

2017

diplovová práce
Miroslav Hlava

Danjiang Bridge

adaptivní most pro Tchaj-pej

Danjiang Bridge

diplomová práce

vypracoval: Bc. Miroslav Hlava

vedoucí práce: doc. Ing. arch. Miloš Florián, Ph.D.

konsultace: Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc.
Ing. arch. Lukáš Kurilla
DI Elmar Hess

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta architektury
letní semestr, 2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ARCHITEKTURY

AUTOR, DIPLOMANT: Miroslav Hlava
AR 2016/2017, LS

NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE:
(ČJ) DANJIANG BRIDGE
(AJ) DANJIANG BRIDGE

JAZYK PRÁCE: ČESKÝ

Vedoucí práce: doc. Ing. arch. Miloš Florián, Ph.D. Ústav: 15116 Kabinet modelového projektování

Oponent práce: Doc. Ing. arch. Mária Žitňanský, Ph.D., Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc.

Klíčová slova (česká): Adaptivní most, Tchaj-pej, Tamsui

Anotace (česká): Práce se zabývá návrhem mostu Danjiang v ústí řeky Tamsui, spojující městské části Tamsui a Bali, které se nacházejí v severozápadní části města Tchaj-pej. Cílem řešení je most, který s využitím principu adaptivních konstrukcí šetrně zachází s využitím stavebního materiálu a energií.

Anotace (anglická): Topic of this paper is Danjiang Bridge project, which is proposed to connect Tamsui District and Bali District, both part of Taipei, located north east from the Taipei City on the Tamsui River. Target of the project is designing a bridge, which is using the idea of adaptive structures to reduce the material and energy requirements of such a project.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s „Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

podpis autora-diplomanta

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury
2/ ZADÁNÍ diplomové práce
 Mgr. program navazující.

jméno a příjmení:
 Miroslav Hlava

datum narození:
 28.10.1991

akademický rok / semestr: 2016 / 2017 – letní semestr
 obor: Architektura a urbanismus
 ústav: 15116 Kabinet modelového projektování
 vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Arch. Miloš Florián, Ph.D.

téma diplomové práce: Danjiang Bridge

zadání diplomové práce:

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

Zadáním projektu je navrhnout most v ústí řeky Tamsui, spojující městské části Tamsui a Bali, které se nacházejí v severozápadní části města Tchaj-pej. Cílem řešení je most, který s využitím moderních technologií šetrně zachází s využitím stavebního materiálu a energií.

2/ Stavební program

Projekt se věnuje úseku komunikace číslo 61 mezi kilometry 5 a 7. Tento úsek v sobě zahrnuje výstavbu přemostění řeky Tamsui, která v dané lokalitě dosahuje šířky cca 900 m. Dopravní nároky řešené komunikace jsou 2 jízdní + 1 odstavný pruh s návrhovou rychlostí 80 km/h na obou stranách, pruh pro pěší a pro cyklisty. Minimální požadovaná šířka hlavního rozponu mostu je 400 m s výškou minimálně 20 m nad výškou hladiny vody během odlivu uprostřed rozponu.

3/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítka zpracování

Průvodní text, analýzy

- Umístění mostu v rámci města, návaznost na okolí, návaznost na okolní komunikace
- Zdůvodnění architektonicko-technického řešení mostu

Schémata

- Schéma širších vztahů
- Schéma strukturální analýzy mostu

Výkresy

- Situace 1:5000 (1:2500)
- Půdorys mostu 1:1000 (1:2000)
- Podélný pohled 1:1000 (1:2000)
- Podélný řez 1:1000 (1:500)
- Axonometrie typického úseku mostu / příčný řez 1:1000 (1:500)

Prostorové zobrazení

- Architektonická vizualizace mostu

4/ seznam dalších dohodnutých částí projektu (model)

- Model mostu 1:1000 (1:2000)

Datum a podpis studenta

M. Hlava 27/02/2017

Datum a podpis vedoucího DP

Miloš Florián 27.2.2017

Datum a podpis děkana FA ČVUT

11. 9. 2014 *Z. L.*

Registrováno studijním oddělením dne

27.2.2017

LQ

Zadání projektu a výběr lokality vychází z mezinárodní architektonické soutěže (v době odevzdání této práce již uzavřené^[1]) na projekt mostu přes řeku Tamsui. V rámci zadání soutěže byl specifikován koridor, kterým most povede, dále pak počet pruhů pro silniční dopravu, pohyb pěších a cyklistů, apod.

Zadáním tedy je navrhnout most v ústí řeky Tamsui, spojující městské části Tamsui a Bali, které se nachází v severozápadní části města Tchaj-pej.

Dopravní nároky řešené komunikace jsou 2 jízdní + 1 odstavný pruh s návrhovou rychlostí 80km/h na obou stranách, pruh pro pěší a pro cyklisty. Minimální požadovaná šířka hlavního rozponu mostu je 400 m. Minimální světlá výška mostu uprostřed rozponu je 20 m nad úrovní hladiny vody (během odlivu).

Hlavním cílem projektu, samozřejmě kromě návrhu mostu, který splňuje zadané podmínky, a jeho propojení s okolím, je hledání alternativních přístupů k současnému způsobu navrhování mostů. Projekt si klade otázku, zda jsou v současnosti používané typologie tak promyšlené a ustálené, že už na nich není co inovovat? Je ještě při překonávání gravitace kam posouvat limity? Je možné při stavbě mostu spotřebovat méně materiálu a energie než doposud a otevírají nám nové technologie možnosti, které dodnes nebyly možné?

zadání a cíle projektu

[1] Danjiang Bridge International Competition
<http://djcomp.djbridge.com.tw/en/index.html>

Poznámka

V této práci se objevuje řada názvů měst, městských čtvrtí a lokalit, které nemají český ekvivalent. Vzhledem k tomu, že úředním jazykem Čínské republiky je Mandarinština a nejčastěji používaným písmem není latinka, bylo přistoupeno k používání mezinárodních anglických názvů míst (kromě názvů Tchaj-wan a Tchaj-peí).

řešená lokalita

Lokalita

Řešená lokalita je na periferii správního území **Nová Tchaj-pej** na ostrově **Tchaj-Wan** (Čínská republika) a lze ji charakterizovat jako lokalitu s **prudkým rozvojem** výstavby a **velkým nárůstem obyvatel**. Jsou zde v kontrastu historická místa (například Tamsui Old Town a Guandu Temple) s již ustálenou novou výškovou zástavbou (objevuje se mnoho budov výšky 20 i více pater), mnoho nesjednocených míst dočasného charakteru, ale i **mnoho nových rozvojových míst** (například velká rozvojová plocha severně od městské části Danhai, která již má hotovou uliční síť, ale je zatím bez zástavby).

Rozvoj lokality má za následek **zvýšené nároky na osobní i veřejnou dopravu**, výsledkem je rozšiřování existujících komunikací a budování nových. Zavedení nové lehké dráhy (Danhai Light Rail Train), která je prodloužením systému metra města Tchaj-pej v dané

lokalitě a v neposlední řadě i **potřeba přemostit řeku Tamsui**, která danou lokalitu rozděluje na dvě poloviny. Ta má však v místě šířku toku téměř 1 kilometr, což je hlavním důvodem, proč k přemostění zatím nedošlo.

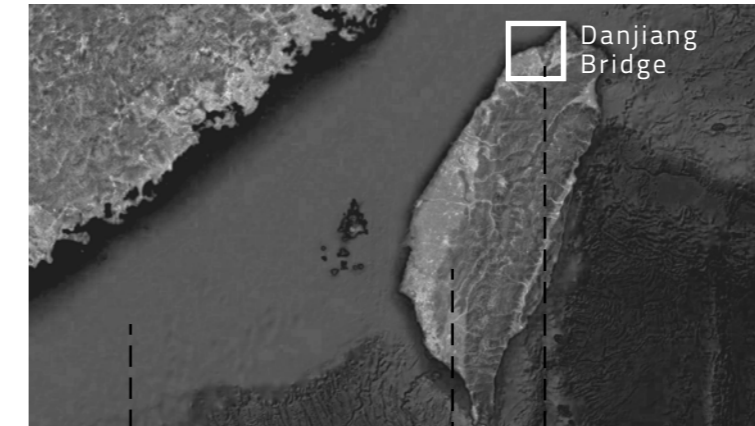
25° 10' 30" N
121° 24' 59" E

GPS

poloha řešené lokality v rámci ostrova Tchaj-wan (Čínská republika)



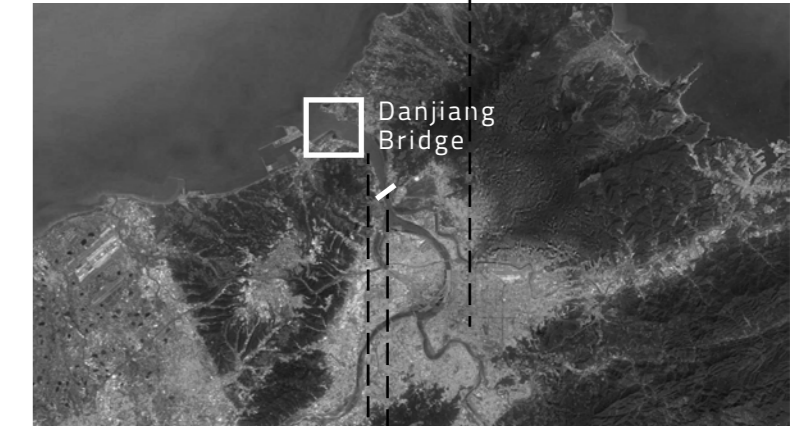
zdroj satelitních snímků: Google Earth



Jihočínské moře

Tchaj-pej

Čínská republika (Tchaj-wan)



