 miliardy dolárov



priečny rez zaveseným rozpätím - jazdné pruhy



priečny rez zaveseným rozpätím



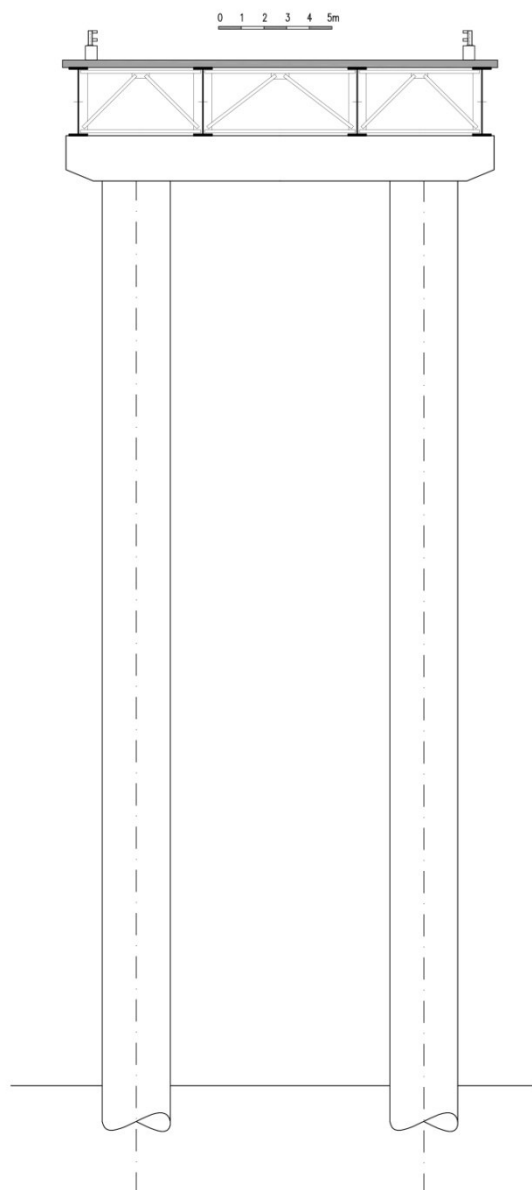
ĎALŠIE TECHNICKÉ ÚDAJE MOSTA

Začiatok výstavby :	2013
Ukončenie výstavby :	2018
Zakladanie :	vŕtané pilóty s ocelovou výpažnicou
Maximálny rozpon :	274 m
Výška pylónu :	87 m
Šírka mostovky :	19,2 m
Bočný náklon pylóna :	5°
Typ mosta :	zavesený

UPOZORNENIE : Vo všetkých vizualizáciách a výpočtoch nie je zohľadnené zvislé zakrivenie mostovky



priečný rez krajným rozpätím



SPOLUPRÁCA JE KLÚČOVÁ PRI KAŽDOM VEĽKOM PROJEKTE. Samotný počet konzultantov, výrobcov, stavitel'ov, vlastníkov, developerov, regulačných agentúr a nespočetného množstva ďalších zainteresovaných strán môže byť skľučujúci – rovnako ako počet dielov a výrobkov, ktoré je potrebné sledovať a zohľadniť v každej fáze procesu. Stavební inžinieri čoraz častejšie zisťujú, že musia byť odbornými komunikátormi, spolupracovníkmi a riešiteľmi problémov, aby mohli zvládnuť veľké projekty ekonomicky a načas.

V rámci projektu výmeny starého mosta z roku 1926 sa projekčný a výstavbový tím zapojil do rozsiahlej koordinácie s tretími stranami, spolupracoval so zainteresovanými stranami už v ranej fáze procesu návrhu, získaval ich podnety a včas zabezpečoval množstvo potrebných schválení.

Keďže náhradný most je klasifikovaný ako kritický most, tím ho navrhol pre zemetrasenie s funkčným hodnotením s priemernou dobou návratu 1000 rokov, ako aj pre zemetrasenie s vyššou úrovňou bezpečnostného hodnotenia, ktoré má priemernú dobu návratu 2500 rokov. Pre počiatočný návrh – a na riešenie relatívne veľkých spektrálnych zrýchlení – Parsons vykonal analýzu spektra odozvy pomocou 3D štruktúrneho modelu. Pre konečný návrh bola použitá najmodernejšia, časovo-historická, nelineárna analýza; to zahŕňalo 3D počítačový model celého mosta v softvéri, ktorý vytvorila spoločnosť ADINA.

