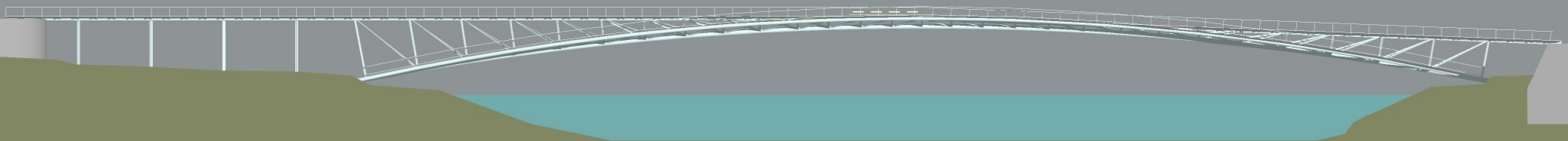


Passerelle de la Paix LYON

*static
behavior*

*statické
pôsobenie*

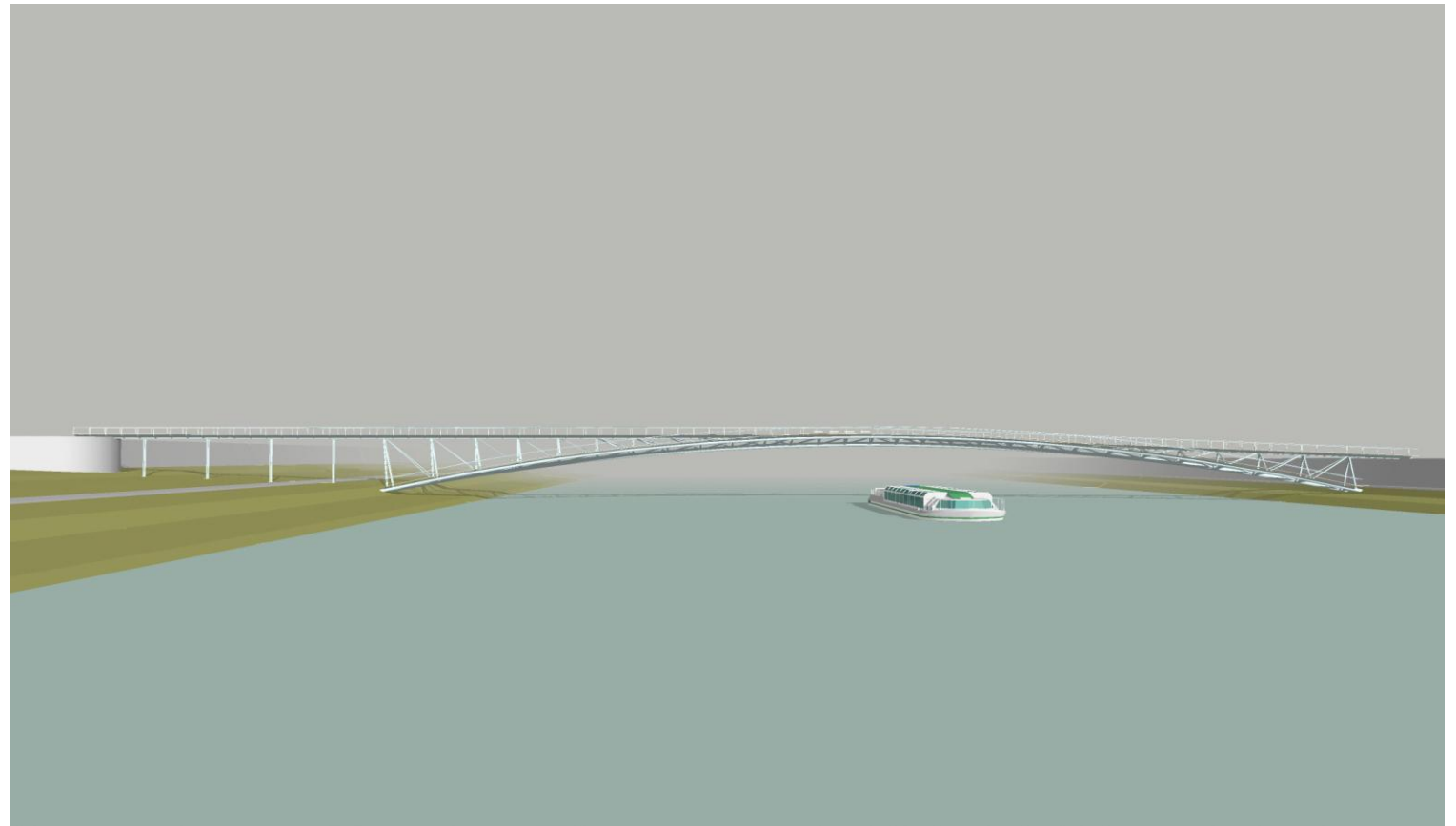


*theory, analysis
Vladimír Budinský SSK*

Keywords: footbridge, bridge, computation, calculation, structural analysis, peace footbridge, passerelle pour piétons et cyclistes, most, lávka pre peších, statický výpočet, SSK

Úvod (Introduction)

Most pre peších a cyklistov nadväzuje na tradíciu oblúkových mostov v Lyone. Lávka poskytuje spojenie medzi konferenčným centrom *Cité Internationale* a susednou štvrťou *St. Claire*. Extrémne štíhly oceľový trojboký priehradový oblúk ponúka maximálnu priehľadnosť vo všetkých smeroch bez akýchkoľvek konštrukčných prvkov nad mostovkou. Asymetrická trubková konštrukcia je pokrytá ľahkými jednoduchými dubovými doskami s protišmykovou úpravou bez odvodňovačov, pričom dažďová voda steká pomedzi dosky rovno do rieky Rhône. Mesto Lyon má jedinečne usporiadanú zástavbu medzi dvomi riekami – *Rhône* a *Saône*, čo je medzi veľkými mestami celkom unikát. Je to tretie najväčšie mesto Francúzska s miliónmi obyvateľov, so započítaním aglomerácie dokonca druhé. Za novým konferenčným centrom je obrovský park *Parc de la Tête d'Or* včetně veľkej vodnej plochy a zoologickej záhrady.





Most ponúka rôzne spôsoby krížovania : na jednej strane priamy horný prepój od jedného horného nábrežia po druhé (pričom nábrežia nie sú celkom v jednej úrovni), na druhej strane oblúk od jedného spodného brehu po druhý vo forme nepravidelného schodiska. V polovici prechodu sa dve cesty spoja a vytvoria osem metrov široký priestor s lavičkami na sedenie.

Projekt vznikol v rokoch 2009 – 2011, výstavba potom v rokoch 2011 – 2014.
Na projekte navzájom spolupracovali dve kľúčové projektové kancelárie :

Architecture : **Dietmar Feichtinger Architectes**
Structural design : **Schlaich Bergermann Partner**
Client : **Communauté Urbaine de Lyon / Grand Lyon**

Náklady stavby : 9,8 milióna eur.