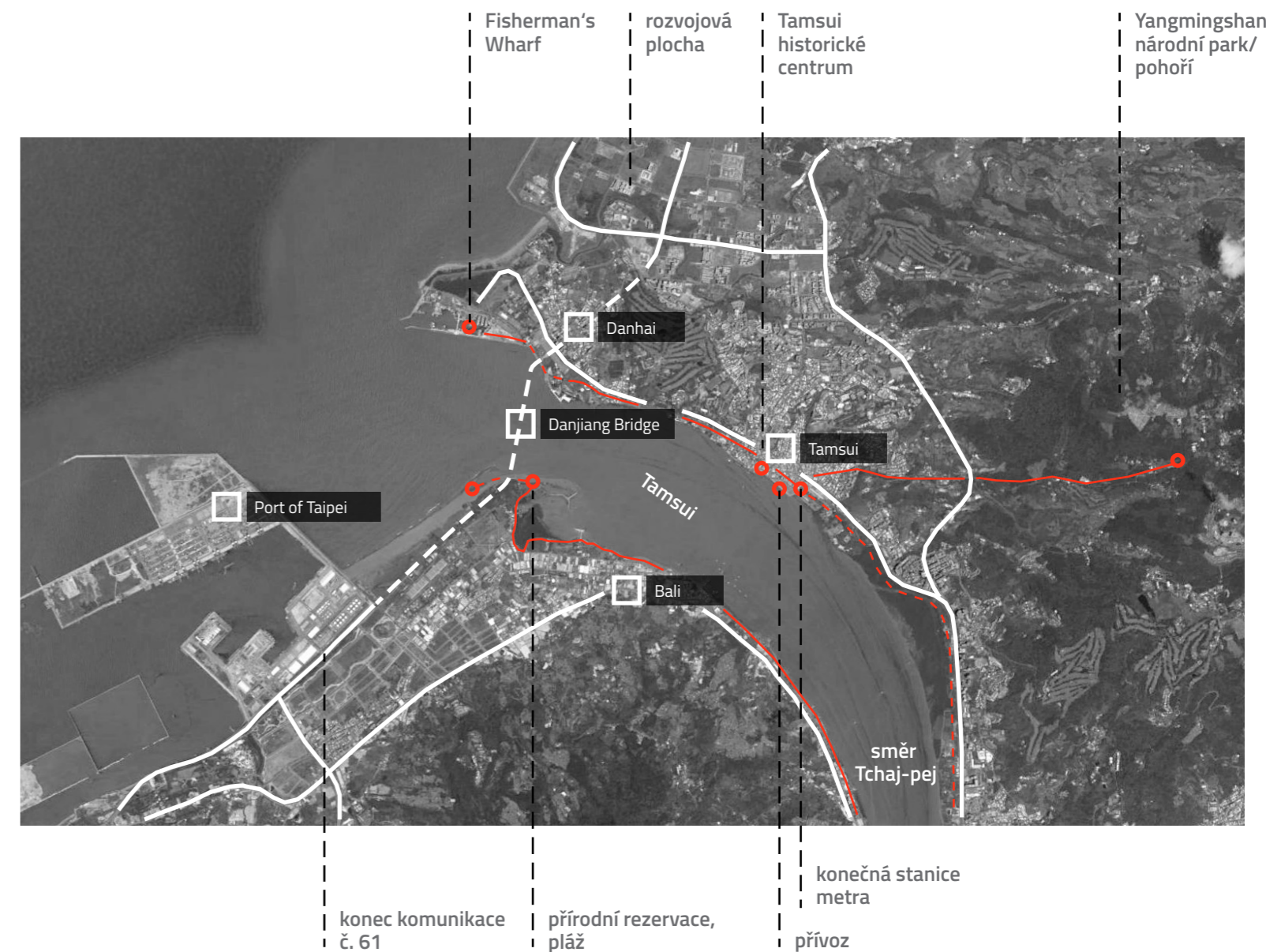
Guandu bridge poslední most na řece

řeka Tamsui

Most je navržen v **ústí řeky Tamsui** a spojuje městské části **Tamsui** (v části Danhai)(162 411 obyvatel) na pravém břehu a **Bali** (37 711 obyvatel) na levém břehu, kde se dále nachází **Port of Taipei**, největší přístav na ostrově.

Most je součástí návrhu nového úseku komunikace č. 61, přibližně mezi kilometry 5 až 7 této komunikace. Potřeba mostu vyvstává již z faktu, že **nejbližší most** je vzdálený cca **2,5 km** proti proudu řeky a je již dopravně více než nedostatečný. V příštích dekádách se navíc očekává **nárůst počtu obyvatel** v lokalitě až o 300 tisíc^[1]. Most dále spojuje turisticky a volnočasově atraktivní lokality **Fisherman's Wharf** na pravém břehu řeky a přírodní lokalitu/ pláž s atraktivními výhledy na městskou část Tamsui s národním parkem/ pohořím **Yangmingshan** v pozadí.

[1] Danjiang Bridge is expected to draw 300K residents to Tamsui
<http://www.chinapost.com.tw/taiwan/local/taipei/2015/09/11/445578/danjiang-bridge.htm>



Propojení mostu s okolím

Most je na obou koncích volně napojen na **existující pěší a cyklistické koridory** na obou březích řeky, pro které se snaží nevytvářet bariéru, naopak je zkvalitnit. V severní části je tak kolem napojení mostu navržena nová volnočasová parková plocha umožňující **pozdvolný přístup k vodě**. Tento přístup reflektuje trend poslední dekády vývoje Tchaj-peje - vyčištění řeky Tamsui a zpřístupnění břehů obyvatelům^[1], jakožto atraktivní volnočasová lokalita.

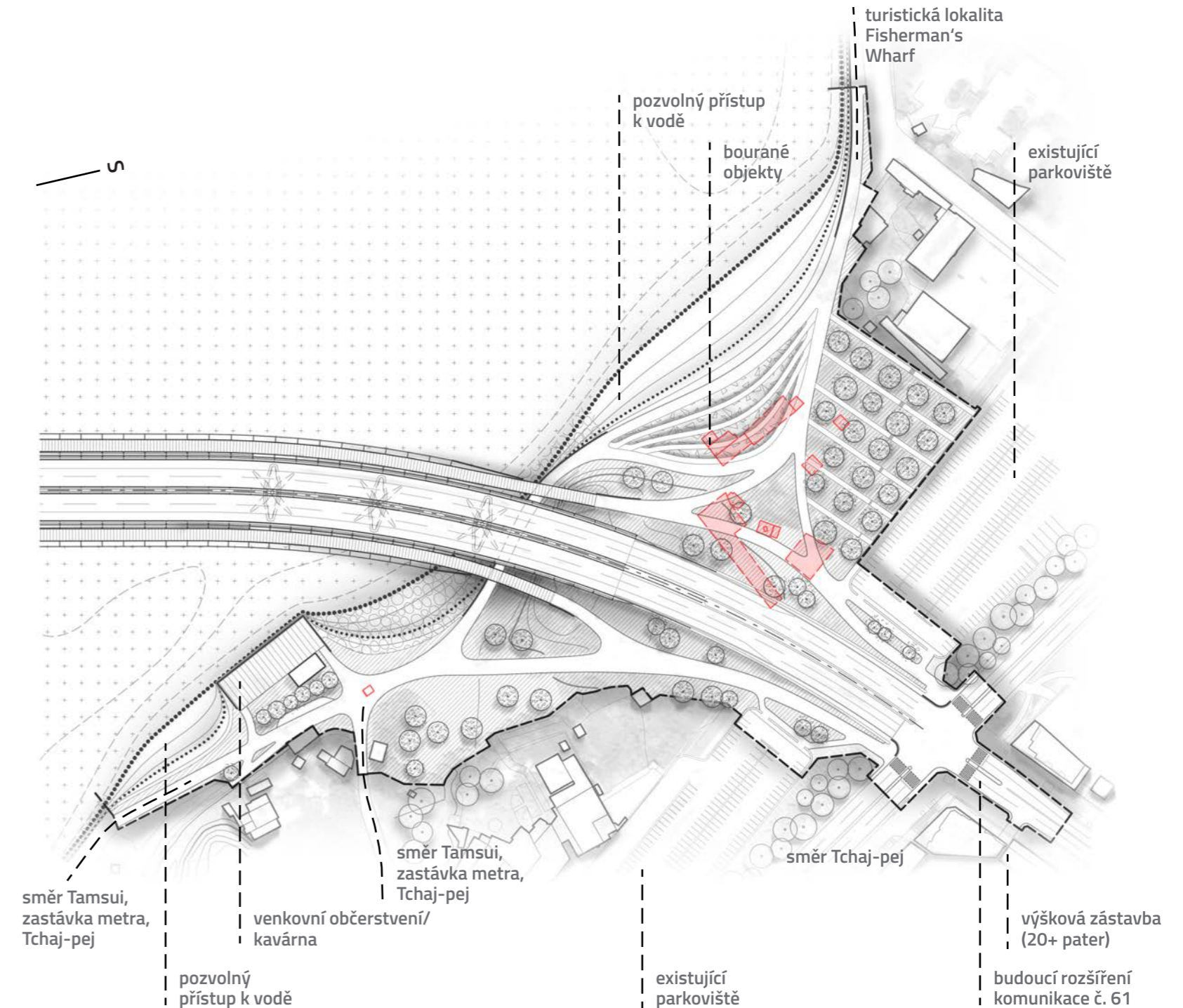
Pravý břeh (severní část mostu)

V severní části je navržena demolice několika stávajících objektů v rámci řešeného území, jedná se však téměř výhradně o utilitární budovy dočasného charakteru, které nekorespondují se zástavbou bytových domů o 20 i více podlažích dále od řeky, která je z urbanistického hlediska mnohem více ustálená.

[1] Tamsui River waterfront redevelopment projects
<http://tcgwww.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=144118&ctNode=15704&mp=118002>

Dále je navrženo nahrazení komunikace, která **rozděluje existující parkoviště** v lokalitě na dvě poloviny. Nově navržený koridor je širší než stávající komunikace, čímž je zrušeno cca 24 parkovacích míst, ale zlepšuje se pěší propojení parkoviště s okolím. Stejně jako v případě zmíněných bouraných objektů se v případě parkoviště jedná spíše o zpevněnou plochu dočasného charakteru, která bude v budoucnu s velkou pravděpodobností určena k přestavbě.

situace severního napojení mostu
[1:2500]

