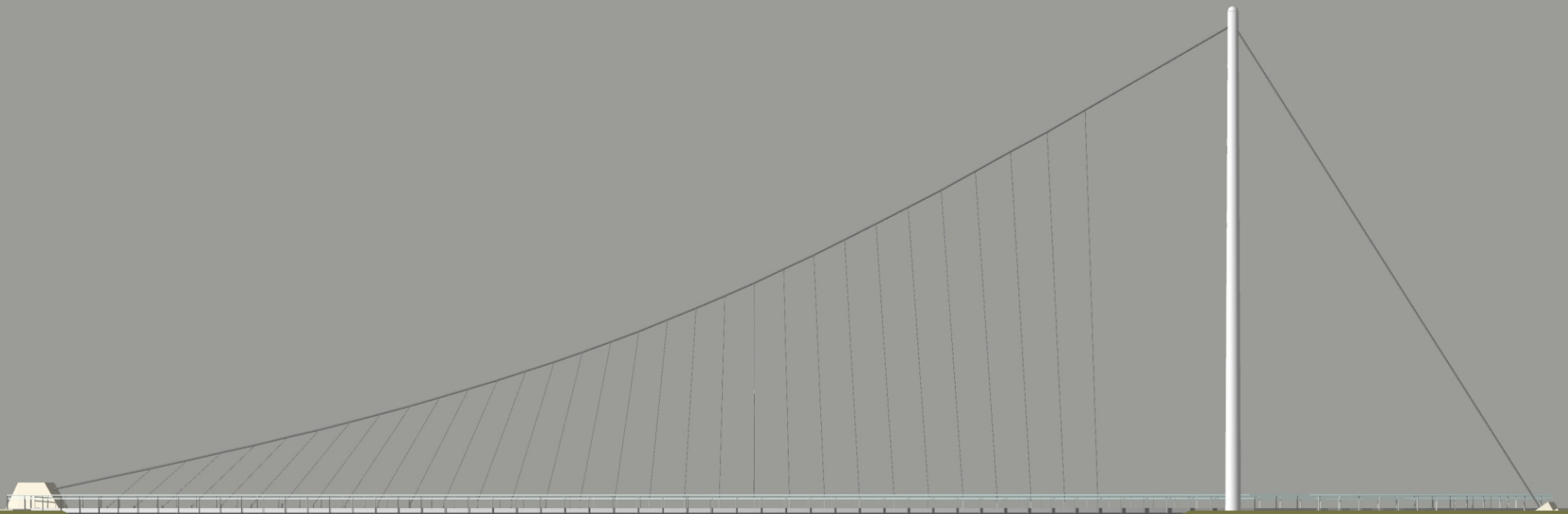


Footbridge over Drava near Villach Austria

*static
behavior*

*statické
pôsobenie*



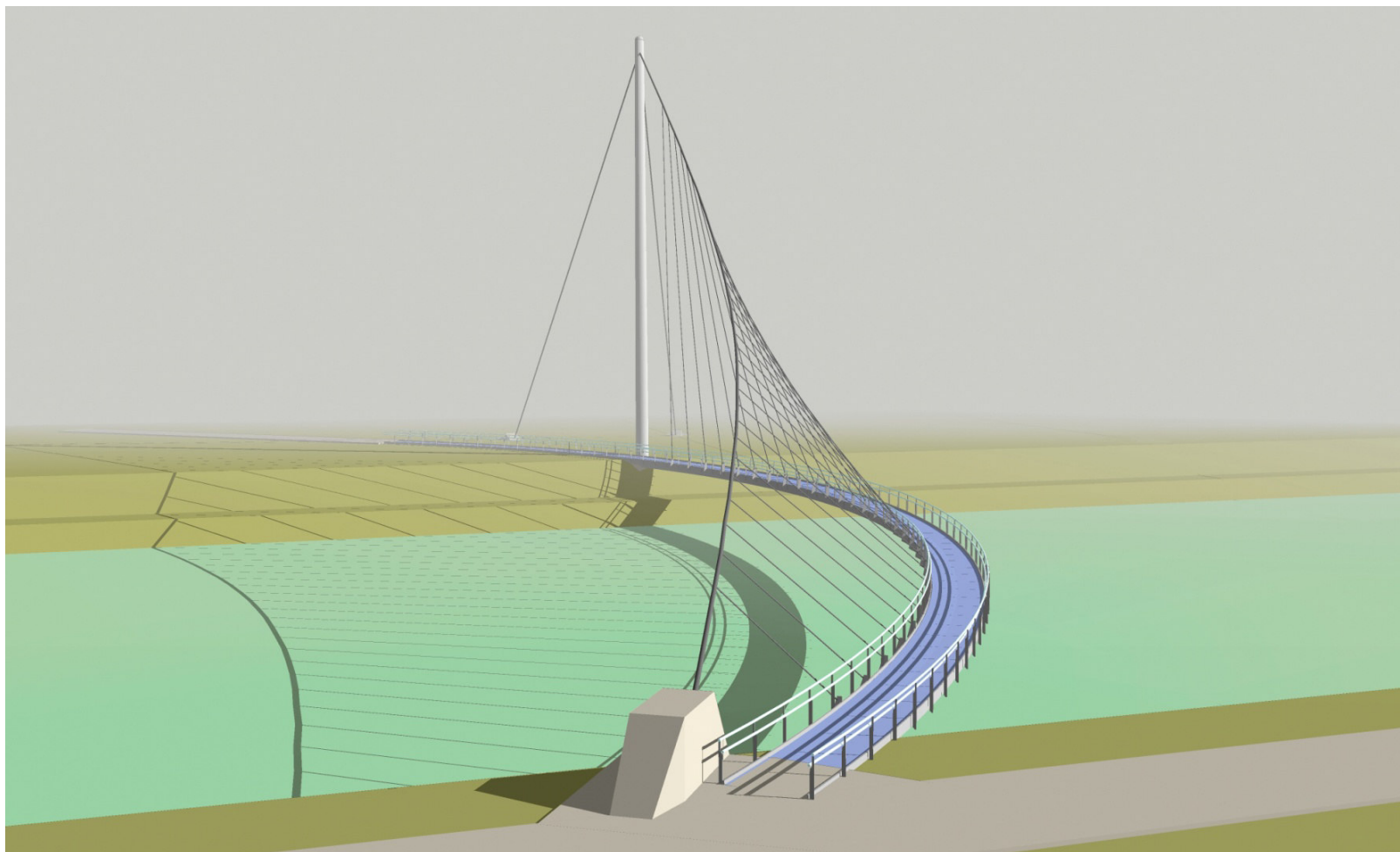
*theory, analysis
Vladimír Budinský SSK*

KEYWORDS : bridge, footbridge, suspension bridge, computation, calculation, structural analysis, statický výpočet, SSK

ÚVOD (Introduction)