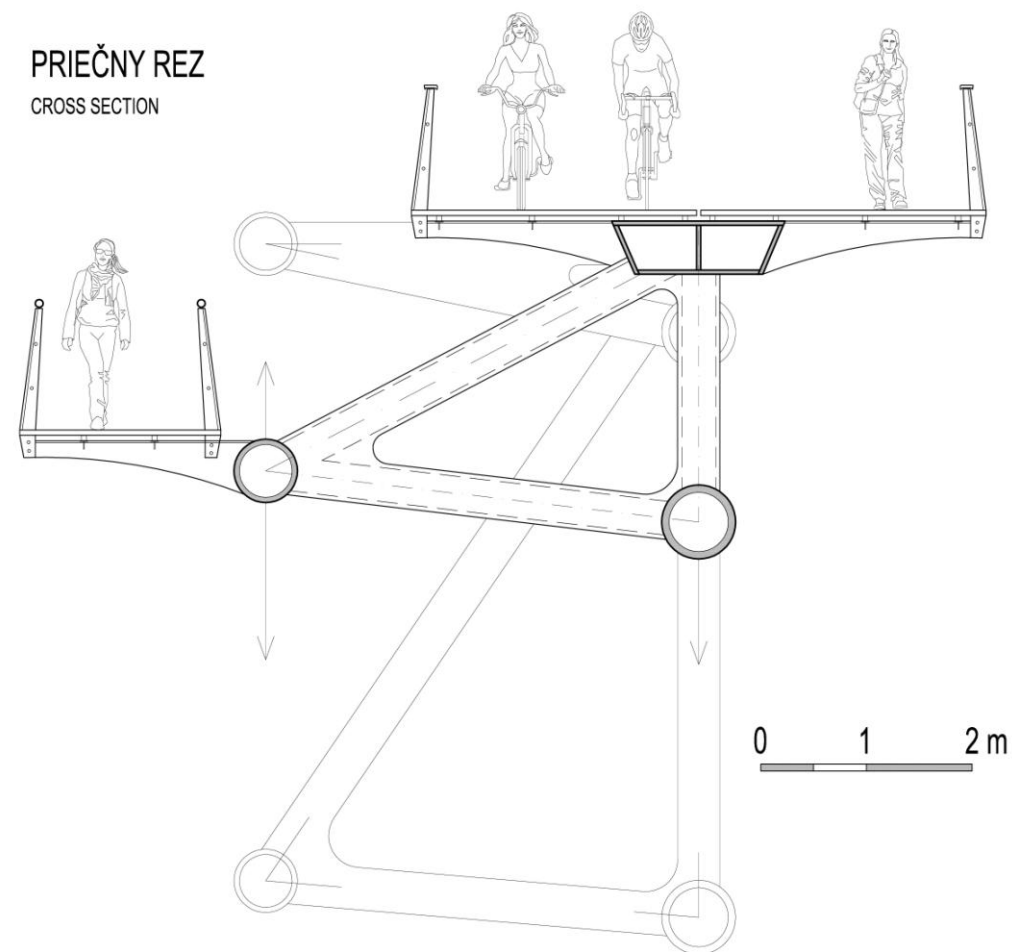
Popis konštrukcie lávky

Rozpon : 157 m
Celková dĺžka : 220 m
Priechodná šírka : 1,5 m + 5 m

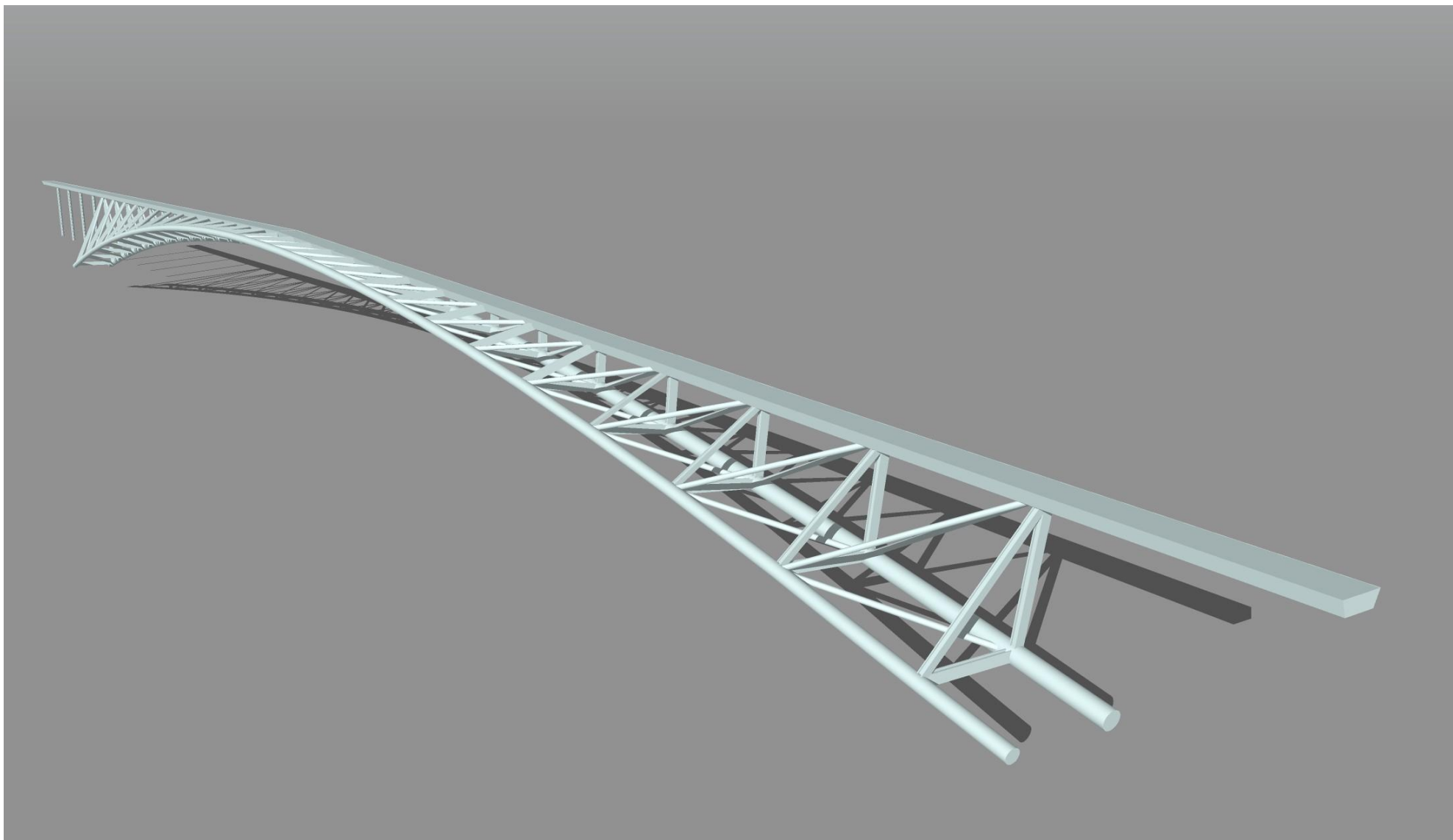
Lávka sa delí na dve časti : hlavné rozpätie cez Rhônu a bočné rozpätie na štíhlych stĺpoch v inundácii v parku *Saint-Clair*. Hlavný oblúk má veľmi plytké stúpanie len priemerne 8 m. Dolný pás oblúka, ktorý je na koncoch tvorený dvomi mohutnými rúrami, je votknutý do masívnych betónových blokov kvôli značným vodorovným silám, vznikajúcim pri plytkom oblúku. Veľké prnutie od tepelného zaťaženia je eliminované geometrickým tvarom oblúka do zvislých priehybov. Horný priamy (mierne zalomený) nosník tvorí lichobežníkový dutý profil so strednou stienkou. Na tento nosník sú privarené štíhle plechové konzolky, nesúce širší chodník pre cyklistov aj peších, šírky päť metrov. Na rozdiel od našich zvyklostí a predpisov nie sú nikde vyznačené oddeľujúce pásy pre cyklistov a pešákov, organizácia pohybu je ponechaná na empatiu zúčastnených.

Hlavná primárna oblúková rúra má priemer 711 mm a je v zvislej rovine s horným lichobežníkovým nosníkom. Sekundárna bočná rúra, ktorá nesie schodišťový chodník a zabezpečuje vodorovnú stabilitu štruktúry, má rozmer $\varnothing 559$ mm. Rúry sú navzájom zvarené ako priame polygonálne prvky a ich hrúbka je odstupňovaná podľa miery namáhania od 30 do 120 mm.