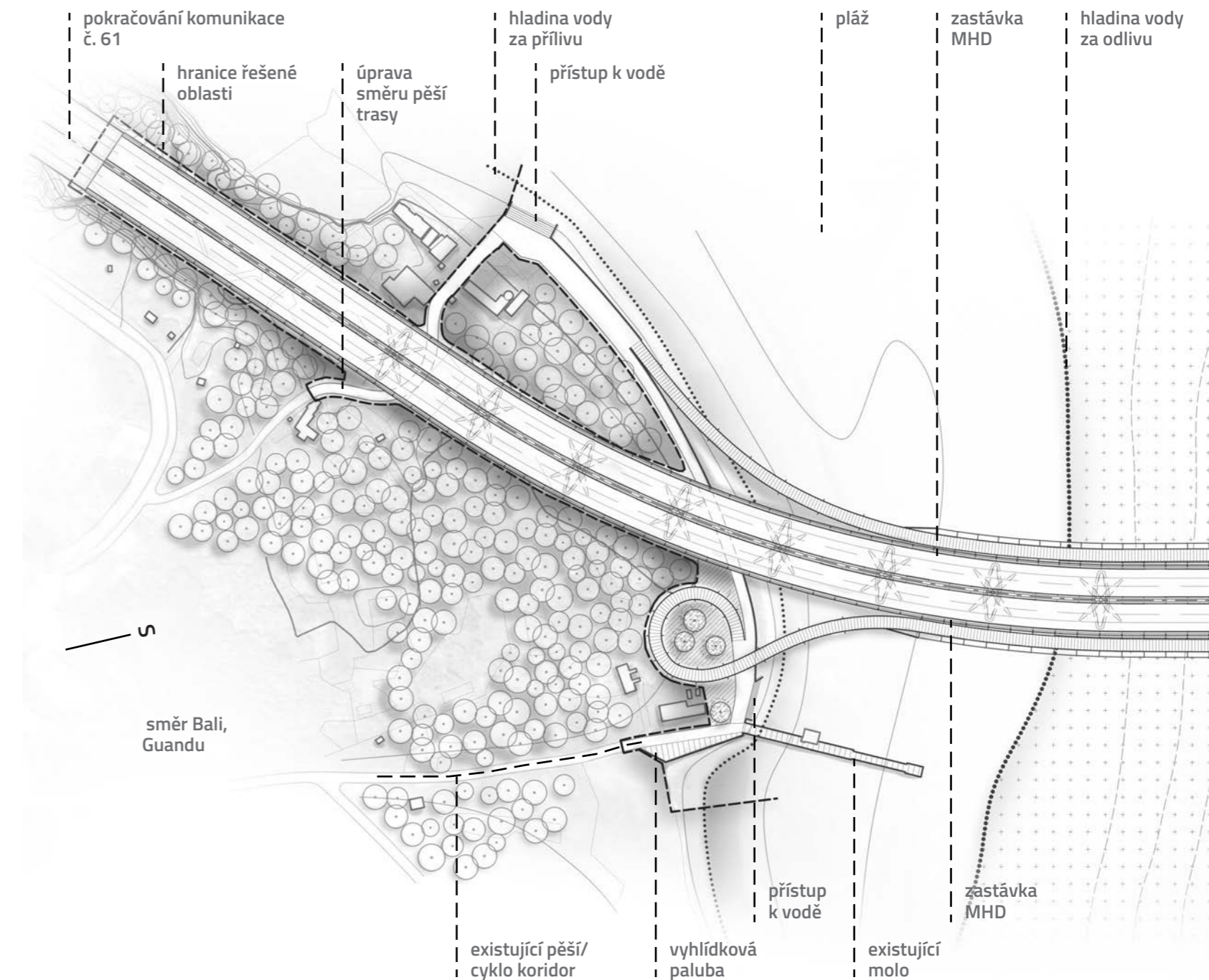


Levý břeh (jižní část mostu)

V jižní části je navrženo méně úprav než na opačném břehu. **Pěší a cyklistické pruhy mostu se zde oddělují** a pomocí ramp s volně klesají na povrch, kde se napojují na existující komunikace, zatímco pruhy mostu určené pro silniční dopravu dále pokračují nad úroveň terénu jihozápadním směrem, kde se napojují na komunikaci č. 61. Stávající **pěší/ cyklo koridor** vedoucí od městské části Bali, který zde končil existujícím vyhlídkovým molem je tak **prodloužen** na navržený most a propojen s koridory na druhé straně řeky.

V místě se nachází písčná pláž s velkým rozdílem pozice břehu během přílivu a odlivu a velké množství zelených ploch klasifikovaných jako přírodní rezervace. Pro zlepšení přístupnosti místa jakožto atraktivní volnočasové lokality z opačné strany řeky je přímo na mostě navržena dvojice zálivových autobusových zastávek.

situace jižního napojení mostu
[1:2500]



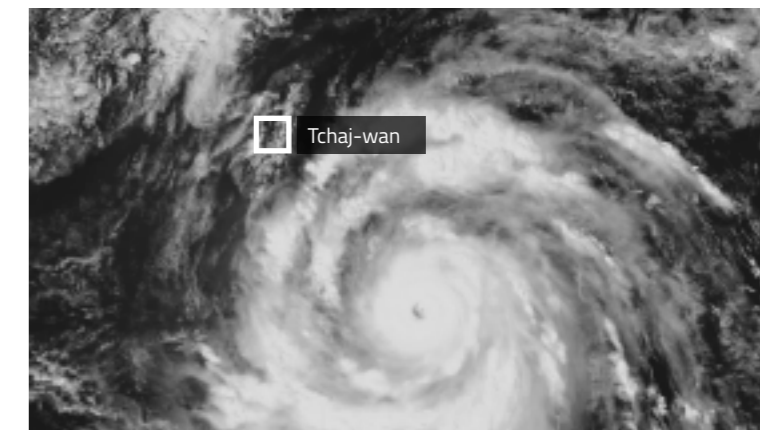
klimatické podmínky, přírodní hrozby

Klima ostrovu Tchaj-wan lze klasifikovat jako přímořské tropické s vysokými průměrnými teplotami, vysokým úhrnem srážek a vlhkostí. Vzhledem k absenci sněžení není potřeba most dimenzovat na zatížení sněhem. Vyskytují se zde však dva přírodní fenomény velmi podstatné pro konstrukci mostu. Tchaj-wan se nalézá v oblasti s nejsilnějšími větry na planetě, extrémní super tajfuny mohou v nárazech překonat rychlost i 350 km/h. Další přírodní hrozbou je fakt, že se Tchaj-wan nachází v tektonicky aktivní oblasti, kde dochází ke srážce Filipínské a Eurasijské litosferické desky. Drobné otřesy jsou zde tak téměř na denním pořádku.

průměr leden			
16,1 °C	83.2 mm	78.5 %	0 mm
teplota	srážky	vlhkost	sněžení
29,6 °C	245.1 mm	73.0 %	0 mm
průměr červenec			

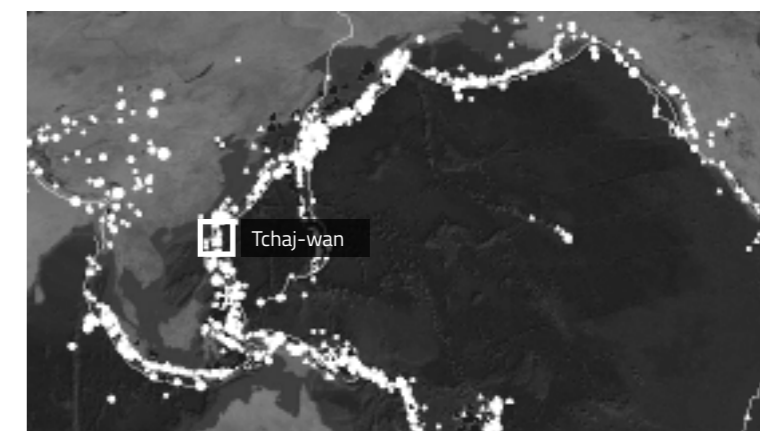
super tajfun Meranti 13.9.2016, 5:10 UTC

zdroj: NASA Goddard's MODIS
Rapid Response Team



mapa nejsilnějších zemětřesení zaznamenaných mezi roky 1903 až 2013

zdroj: <http://www.engineersdaily.com>



Předmluva

Přináší dnešní technologie nové možnosti v navrhování nosných konstrukcí? Je možné navrhovat konstrukce - mosty jinak než dodnes? A je možné vzdorovat gravitaci a přírodním vlivům jinak než použitím tisíců tun materiálu? Danjiang Bridge hledá odpověď na tyto otázky v oblasti **adaptivních konstrukcí**. Konstrukcí, které se aktivně dokáží přizpůsobit zatížením, která na ně působí. Tím se liší od standardních konstrukcí, které jsou zjednodušeně řečeno dimenzovány na nejhorší situaci, která může během jejich života nastat. Tento způsob přemýšlení, do příchodu dnešních výpočetních technologií nezbytný, však znamená velkou spotřebu materiálu, která souvisí s velkou energetickou náročností jak zpracování materiálu, tak jeho transportu. V době, kdy je globální fenomén snaha o redukci energetické náročnosti a uhlíkové stopy téměř ve všech odvětvích lidské činnosti, vyvstává otázka, zda lze něco dělat i v odvětví, které je energeticky nejnáročnější - ve stavebnictví.

architektonicko - technický návrh

Autorská zpráva

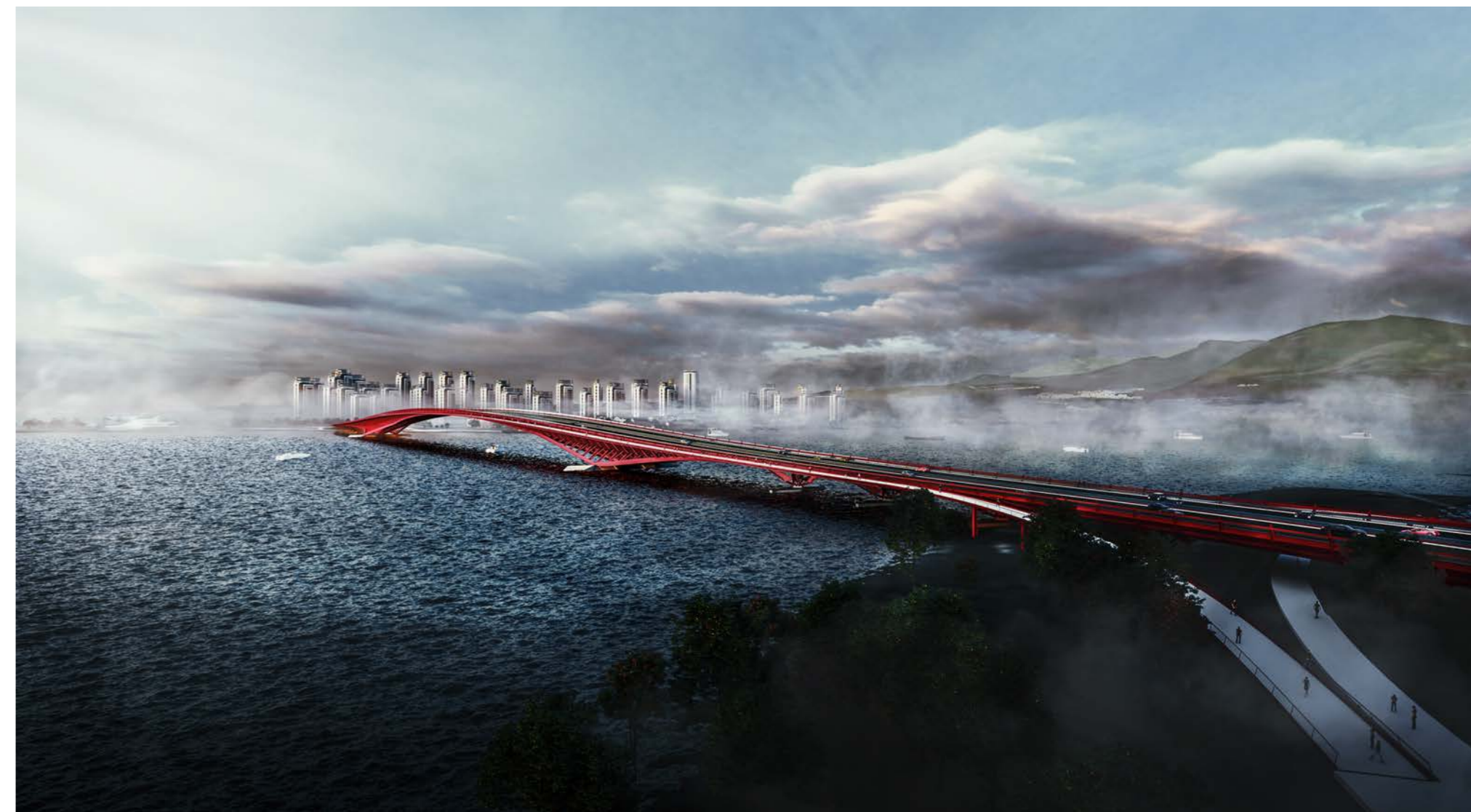
U návrhu většiny mostů, obzvláště u mostů s velkými rozpory, mnoha dopravními pruhy apod., forma a výsledná podoba obvykle velmi silně koresponduje s technickým řešením mostu. V tomto ohledu se Danjiang Bridge neliší. Naopak. Výsledná podoba je přímo formována technickým řešením a nijak jej neskrývá.