Na dosiahnutie dlhej životnosti spoločnosť NYNJ Link vypracovala rozsiahly plán ochrany proti korózii, v ktorom bola každej zložke priradená špecifická kategória expozície a vlastná stratégia prevencie korózie, čím sa zabezpečilo, že samotná konštrukcia nebude vyžadovať významnú rekonštrukciu počas 100 až 150 rokov.

K NÁZVU KANÁLU

Arthur Kill je prílivový prieliv oddel'ujúci Staten Island v štáte New York od pevninského New Jersey. Je to „opustený riečny kanál“, ktorý vyttesal pôvodný tok rieky Hudson. Meno Arthur Kill je poangličtením holandského výrazu „Achter Kill“, čo znamená „zadný kanál“. Názov dostal počas holandskej koloniálnej éry podľa svojej polohy „za“ Staten Islandom. Samotné slovo „kill“ pochádza zo starého holandského slova „kille“, ktoré znamená „vodný kanál“ alebo „potok“.

Takže nemá to nič spoločné so zabitím Artúra, ako by sa mohlo na prvý pohľad zdať.

STRUČNÝ POPIS KONŠTRUKCIE

Rozmery mosta museli byť prispôsobené dvom určujúcim podmienkam :

- výška pylónov nesmela byť vyššia, ako to predpisovali smernice letovej prevádzky
- námorný gabarit pod mostovkou musel vyhovovať parametrom plavidiel, používajúcich prístav

Ako sa ukázalo, tieto podmienky inšpirovali a donútili projektantov vypracovať úplne nové a nekonvenčné riešenia.

Vyvinutý systém v podstate pozostával z vysoko redundantného rámu od konca ku koncu dilatáčného úseku, ktorý bol následne overený na prevádzkové a seizmické zaťaženie prostredníctvom dôkladného počítačového modelovania a analýzy. Týmto postupom bol vyvinutý konštrukčný systém pre zavesený most bez mechanických zariadení, ako sú tlmiče nosnej konštrukcie, ložiská alebo iné zariadenia náročné na údržbu. Bol navrhnutý nový systém pylónových sediel pre závesné káble, pomocou ktorého sa dali laná v prípade potreby pomerne ľahko vymeniť. Tento výrobok však nechcel nikto vyrobiť a až po dôklad-



nom a prehľadnom 3D vykreslení a podrobnom výpočte sa výroby zhostila firma Tampa Tank. Tento systém okrem iných výhod v rozhodujúcej miere zmenšil výšku pylónov.

Koncové káble majú nezvyčajne nízky uhol náklonu, z typickej hranice 26° pre zavesené mosty sa priblížili až k 15° , čo skôr charakterizuje mosty typu *extradosed*. Všetky káble sú predpínané odspodu. Krajné pozdĺžne oceľové nosníky sú votknuté do pylónu a do krajných nosníkov koncových rozpätí. Všetky oceľové nosníky v styku z betónovou mostovkou, priečne aj krajné, sú plne spriahnuté s touto mostovkou pomocou trňov typu *nelson*.

Betónová mostovka je zostavená z prefabrikátov z ľahkého betónu vystužených nerezovou výstužou, aby sa dosiahla požadovaná dĺžka životnosti mosta. Tento spôsob výstavby bol zvolený kvôli urýchleniu výstavby a dosiahnutiu vysokej kvality pri továrenskej výrobe. Na stavbe boli zalievané len jednotlivé vzájomné styky prefabrikátov do tuhého votknutého spoja. Okrem toho je mostovka opatrená vrstvou nepriepustného polyesterového polymérbetónu (PPC). V blízkosti stredového rozpätia a pri pylónoch bude mostovka pozdĺžne predpätá, aby sa zabránilo ťahovému napätiu v horných vláknach betónu. Inde je mostovka úplne predtlačená tlakom výstužných lán a celkového konštrukčného systému. Eliminácia mikrotrhlín v horných vláknach betónu slúži ako obranná línia proti vniknutiu chloridov, ktoré môže viesť ku korózii výstuže a následnému predčasnému poškodeniu betónu.