PRIEČNY REZ
CROSS SECTION



Nosná konštrukcia





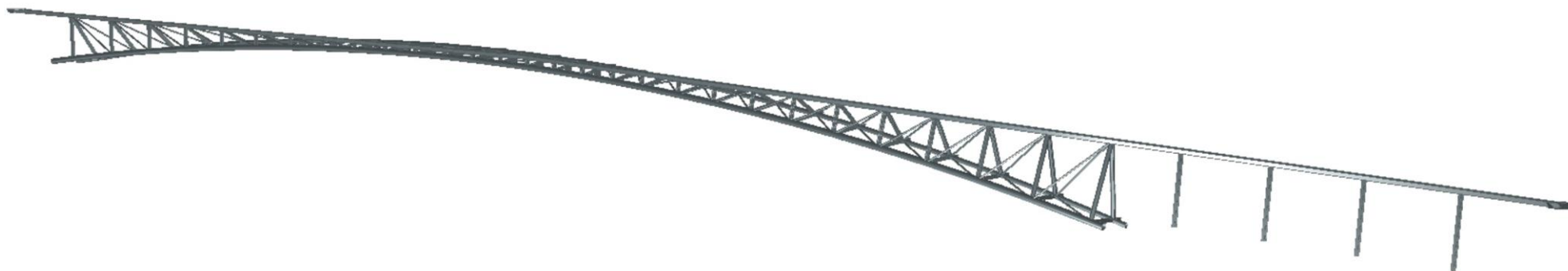
Na bočnej oblúkovej rúre je vykonzolovaný jeden a pol metrový chodník pre peších so schodiskom premenlivého stúpania. Dve oblúkové rúry a horný lichobežníkový profil sú navzájom priečne spojené tzv. „membránou“ v tvare premenných trojuholníkov, zo zvarného skriňového profilu 400x250 mm. Celá konštrukcia je potom ešte vystužená trubkovými diagonálami priemeru 200 mm. V strednej veľmi plytkej časti, kde diagonály strácajú nosný význam, sú nahradené zvislým plechom hrúbky 80 mm. Oba konce horného lichobežníkového nosníka sú s betónovými blokmi spojené dvojicou veľkých čapových spojov. Oceľ nosných prvkov je z materiálu S355 a S460.

Všetky zábradlia tvorí pozinkované pletivo upevnené na stĺpkoch z dvojitého plechu. V madlách je inštalované osvetlenie. Ložiská a závery sú úplne vynechané, čo robí most robustným a znižuje náklady na údržbu na minimum.

Výstavba mosta prebiehala podobne ako pri bratislavskom moste Apollo – montáž oblúka na brehu rovnobežne s riekou a zavážanie súlodím na konečné miesto s otočením o 90°.

Proces navrhovania a realizácie tohto mosta nebol v žiadnom časovom bode taký ľahký, ako ľahko vyzerá konečná konštrukcia. V skutočnosti bolo potrebné obrovské úsilie, aby sa podarilo dosiahnuť pôvodnú predstavu o čistom otvorenom priechode Rhôny, a to počas návrhu, ako aj počas projektovania a nakoniec aj počas výstavby.

Passerelle de la Paix (most mieru) je nepochybne krásna, elegantná lávka. Je to medzník v konštrukčnom inžinierstve a v dokonalom spojení s prostredím.