Danjiang Bridge je navržen jako soustava **4 hlavních obloukových nosníků z vysokopevnostní oceli HPS 100W** (s mezí kluzu 780 MPa), které jsou vzhledem k délce hlavního rozponu 580m relativně velmi nízké, pouze 30 metrů. Tento poměr délky a výšky umožňuje umístit komunikaci s maximálním podélným sklonem menším než 6% přímo na nosnou konstrukci. Na obou stranách mostu je navržena komunikace se dvěma jízdními a jedním odstavným pruhem s **návrhovou rychlostí 80 km/h**, Dále pak oddělená **komunikace pro pěší a cyklisty**, rovněž na obou stranách. Vzhledem

k těmto dopravním nárokům dosahuje most v nejširším místě až 55 metrů. Směrem ke středu hlavního rozponu klesá úroveň pěší/ cyklo komunikace oproti vozovce a objevuje se nad ní **zastřešení** tvořené směrově nezávislými solárními foliemi. Ty jsou z cca 85% průhledné.

Při navrhování průběhu osy jak hlavní mostovky, tak pruhů pro pěší/ cyklo, z jedné strany řeky na druhou bylo dbáno na **geometrickou plynulost** jejího tvaru, tj. v křivost křivky se kontinuálně vyvíjí, neobsahuje žádné „skoky“. Komunikace pro pěší a vyklidily tuto křivku vizuálně přenáší na boky mostu, kde vytváří jasnou linii ve výškové úrovni horní pásnice hlavních nosných oblouků. Ke zvýraznění tvaru ve večerních hodinách je navržen systém osvětlení.

architektonická vizualizace 01



Hlavní žebra nosné konstrukce jsou úmyslně zvětšena oproti minimálnímu rozměru, který vychází ze strukturální analýzy, tak, aby vytvářely při pohledu z břehů řeky dojem souvislé plochy a aby umocnily linii běžící po boku mostovky. Dimenze všech ostatních prvků je ponechána.

Uprostřed mostu je plavební koridor s minimální světlostou výškou 20m nad hladinou vody (za odlivu) šířky 300 metrů. Směrem ke středu se světlá výšky vyšplhá až na 27m.

Danjiang Bridge je navržen jako adaptivní konstrukce. K adaptaci na aktuální zatížení využívá **468 lineárních aktuátorů** (elektrických pístů)(značka **a** ve výkresech) navržených jak v diagonálách hlavních obloukových nosníků (celkem 336 prvků), tak v podporách na koncích mostu (celkem 132 prvků). Od prvků se očekává **schopnost vytvářet opačné síly k silám působícím na konstrukci** a tím zmírňovat zatížení dopravou a větrem,

přenášet zatížení z více do méně zatížených prvků, redukovat deformace a vibrace, zabránit jevům jako aeroelastický flutter apod.

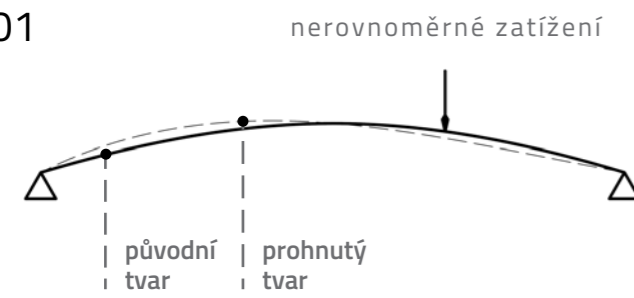
Právě kombinace využití adaptivní konstrukce a vysokopevnostní oceli umožňuje mostním obloukům mít navržený poměr rozpon / výška.

Způsob jakým je most na obou stranách ukončen a propojen s okolím je popsán v předchozí části této práce.

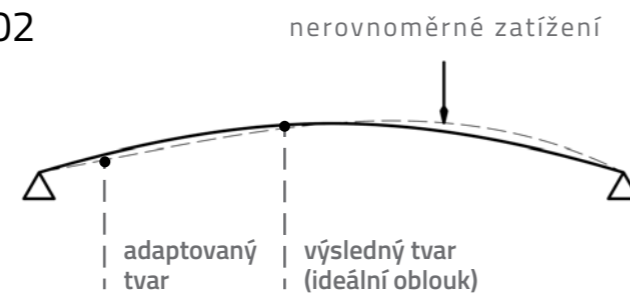
architektonická vizualizace 02



01



02



Zjednodušený princip fungování adaptivního oblouku

Tvar oblouku je velmi efektivní při přenášení vertikálních sil do podpor, pokud je však zatížen nerovnoměrně, ztrácí efektivitu. Zatímco u standardních konstrukcí se tento problém řeší dostatečným nadimenzováním konstrukce vedoucím k minimalizaci průhybu, aktivní oblouk předpokládá **využití aktivních prvků** (v případě Danjiang Bridge lineárních aktuátorů) **k úpravě svého tvaru** tak, aby působil proti aktuálnímu zatížení. Výsledný zatížený tvar se tak blíží původnímu tvaru a oblouk neztrácí na efektivitě.

Výkresová část

pohled východní
[1:1000]

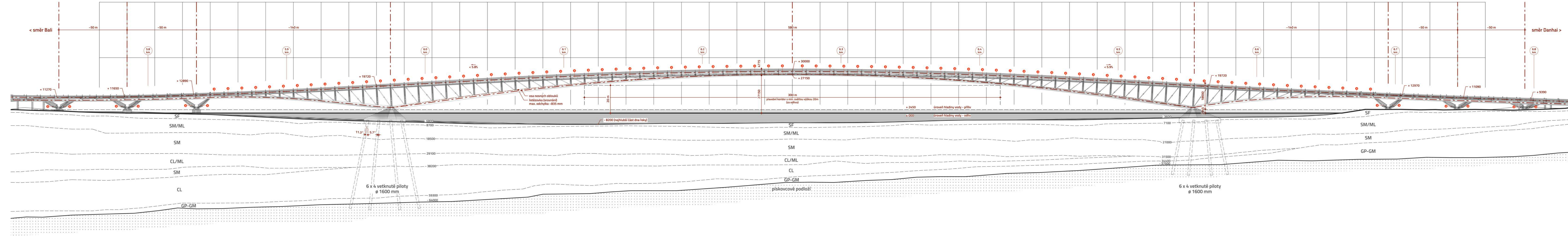


půdorys hlavní části mostu
[1:1000]

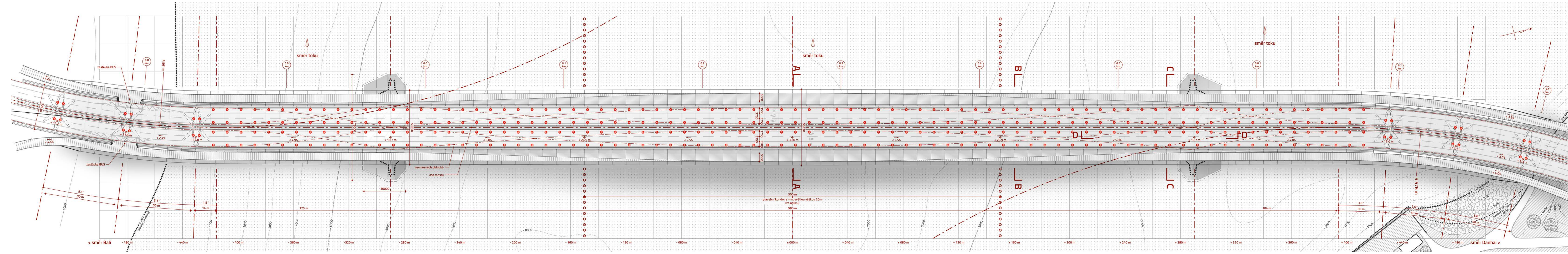


označení aktivních prvků





pohled východní [1:1000] <
 označení aktivních prvků a

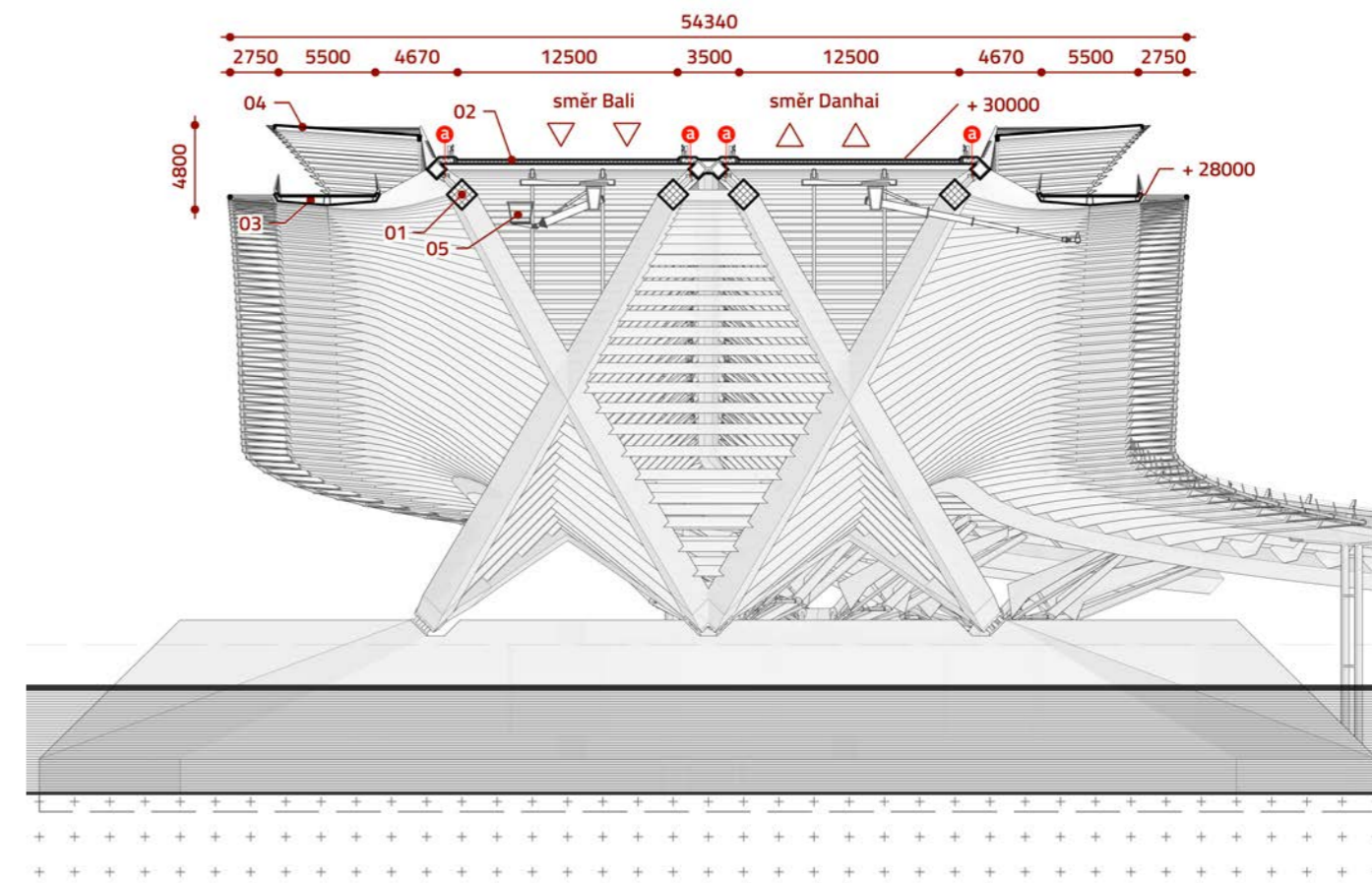


půdorys hlavní části mostu
[1:1000]