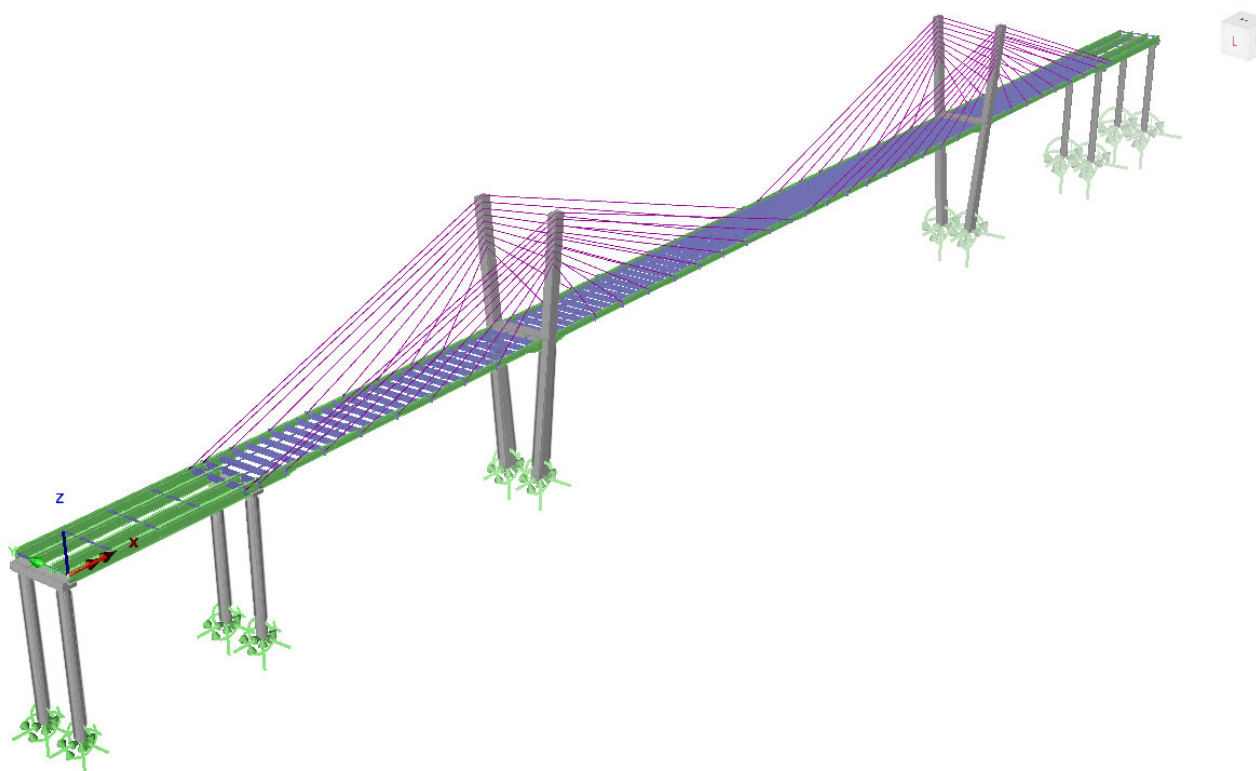
Podľa požiadaviek projektu je lanový most vybavený údržbárskymi vozíkmi, podopretými kolajnicami, ktoré vedú po celej dĺžke rozpätí podopretých lanami. Po celej tejto dĺžke sa tiež nachádzajú nosníky mostkových panelov, ktoré slúžili ako debnenie pod spojmi panelov.

Spojením týchto komponentov do pozdĺžneho priehradového nosníka sa vytvorí redundantná dráha zaťaženia, v opačnom prípade by most mohol byť ohrozeným konštrukčným systémom v prípade poškodenia priečneho podlahového nosníka alebo okrajového nosníka.

POSTUPNOSŤ VÝSTAVBY HLAVNÝCH STAVEBNÝCH OBJEKTOV

Aby sa vyhol úplnému dopravnému kolapsu, bola zvolená takáto postupnosť : Výstavba južnej vetvy mosta a príľahlej estakády. Presmerovanie dopravy v oboch smeroch zo starého priehradového mosta na južnú vetvu s úpravou cesty na 4 obojsmerné stiesnené jazdné pruhy (2+2). Asanácia starého priehradového mosta. Dobudovanie severnej vetvy nového mosta do priestoru starého mosta. Úprava jazdných pruhov na komfortných 3+3 pruhy v šírke 3,66 m + núdzový pruh.