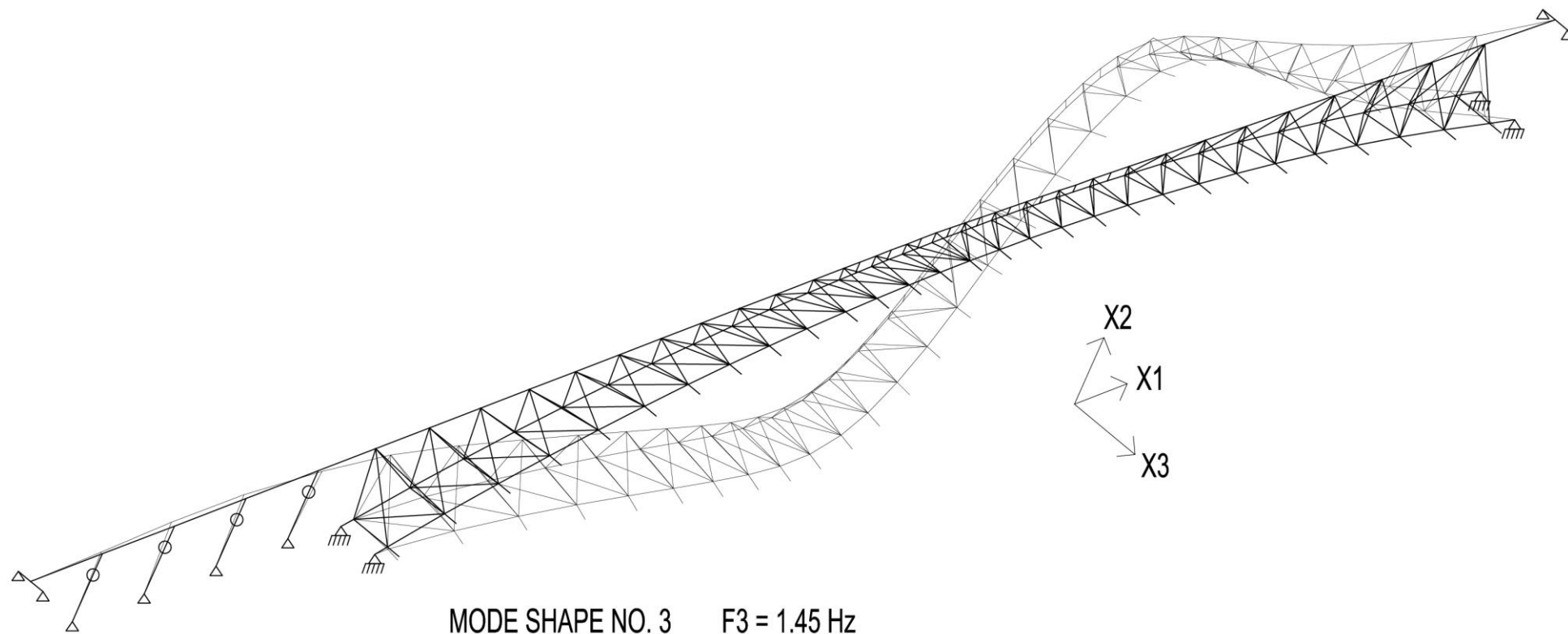
Prútový model FEM (program STRAP)

Výpočty

Za účelom pochopenia statického pôsobenia konštrukcie sme previedli zjednodušený výpočet lávky v prútovom modeli FEM. Išlo hlavne o rozloženie napätí v prierezoch a výpočet vlastných frekvencií. Použili sme spojité rovnomerné úžitkové zaťaženie $q_{fk} = 4,0 \text{ kN/m}^2$. Vzhľadom na usporiadanie pochôznych plôch vzniklo pomerne veľké množstvo rôznych kombinácií náhodilého zaťaženia. Všetky dôležité nízke vlastné frekvencie (min. prvých osem) sa dostali do „zakázaného“ pásma.

Mode No.	Natural Frequency [Hz]	tvar
1	0,65	vodorovná
2	1,10	zvislá „U“
3	1,45	zvislá „S“

Hodnoty sú bez započítania vplyvu zábradlí a podláh.



To znamená, že v skutočnosti boli nutné podrobné dynamické výpočty za účelom získania prípustných zrýchlení a so zatriedením mosta do niektorej dovolenej tabuľkovej kolónky. Po výstavbe prebehli podrobné merania in situ s rôznymi zostavami bežcov a chodcov.

Ďalej sú popísané skutočné výpočty a požiadavky na ne od investora, prevedené výpočtármi väčšinou z firmy *SBP gmbh*.

Pre statické výpočty bol most modelovaný ako trojrozmerná konštrukcia zložená z prútových prvkov. Výpočty sa uskutočnili podľa metódy konečných prvkov (FEM), ktorá riešila jednotlivé zostavy väčšinou podľa teórie II. rádu. Dôležité detaily boli presne modelované aj ako priestorové doskosteny aj s podružnými prvkami a potom boli integrované do celkového systému. Týmto spôsobom bolo možné presnejšie preskúmať podrobnosti uzlov trojbokého nosníka. Most bol tiež testovaný vo veternom tuneli v inštitúte *WACKER INGENIEURE*.