označení aktivních prvků

- a** označení aktivních prvků
- 01** hlavní nosné oblouky
- 02** lehká mostovka z prefab. kompozitních desek, epoxy asfalt
- 03** mostovka pěší/ cyklo
- 04** zastřešení pěší/ cyklo komunikace směrově nezávislými solárními foliemi (průhledné cca 85%)
- 05** mobilní robotická ramena pro automatizovanou kontrolu/ přístup údržby

příčný řez A
[1:500]



a označení aktivních prvků

01 hlavní nosné oblouky

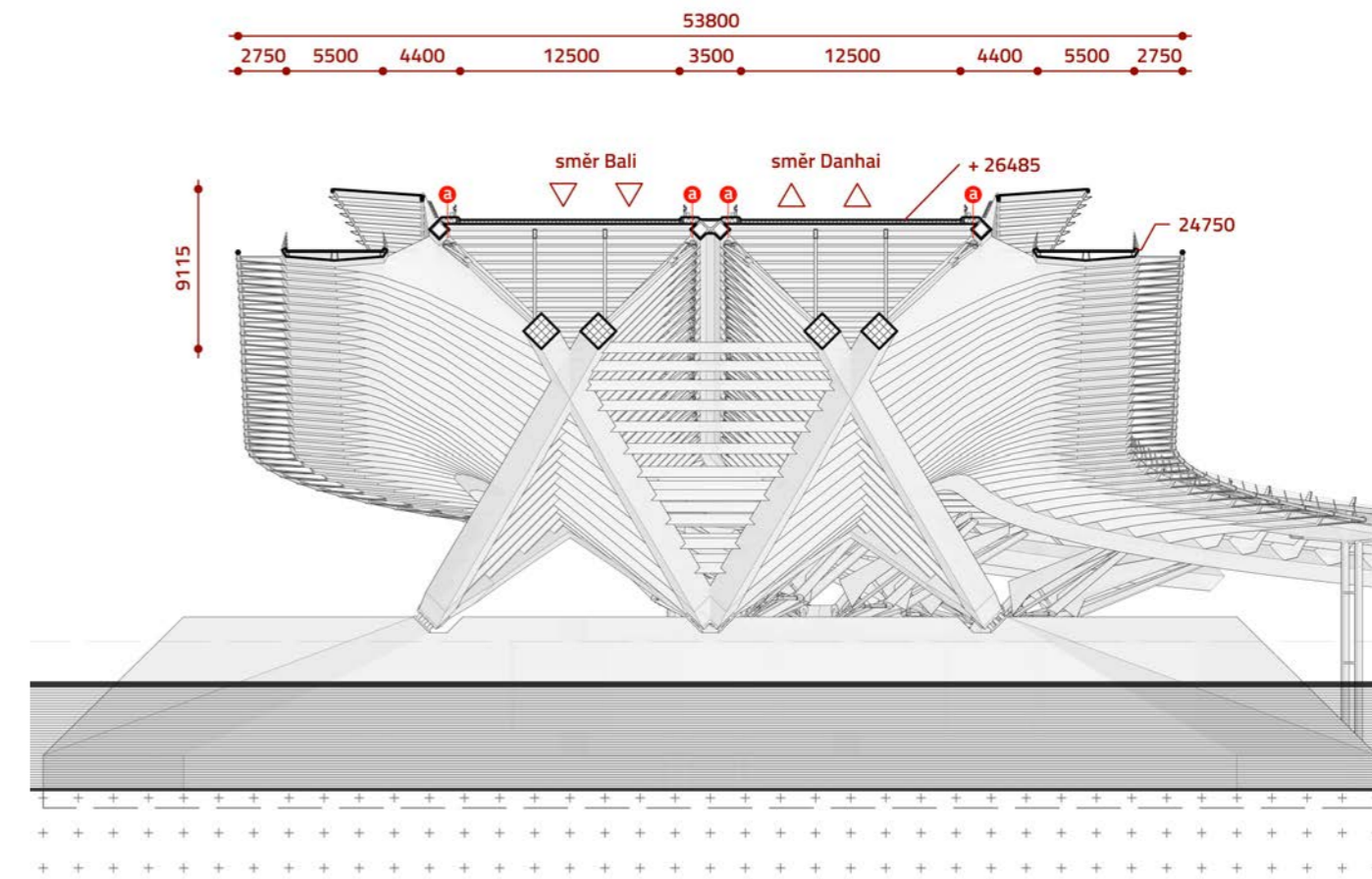
02 lehká mostovka z prefab. kompozitních desek, epoxy asfalt

03 mostovka pěší/ cyklo

04 zastřešení pěší/ cyklo komunikace směrově nezávislými solárními foliemi (průhledné cca 85%)

05 mobilní robotická ramena pro automatizovanou kontrolu/ přístup údržby

příčný řez B
[1:500]



a označení aktivních prvků

01 hlavní nosné oblouky

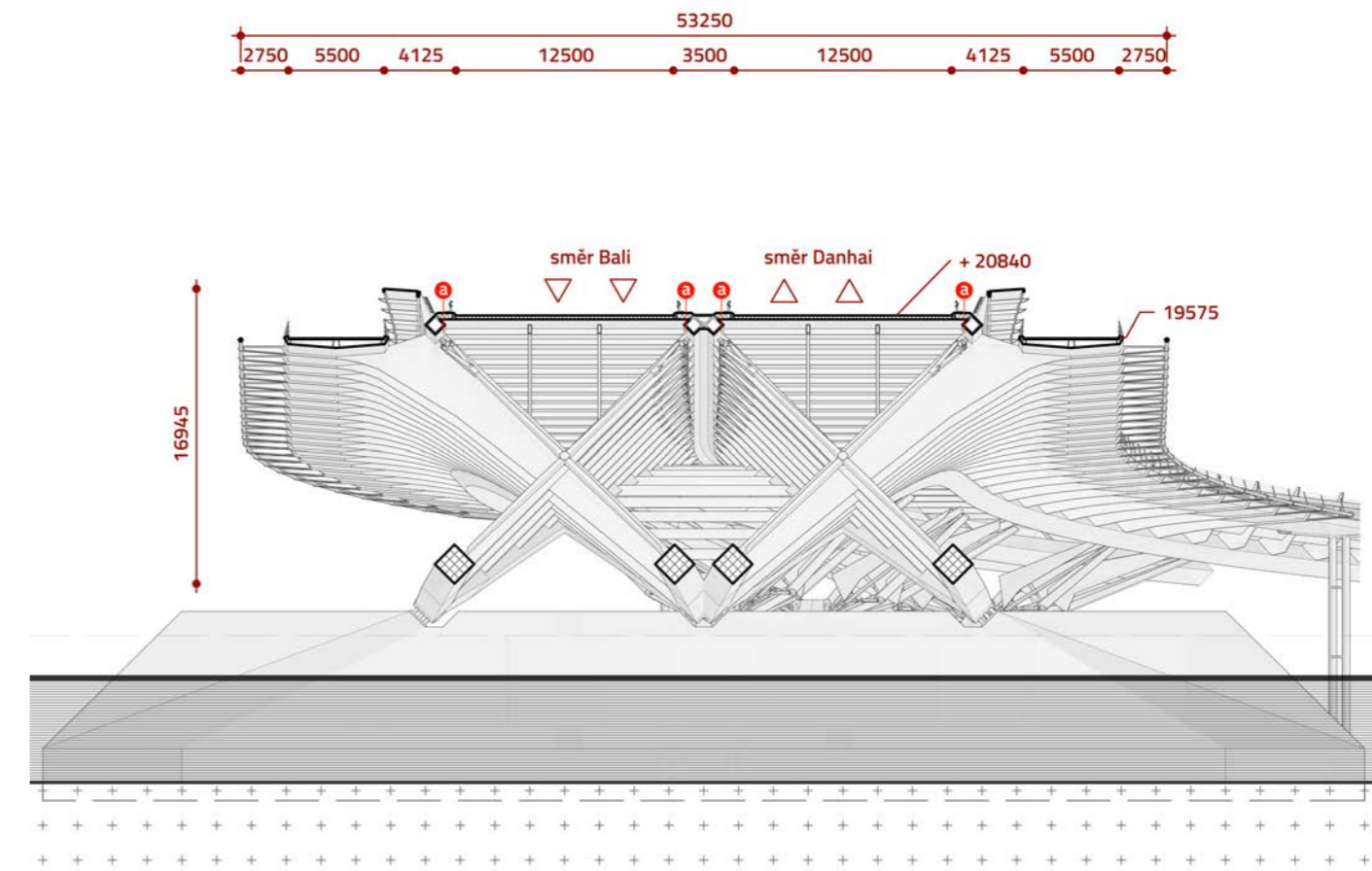
02 lehká mostovka z prefab. kompozitních desek, epoxy asfalt

03 mostovka pěší/ cyklo

04 zastřešení pěší/ cyklo komunikace směrově nezávislými solárními foliemi (průhledné cca 85%)