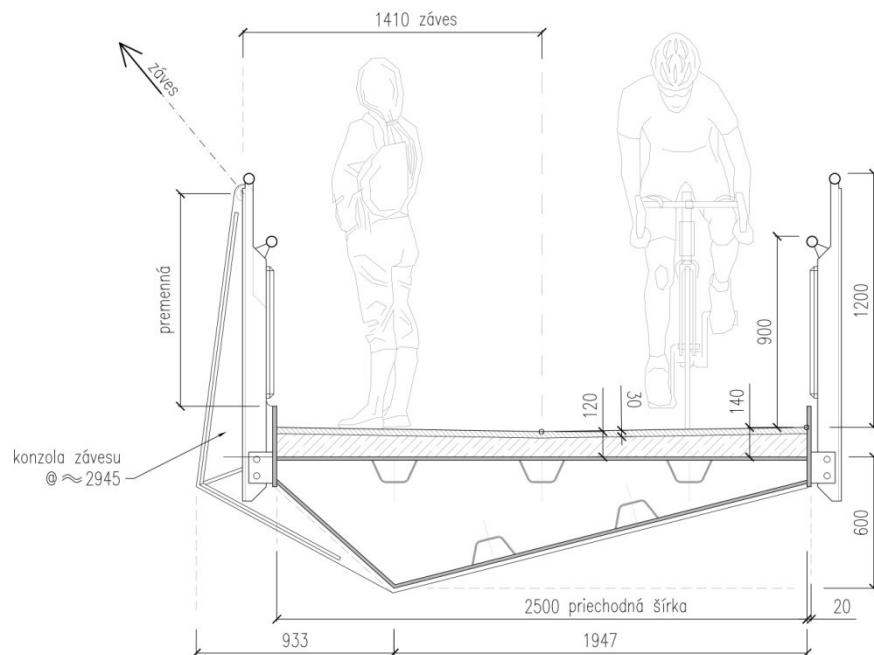
Lávka pre peších a cyklistov prekračuje rieku Dráva a tvorí spojnici medzi obcami *Töplitsch* a *Puch* pri *Villachu*. Ako názov mosta sa tiež používa *most Puch*. Obyvatelia *Töplitschu* majú okrem toho prostredníctvom mosta jednoduché napojenie na železničnú stanicu *Puch* → *ÖBB Puch* → *Österreichische Bundesbahnen* (Rakúske spolkové dráhy).