Súmostie je rozmerovo a staticky navrhnuté tak, aby sa v budúcnosti dala vstavať medzi oba mosty ľahká osobná obojsmerná železničná dráha pridaním ocelových priečných prievlakov, ak bude takáto požiadavka.



Výpočtový model FEM celého mosta ↑

VÝPOČTY

Na základe niektorých zjednodušených predpokladov a prepočtov sme sa pokúsili interpretovať pôsobenie sústavy. Zjednodušenie spočívalo v zanedbaní pozdĺžneho spádu a prevýšenia mostovky.

Základy zvislých prvkov sú votknuté do podlažia. Podlažie je teda vo zvislom smere tuhé, resp. s rovnakým sadaním. Ako základné zaťaženia sme uvažovali vlastnú tiaž konštrukcie a zaťaženie mostov dopravou.

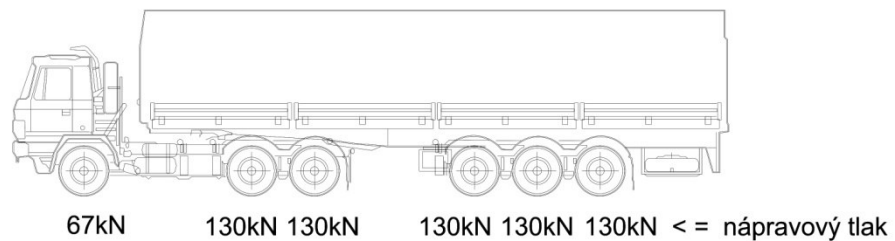
Na základe štúdií váženia vozidiel za pohybu, špecifických pre oblasť New Yorku, bolo pre projekt vyvinuté upravené zaťaženie vozidla HL-93 (pozri ďalej). Ostatné dopravné zaťaženia boli uvažované v zmysle [1].

Výpočty sme skúmali na dvoch modeloch FEM :

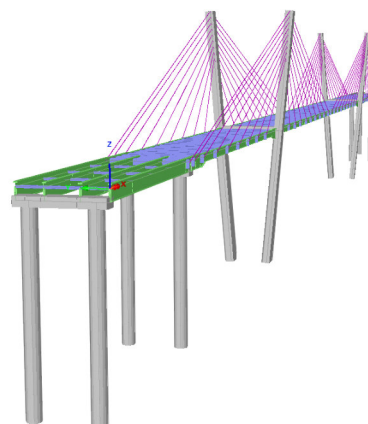
- model celého mosta (dilatačný modul)
- podrobný model výseku mostovky