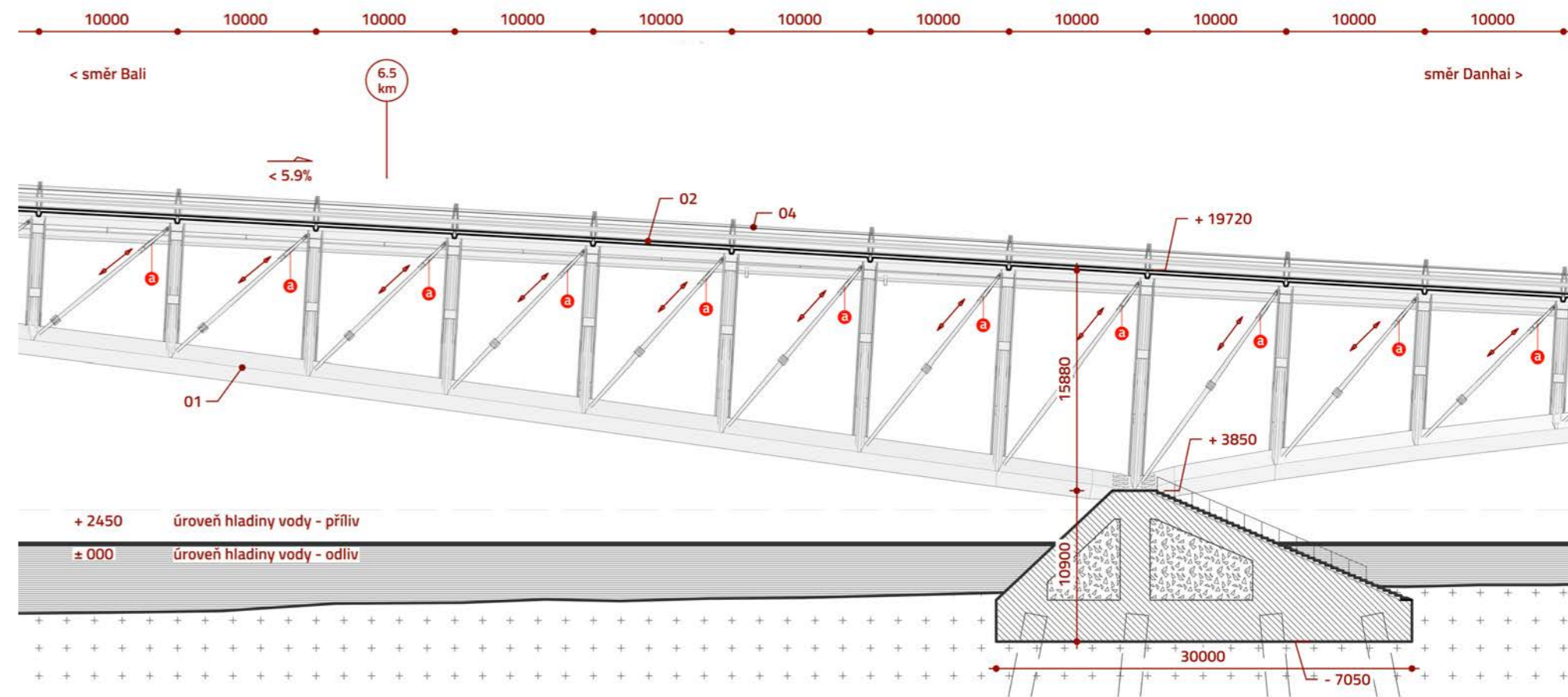
05 mobilní robotická ramena pro automatizovanou kontrolu/ přístup údržby

příčný řez C
[1:500]



- a** označení aktivních prvků
- 01** hlavní nosné oblouky
- 02** lehká mostovka z prefab. kompozitních desek, epoxy asfalt
- 03** mostovka pěší/ cyklo
- 04** zastřešení pěší/ cyklo komunikace směrově nezávislými solárními foliemi (průhledné cca 85%)
- 05** mobilní robotická ramena pro automatizovanou kontrolu/ přístup údržby

podélný řez D
[1:500]



Strukturální analýza

Analýza konstrukce mostu byla nedílnou součástí návrhu architektonicko-technického řešení mostu a **výsledná navržená forma z ní přímo vychází**. Struktura mostu byla posuzována metodou konečných prvků během jednotlivých fází vývoje geometrie mostu, nejdříve ve 2D, později ve 3D. K simulaci chování struktury a aktivních prvků byl vytvořen parametrický 3D model a systém propojení několika typů softwareu, pluginů a knihoven.

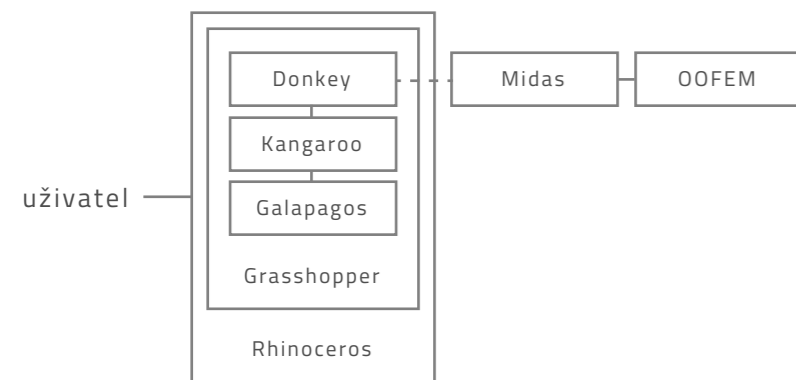


schéma hierarchie propojení použitého softwareu

Fáze simulace:

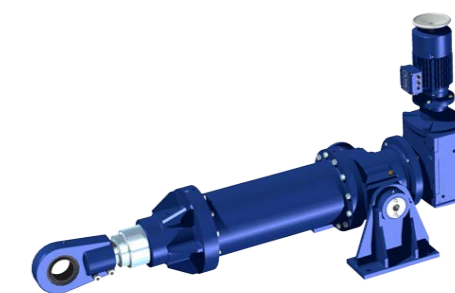
- 01** Uživatel zadává/ upravuje geometrii modelu, dimenze průřezů a hodnoty zatížení.
- 02** Donkey složí zadané údaje a pomocí můstku Midas komunikuje se systémem OOFEM, který provede analýzu metodou konečných prvků.
- 03** Galapagos zkouší automaticky v několika tisících iteracích měnit délky aktivních prvků, Kangaroo v každé iteraci změní geometrii konstrukce tak, aby aktivní prvky měly novou požadovanou délku, a předá data zpět k analýze nového tvaru.
- 04** Galapagos vyhodnotí rozdíl mezi deformacemi nezatíženého modelu a upraveného zatíženého modelu. Podle výsledku buď spustí další iteraci úpravy modelu, nebo simulaci ukončí.
- 05** Z hodnot ideálních změn délek jednotlivých aktivních prvků lze zjistit sílu, kterou by každý prvek měl v konstrukci vyvolat.

Hodnoty zatížení použité pro finální simulaci modelu

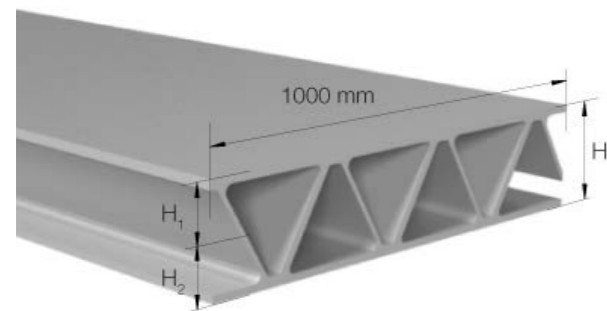
Hodnoty vychází z Eurokódů EN 1991-2 Traffic loads on bridges and footbridges a z EN 1991-1-4 General actions - Wind actions. První zmíněná norma specifikuje zatížení od silniční a pěší dopravy na mostech. Pro potřeby simulace z ní byly převzaty hodnoty 9kN/m² pro hlavní jízdní pruhy (šířka 2x 3m), 2,5kN/m² pro ostatní jízdní pruhy (včetně odstavných a dalších ploch, šířka 2x 9m) a 2,5kN/m² pro pruh pěší/ cyklo (šířka 2x 5,5m) . Koeficient bezpečnosti pro užité zatížení byl použit 1,5.

Druhá zmíněná norma uvádí způsob výpočtu zatížení větrem na základě jeho rychlosti, výšky konstrukce, exponovanosti, atd. Pro potřeby simulace byla stanovena hodnota 6kN/m², která odpovídá rychlosti větru 100m/s (rychlost nejsilnějších tajfunů v nárazech).

Jako rozmezí sil, které jsou schopné aktivní prvky vyloval bylo zvoleno -250 až +250 kN, které se zdá být více než dostatečné k dosažení uspokojivých výsledků a na trhu dostupné lineární aktuátory vyhovují svou velikostí potřebám konstrukce (jejich délka se pohybuje v rozmezí cca 1500 až 3000 mm a výkon elektromotoru cca 5 až 20 kW podle rychlosti reakce).



Příklad dostupných produktů - Racoco K1T10, aktuátor schopný vyvolat sílu až 500kN zdroj: <http://racoco.de>



Příklad prefab. kompozitního panelu určeného pro využití na mostech Fiberline FBD600, při tloušťce 225 mm tíha 1,01kN, zdroj: <http://fiberline.com>

Zatížení vlastní tíhou

Zatížení vlastní tíhou počítá u nosných prvků použitý software sám na základě zadaných dimenzí nosných prvků. Pro snížení hmotnosti nenosných prvků byla hledána náhrada klasické železobetonové mostovky (ta je v modelu považována za nenosnou, nosná jsou pouze žebra spojující horní pásnice hlavních obloukových nosníků pod mostovkou). Jako vhodná alternativa se nabízí použití prefabrikovaných kompozitních panelů s tenkou vrstvou (25mm) epoxy asfaltového betonu na povrchu. Tíha tohoto souvrství pak byla stanovena na $1,6\text{kN/m}^2$ při tloušťce 250 mm (tíha stejné tloušťky betonu se pohybuje kolem $5,5\text{kN/m}^2$). Celková tíha nenosných prvků byla pro potřeby simulace odhadnuta na 60kN/m a přenásobena koeficientem bezpečnosti 1,35.

Úprava tvaru nosných oblouků

Parametrický 3D model mostu používaný pro strukturální analýzu byl připraven tak, aby bylo možné měnit křivost v jednotlivých částech oblouků. Pomocí pluginu Galapagos bylo vyzkoušeno několik tisíc různých kombinací křivostí v různých částech oblouků. Jako nejefektivnější se jeví obecná křivka třetího stupně, která má oproti řetězovce stejné výšky a rozponu menší křivost směrem k podporám a větší křivost uprostřed rozponu. Maximální odchylka této křivky od řetězovky je 835 mm (srovnání viz. výkresová část - pohled východní).

Průřez hlavních oblouků byl stanoven na 1600/1600 mm, $1,6\text{m}^2$ plocha, směrem ke středu rozponu rozměry klesají až na 1200/1200mm, $0,44\text{m}^2$.