Most bol navrhnutý ako jednopoložný visutý most na zabezpečenie prepravy cez rieku Drávu. Samotná konštrukcia mostovky má pôdorysne tvar kruhového oblúka a tvorí ju oceľová nosná konštrukcia nepravidelného krabicového prierezu, ktorá je z oboch strán votknutá do železobetónových krajných opôr, založených na vŕtaných pilótach. Jediný hlavný nosný kábel



nesie všetky zaťaženia prostredníctvom závesov, nainštalovaných len na jednej strane mosta. Kábel vedie do ocelového pylónu na strane obce Puch a je ukotvený vzadu dvomi kotviacimi lanami. Hlavné lano a zadné tiahla sú navyše kotvené predpäťmi zemnými lanovými kotvami dĺžky od cca 16÷30 m, ktoré majú za úlohu vzdorovať horizontálnym silám.

priečný rez mostovkou



IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE MOSTA

Investor :	ÖBB Infrastruktur AG
Projekt nosných konštrukcií :	Horn & Partner ZT GmbH, DI Herbert Horn
Dynamické výpočty a merania:	REVOTEC GmbH, Dr. Michael Reiterer
Skúšobný inžinier (audit) :	SBV Civiltechniker GmbH, Salzburg
Miestny stavebný dozor :	BBB Mauch GmbH
Dodávatelia :	Massivbau GmbH, Ebenthal; Urbas Stahl- und Anlagenbau GmbH, Völkermarkt
Dokončenie stavby :	2015
Náklady :	2,8 mil. eur