Popri stálom zat'azení sa brali do úvahy tieto zat'azenia :

- premenlivé zat'azenie z pešej premávky od 3 do 5 kN/m²
- kolísanie teploty od -48° do +40° C s T₀ = 15° C
- vietor priečne k nadstavbe a oblúkom (podľa podkladov z vetreného tunela)

- vertikálne a horizontálne poklesy podpôr
- zvýšený prietok počas povodní, zväženie plávajúceho odpadu

Prostredníctvom analýzy stability boli vyšetované možné režimy porúch s rôznym usporiadaním podporných podmienok. Obojstranná fixácia poskytla najlepší výsledok v analýze, pretože to viedlo k zmiešanému správaniu sa konzoly a oblúka.



Most sa jednoznačne klasifikuje ako „štitlá lávka“. Pohyblivé zaťaženie je relatívne vysoké v porovnaní so stálym zaťažením, takže konštrukcia je náchylná na vibrácie. Typické pre tieto konštrukcie je to, že znížená tuhosť mosta vedie k zníženiu prirodzených frekvencií až na kritický frekvenčný rozsah. To zasa vedie k vyššej náchylnosti k vibráciám mosta a na citlivé vnímanie týchto vibrácií chodcami.

Dynamická analýza počas koncepcnej fázy ukázala, že vibrácie jednoznačne ovplyvňujú použiteľnosť, t.j. pohodlie a emočné reakcie chodcov. Vyšetrovanie dynamického správania mosta bolo preto zaradené do fázy návrhu už v počiatočnom štádiu. Boli požadované merania vibrácií už vo výberovom konaní a prípadné tlmiče mali byť vopred dimenzované. Skutočné dynamické správanie bolo stanovené meraním po dokončení mosta. Na základe tohto merania bol spolu s klientom vyhodnotený komfort mosta a boli prijaté rozhodnutia – požiadavka na inštaláciu tlmiacich prvkov. Predchádzajúca správa o vetre vylučovala aerodynamickú nestabilitu vetrom.

Uskutočnené merania ukázali relatívne nízky faktor štrukturálneho útlmu $\rightarrow 0,6\%$. Merania boli prevedené od bežného používania až po vandalizmus. Výsledky meraní za normálnych podmienok použitia vykázali zrýchlenie v strednej oblasti komfortu podľa smerníc SETRA.

S tlmiacimi prvkami v tretinách mosta ako aj v strednej oblasti mosta boli neutralizované namerané torzné vibrácie 2,2 Hz a vertikálne vibrácie 2,4 Hz.

Záver

S Passerelle de la Paix bol vyvinutý most pre peších, ktorý s jeho extrémne nízkym vzopätím hlavného oblúka dosahuje limity uskutočniteľnosti. Komplexný systém si vyžadoval veľmi starostlivé preskúmanie konštrukčného správania, definíciu geometrie, základov a výber materiálu všetkých komponentov. Vďaka vzájomnej spolupráci všetkých zúčastnených strán sa mohol zrealizovať most, ktorý ukazuje možnosti výstavby lávok s veľkým rozpätím.

Niektoré **zdroje**, použité pri tvorbe článku:

[1] Andreas KEIL, Sebastian LINDEN, Michael ZIMMERMANN : PASSERELLE DE LA PAIX, LYON – A STORY ABOUT THE EFFORT TO APPEAR EFFORTLESS, full text, Footbridge 2017 Berlin, CONFERENCE PROCEEDINGS 6. ÷ 8. 9. 2017 TU-BERLIN

[2] STN EN 1990 Zásady navrhovania konštrukcií

[3] STN EN 1990/A1 Zásady navrhovania konštrukcií, príloha A2 – Použitie pre mosty

[4] STN EN 1991–2 Zaťaženie mostov dopravou

[5] www.feichtingerarchitectes.com

[6] www.sbp.de

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

Pri zostavovaní článku boli použité nasledovné **počítačové programy** :

STRAP, SketchUp, AutoCad LT, Microsoft Word, PDF Creator, Corel Draw