Zatěžovací model

Během simulace chování a dimenzování nosné struktury mostu bylo vyzkoušeno velké množství kombinací zatížení, v této práci je uveden pouze jeden model zatížení - model, který se ukázal jako nejvíce nepříznivý (dosahuje nejvyšších hodnot průhybu a napětí v nosných prvcích). Jedná se o model, kdy je užité zatížení od dopravy, pohybu pěších a cyklistů aplikováno pouze na polovině oblouku v kombinaci s bočním větrem (viz schéma 03 dále).

v nezatížený stav

schéma 01
zatížení vlastní tíhou [kN/m]

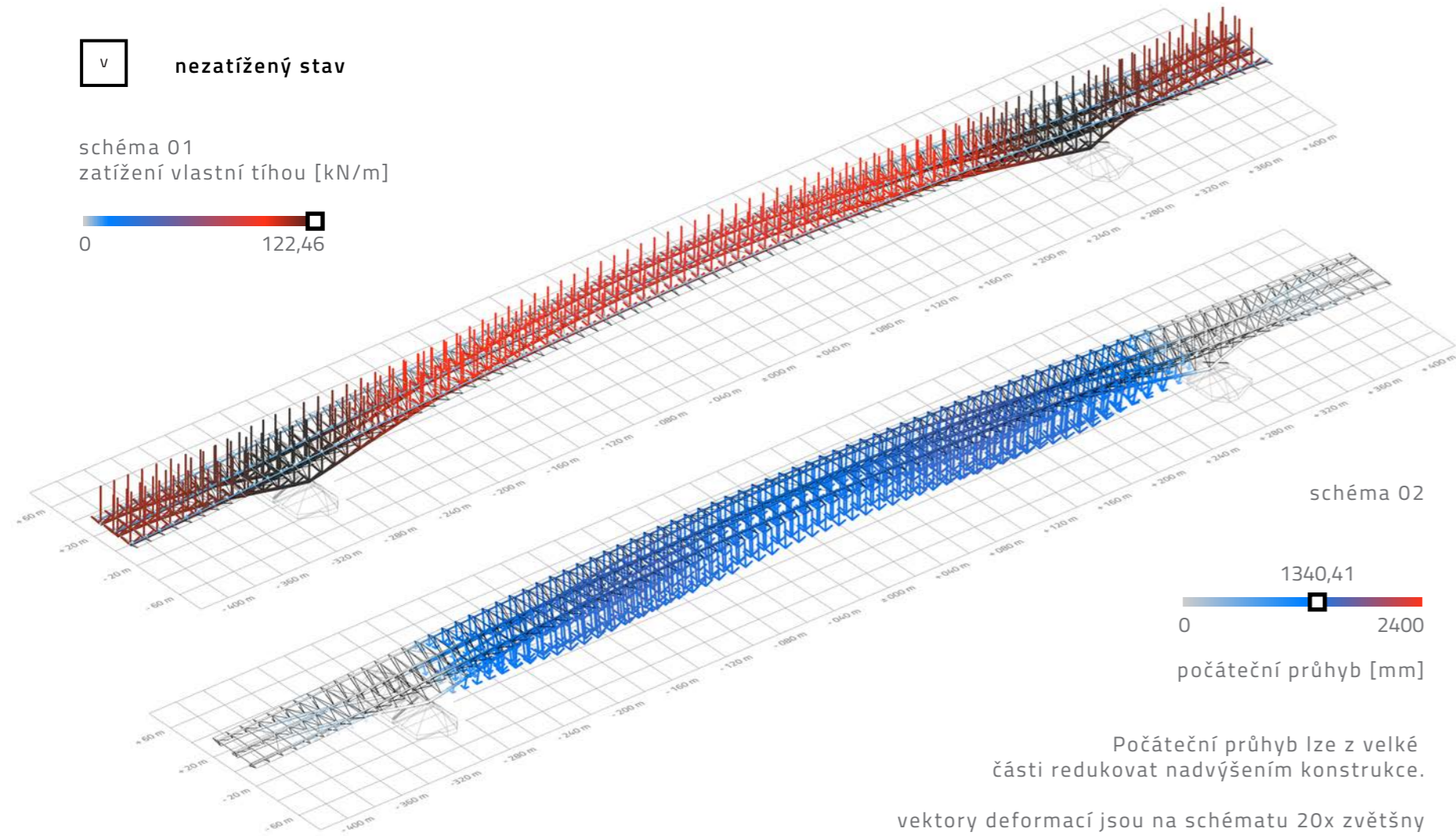


schéma 02

Počáteční průhyb lze z velké části redukovat nadvýšením konstrukce.

vektory deformací jsou na schématu 20x zvětšeny

v zatížený stav

schéma 03
zatížení

- dopravou
- pěší/ cyklo
- větre

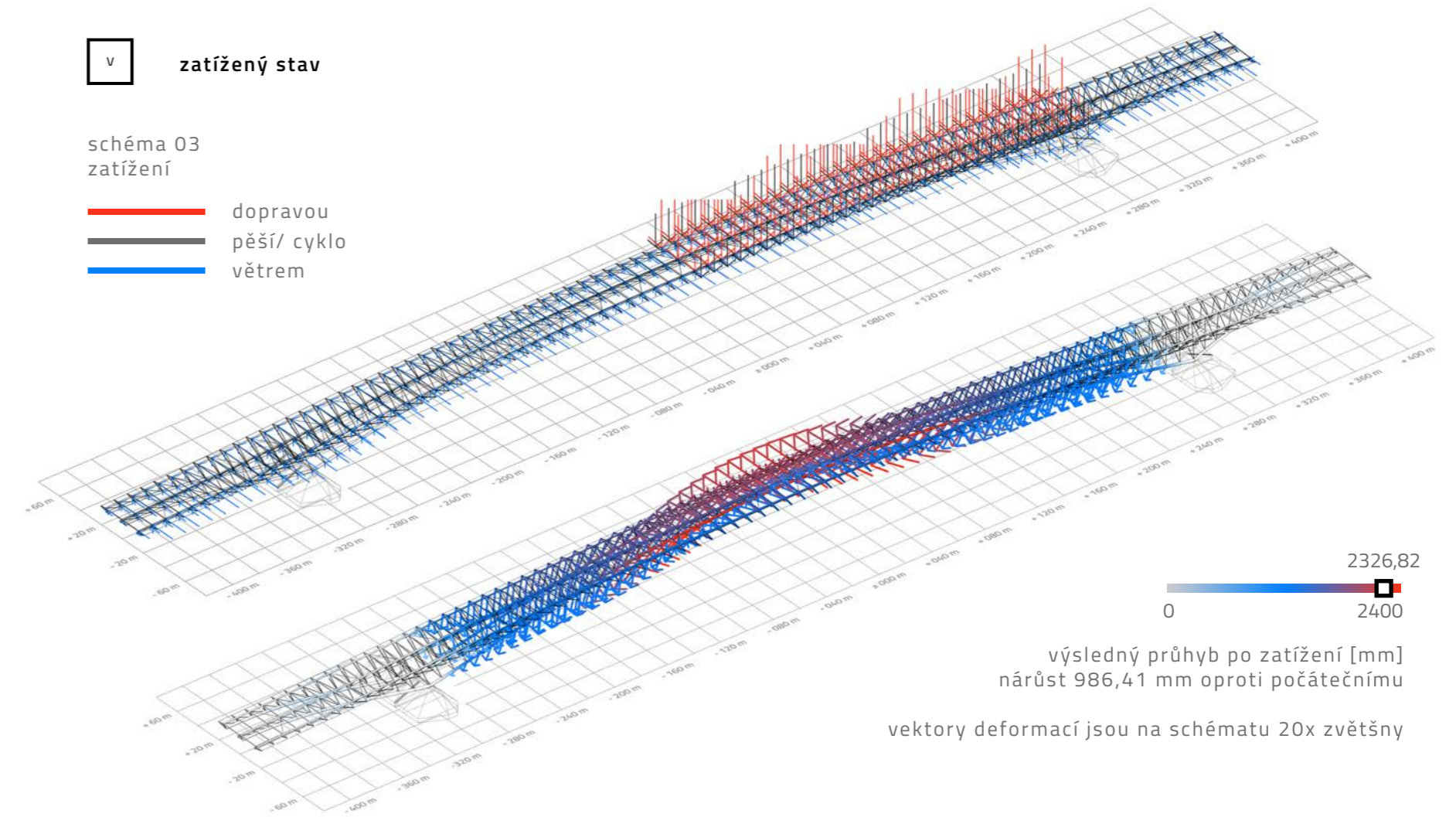
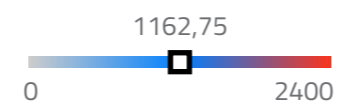
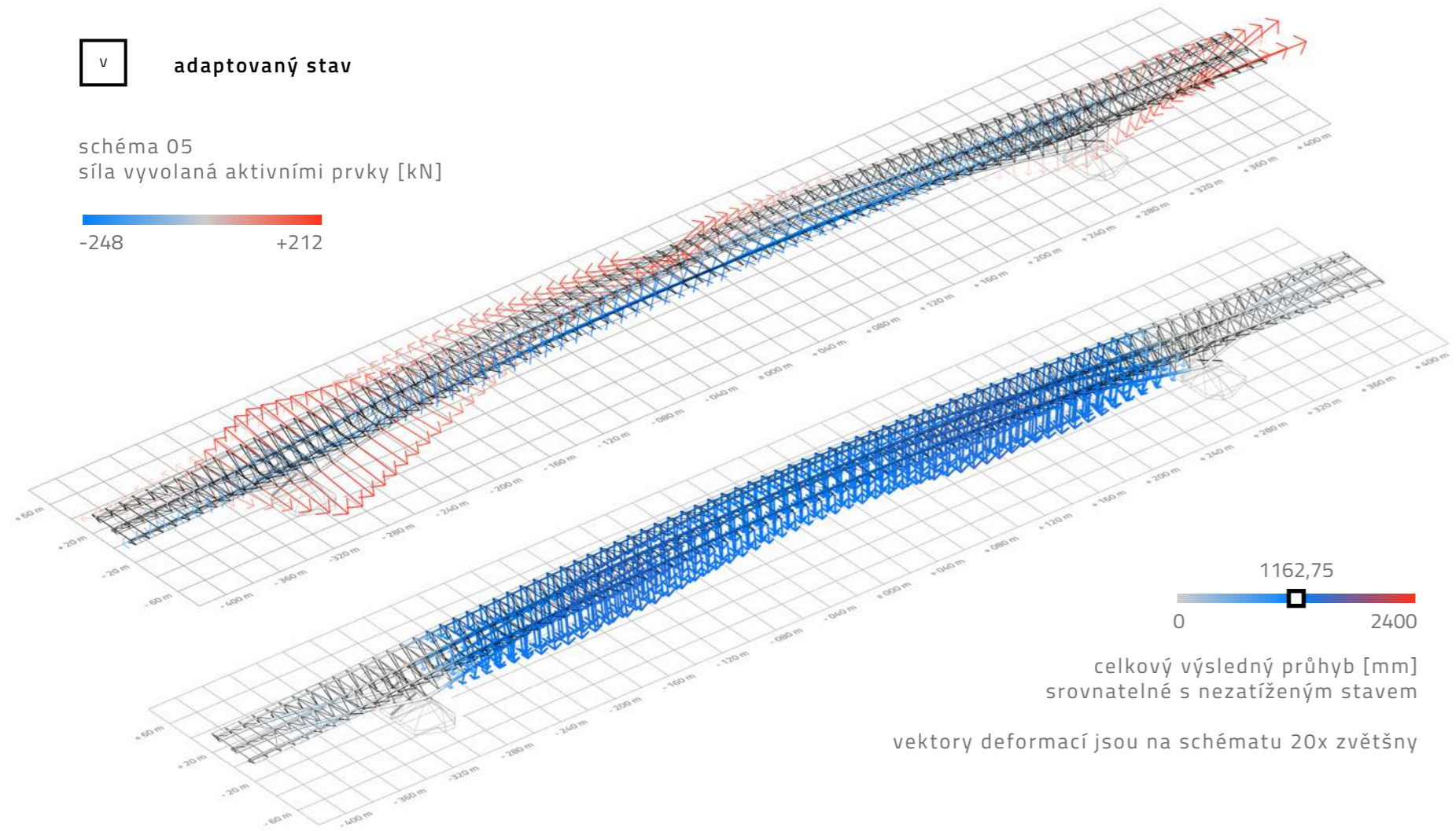