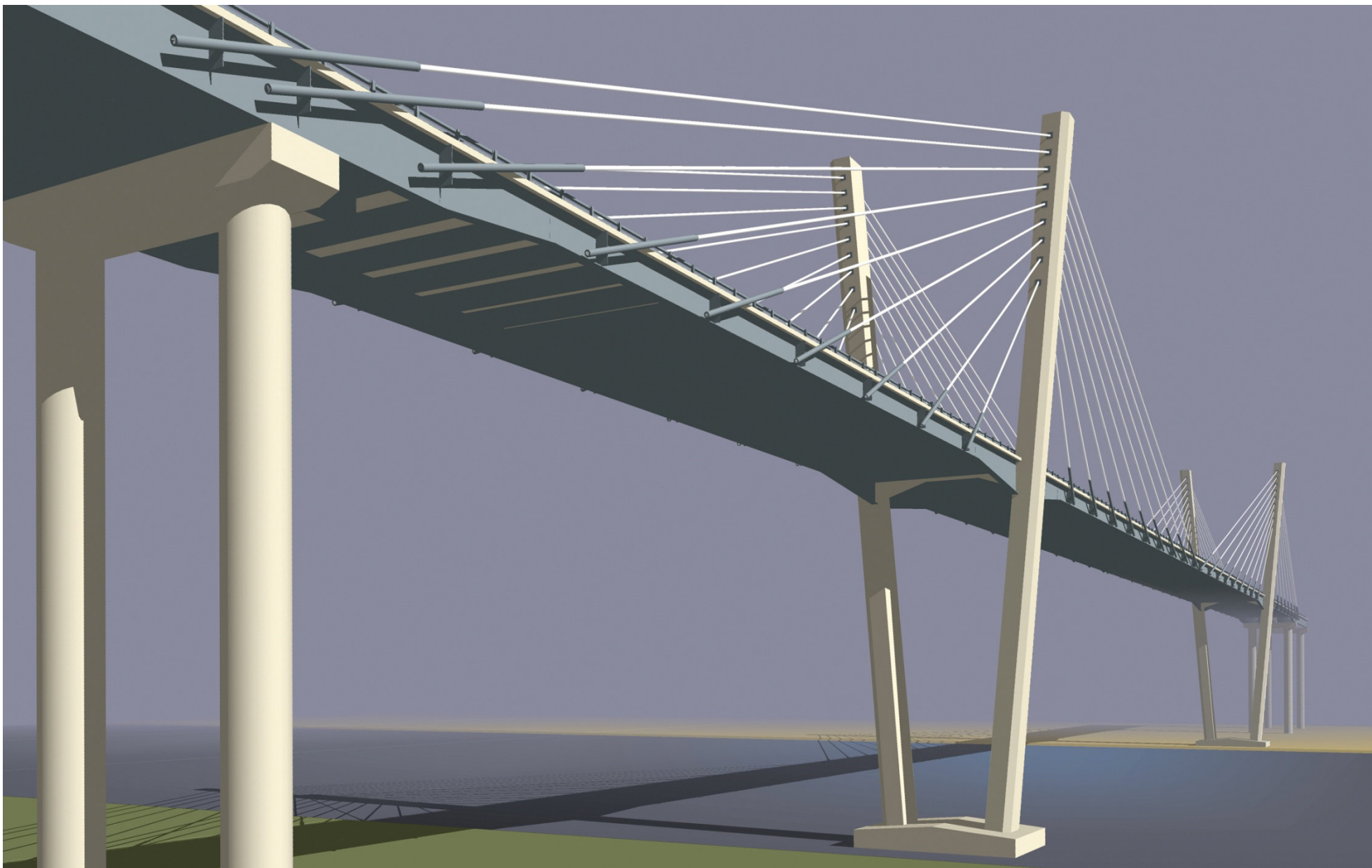
Osová vzdialenosť náprav vozidla HL-93 na obrázku nasledujúcej strany je 3,66 + 1,2 + 3,66 + 1,2 + 1,2 m.

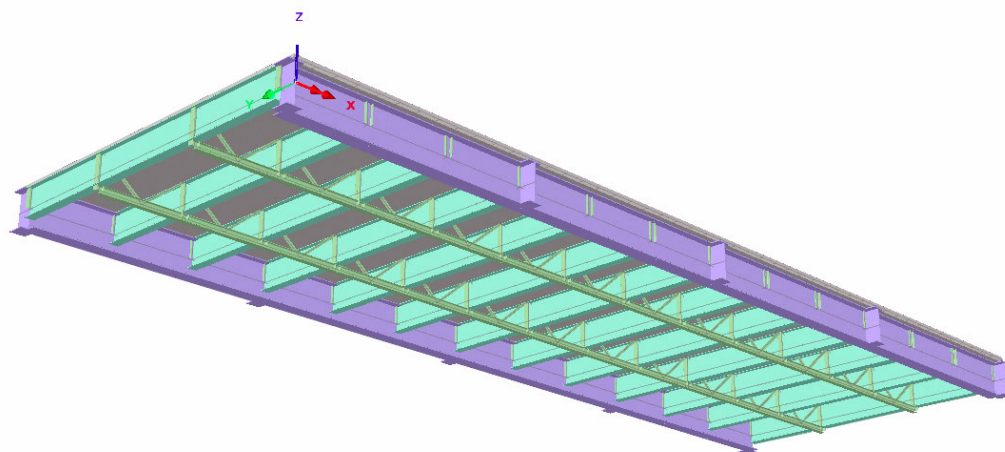
upravené záťažové vozidlo HL-93



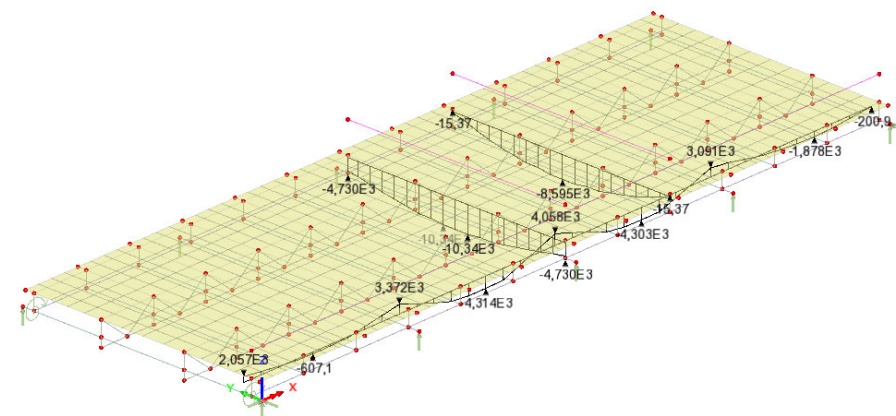
↑ Jeden zo zaťažovacích scenárov : 2x (4x HL-93) +
(9,33 kN/m na jeden jazdný pruh) x4 medzi pylónmi



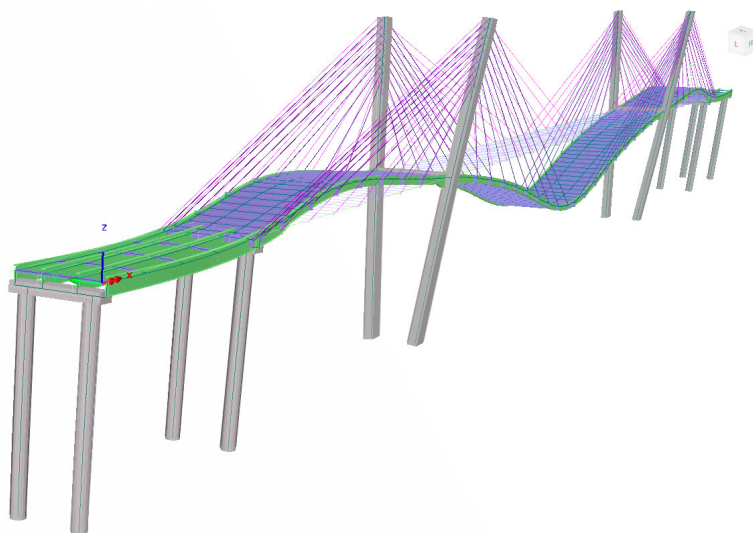




↑ Podrobný model FEM výseku mostovky dĺžky 54,6 m



↑ Momenty v pozdĺžnych a priečných nosníkoch od zaťaženia 2x (4x HL-93) + 9,33 kN/m na jazdný pruh na dĺžke 54,6 m (x4) – kombinácia ULS [kNm]
– hodnoty platia pre celkový spriahnutý prierez ocel'+betón včetně stáleho zaťaženia



← Šiesty vlastný tvar kmitania 0,44 Hz



ZÁVER

Aby most fungoval čo najefektívnejšie aj v budúcnosti, spoločnosť **NYNJ Link** začlenila do výstavby niekoľko prvkov technológie inteligentného mosta, vrátane systému informácií o počasi na vozovke, systému detekcie dopravy, systému monitorovania stavu konštrukcie, kamerového systému (CCTV), systému váženia za pohybu na výskumnej úrovni, riadiacich systémov, adaptívnej technológie riadenia signalizácie a kompletného systému dohľadu, riadenia a zberu údajov (SCADA). Všetky tieto technológie umožňujú lepšiu správu, bezpečnosť a prevádzku mosta. Ako zariadenie s dlhou životnosťou, si bol tím NYNJ Link vedomý hodnoty každého vynaloženého dolára a potreby minimalizovať dlhodobú údržbu.

Niektoré ZDROJE, použité pri tvorbe článku :

- [1] [AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012](#)
- [2] [Seth Condell : The Goethals Bridge Replacement Project](#)
- [3] Internetový portál [civilengineering-digital.com](#) : [Seth Condell](#), [Thomas Spoth](#) : [Originality Built In Cable-stay Bridge](#)

Všetky obrázky a prepočty v tomto príspevku sú pôvodné a nekopírované.

Pri zostavovaní článku boli použité nasledovné POČÍTAČOVÉ PROGRAMY :

LUSAS Bridge Plus, SketchUp, AutoCad LT, Microsoft Word, PDF Creator, IrfanView, Corel Draw

© Ing. Vladimír Budinský SSK, Banská Bystrica, XI/2025