schéma 04

výsledný průhyb po zatížení [mm]
nárůst 986,41 mm oproti počátečnímu
vektory deformací jsou na schématu 20x zvětšeny

v adaptovaný stav

schéma 05
síla vyvolaná aktivními prvky [kN]



celkový výsledný průhyb [mm]
srovnatelné s nezatíženým stavem

vektory deformací jsou na schématu 20x zvětšeny

schéma 06

v srovnání hodnot

průhyb



1340,41 mm
2326,82 mm
1162,75 mm

normálové napětí



-260 až +307 MPa
-248 až +287 MPa
-236 až +277 MPa

max. celkové napětí



579 MPa
703 MPa
520 MPa

max. reakce v podporách



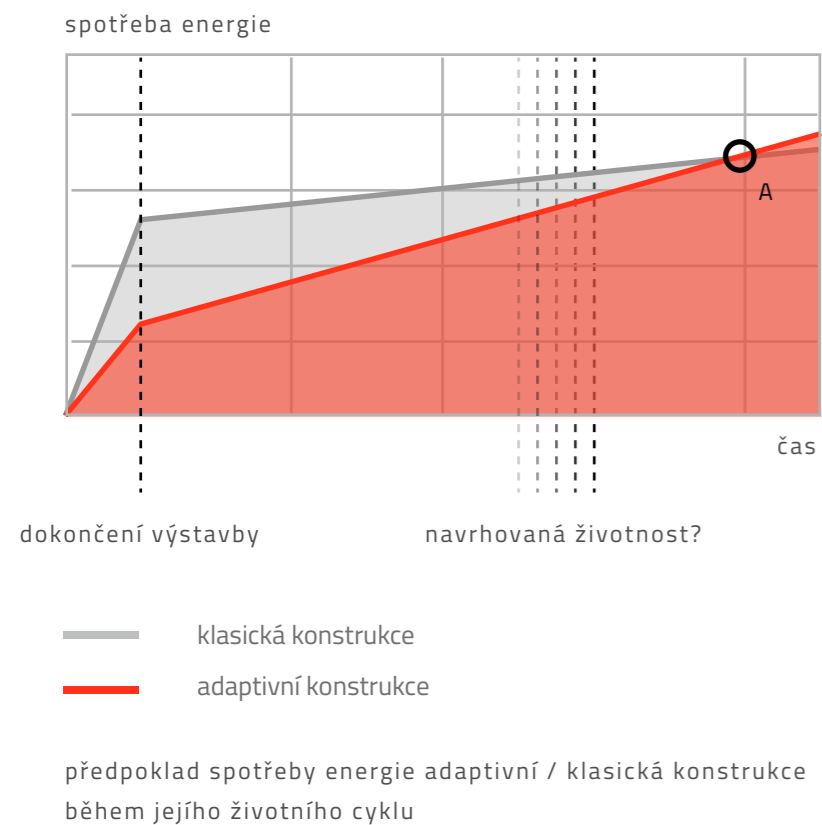
147,30 MN
196,89 MN
129,69 MN

využití nejvytíženějšího prvku



74,30 %
90,19 %
66,61 %

— nezatížený stav
— zatížený stav
— adaptovaný stav



energetická efektivita

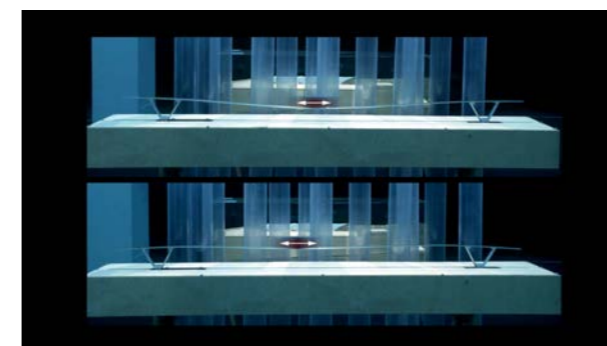
U klasických konstrukcí se předpokládá největší spotřeba energie (zpracování a transport materiálu) před dokončením výstavby, během jejího životního cyklu se spotřebovává energie na údržbu a opravy. U adaptivní konstrukce se předpokládá menší spotřeba materiálu při výstavbě a s tím spojená menší spotřeba energie v čase dokončení výstavby, ale během jejího životního cyklu se spotřebovává energie navíc na adaptaci konstrukce a větší nároky na údržbu a opravy. Tím pádem za určité časové období dochází k situaci, kdy celková spotřeba energie adaptivní konstrukce překonává klasickou (bod A). Podmínkou efektivity adaptivní konstrukce tedy je, aby tato situace nenastala před dosažením navrhované životnosti konstrukce. Jak rychle tato situace nastane závisí na mnoha faktorech, například na nastavení citlivosti systému - na jak silná zatížení reaguje nebo nereaguje, na spotřebě energie využitých aktivních prvků apod.



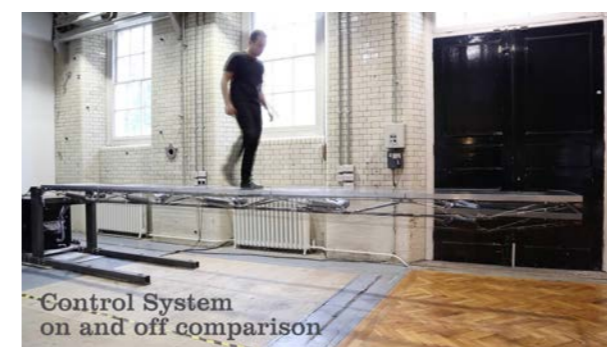
01

současný výzkum a funkční prototypy

Tématu adaptivních konstrukcí se v současné době věnují mimo jiné instituce jako ILEK, Universität Stuttgart, UCL, MIT, apod. Momentálně již bylo úspěšně sestrojeno několik funkčních prototypů, např. SmartShell (01) využívá k adaptaci aktivní prvky v podporách. To umožnilo stavbu dřevěného zastřešení tloušťky pouze několik mm. „Stuttgarter Träger“ (“Stuttgartský nosník”)(02)(Prof. Dr.-Ing. Werner Sobek) využívá pohybů podpor mostovky k vytvoření předpětí působící proti zatížení (funkční model). Gennaro Senatore na UCL popisuje tematiku adaptivních konstrukcí, posouzení jejich efektivity a vhodné použití teoreticky, ale i bezpečnost použití apod. Jako důkaz konceptu sestrojil s týmem spolupracovníků 6 metrů dlouhou adaptivní konzolu (03) tloušťky pouze 160 mm se systémem sensorů a aktuátorů. Průhyb zatíženého stavu se po adaptaci blíží 0.



02



03

Další technické aspekty projektu

Založení stavby

Základové poměry v řešené lokalitě jsou poměrně složité - na dně řeky se nachází hluboká vrstva různých kombinací málo únosných písků a jílů (viz výkresová část - pohled východní). Únosné pískovcové podloží se v místě hlavních podpor nalézá v hloubce 37,5 m u severní podpory a až 64 m u jižní podpory. Spojení patek nosné konstrukce mostu s únosnou pískovcovou vrstvou je předběžně navrženo pomocí 2x 24 ražených vetknutých pilot o průměru 1600 mm. Vzhledem k nedostupnosti a jazykové bariéře při hledání podkladů byla únosnost pilot stanovena empiricky z údajů o založení mrakodrapu Taipei 101, který se nalézá cca 10 km od řešené lokality a řeší obdobné základové poměry. Mrakodrap je založen na 260 pilotách o průměru 1575 mm, hloubce přes 80m a únosnosti cca 13MN.

Reálná únosnost pilot by tedy ještě musela být v budoucnu stanovena výpočtem, jejich počet a dimenze se mohou změnit. Geometrie patek a pozice pilot reaguje na fakt, že síly přenášené konstrukcí mostu do podpor mají u nízkého oblouku velkou horizontální složku. Ta je částečně eliminována působením půloblouků, kterými konstrukce pokračuje dále od středu, dále pak hmotností patek, které jsou kvůli zvýšení hmotnosti vyplněny štěrkem.

Výstavba

Kromě základových pilot a patek jsou téměř všechny prvky mostu navrženy v dimenzích, které nepředstavují zásadní problém co se transportu z výroby na místo týká. Směr výstavby by probíhal od konců mostu ke středu hlavního rozponu, přičemž nejproblematictější je právě výstaba hlavního rozponu. Návrh způsobu výstavby je postupně spouštění nových prvků z již existující mostovky na místo a tedy postupné „vykonzolování“ mostu směrem ke středu hlavního rozponu. Relativně mála hloubka řeky v místě (max 8,2 m) by měla umožňovat umístění dočasných podpor na potřebných místech, než by došlo ke spojení obou stran mostu.

Údržba

K běžné kontrole, údržbě a zajištění snadného přístupu i ke spodním částem mostu navržena dvojice rozložitelných robotických ramen, pohybujících se po kolejnicích zavěšených na spodní straně mostovky (viz. řez A). Ramena by měla několik vyměnitelných hlavic/nástrojů, např. nástroji pro kontrolu a opravu nátěru konstrukce, kameru pro vzdálenou kontrolu personálem či plošinu umožňující personálu přístup na jakékoliv místo na konstrukci. Rozložitelná ramena by měla být schopna dostat se i na hůře přístupná míst.

Vypracovaný návrh mostu splňuje všechny předem specifikované nároky na umístění pruhů pro silniční dopravu, pro pěší i pro cyklisty, snaží se citlivě propojit s komunikacemi v okolí, spojovat existující koridory a vytvářet nové atraktivní volnočasové plochy ve svém okolí.

Odpověď na otázky položené na začátku této práce hledá v netradičním technologickém pojetí, které umožňuje mít mostu podobu, se kterou by tradiční konstrukce s velkou pravděpodobností měly problémy.

Vzhledem k tomu, že se téma adaptivních konstrukcí zatím nalézá více či méně v experimentální fázi a nikdy nebylo realizováno takovému měřítku, přináší s sebou řadu otázek, na které zatím není bez dalšího výzkumu možno odpovědět. Na druhou stranu další zkoumání dané tematiky by v budoucnu mohlo přinést velmi zajímavé výsledky.

závěr

Poděkování

doc Ing. arch. Miloš Florián, Ph.D.

za odborné vedení diplomní práce

Ing. arch Lukáš Kurilla

za pomoc s technickým zpracováním projektu
a upravováním pluginu Donkey pro potřeby tohoto
projektu

Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc.

za odborné konsultace projektu

DI Elmar Hess

diplomová práce
Miroslav Hlava