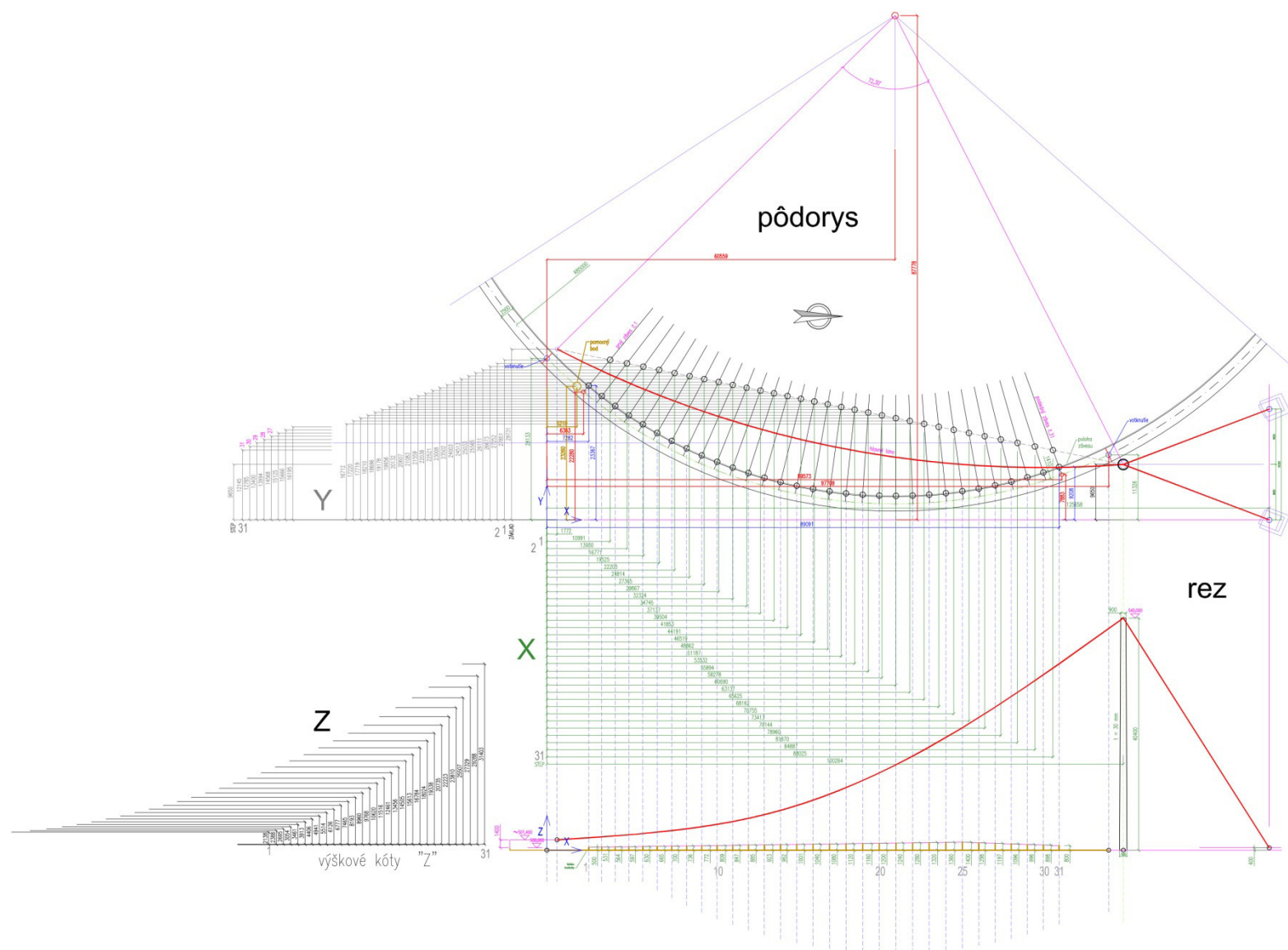
Rozpon :	104,5 m (merané po oblúku)
Výška pylóna :	40,6 m
Priečhodná šírka :	2,5 m
Výška ocelevej mostovky :	0,6 m
Typ mosta :	visutý

UPOZORNENIE : Vo všetkých obrázkoch, schémach a výpočtoch nie je zohľadnené zvislé zakrivenie a spády mostovky

NOTE : Views and calculations do not take into account the vertical curvature of the bridge deck

POPIS KONŠTRUKČNÝCH PRVKOV

Pôdorysný polomer kruhového oblúka mostovky :	85 m
Hlavné lano a dve zadné tiahla :	ø120 mm, uzavreté vinutie, GALFAN pozinkované (PV 1540 a 1450 kN)
Hĺbkové založenie železobetónových blokov :	vŕtané pilóty ø1200 mm, rôzne hĺbky do 12 m
31 lanových závesov vo vzdialenosti ≈ 2,945 m :	27x ø20,1 mm a 4x ø22,4 mm, pozinkované
Pochôdna vrstva :	betón v spáde ≈ 11 cm + liaty asfalt 3 cm
3x hmotnostné tlmiče vibrácií (TMD) :	3x 750 kg
Pylón :	kónický tvar, dole ø1300/35 mm, hore ø900/35, ocel' S355
Oceľová mostovka :	krabicová, zváraná, uzavretý tvar, priečne stuženie @ ≈ 3 m, ocel' S460 NL, 5x pozdĺžne výstužné trapézové nosníky
Maximálny pozdĺžny sklon mostovky :	< 4%
Software konštrukčnej firmy :	Programový systém Dlubal software



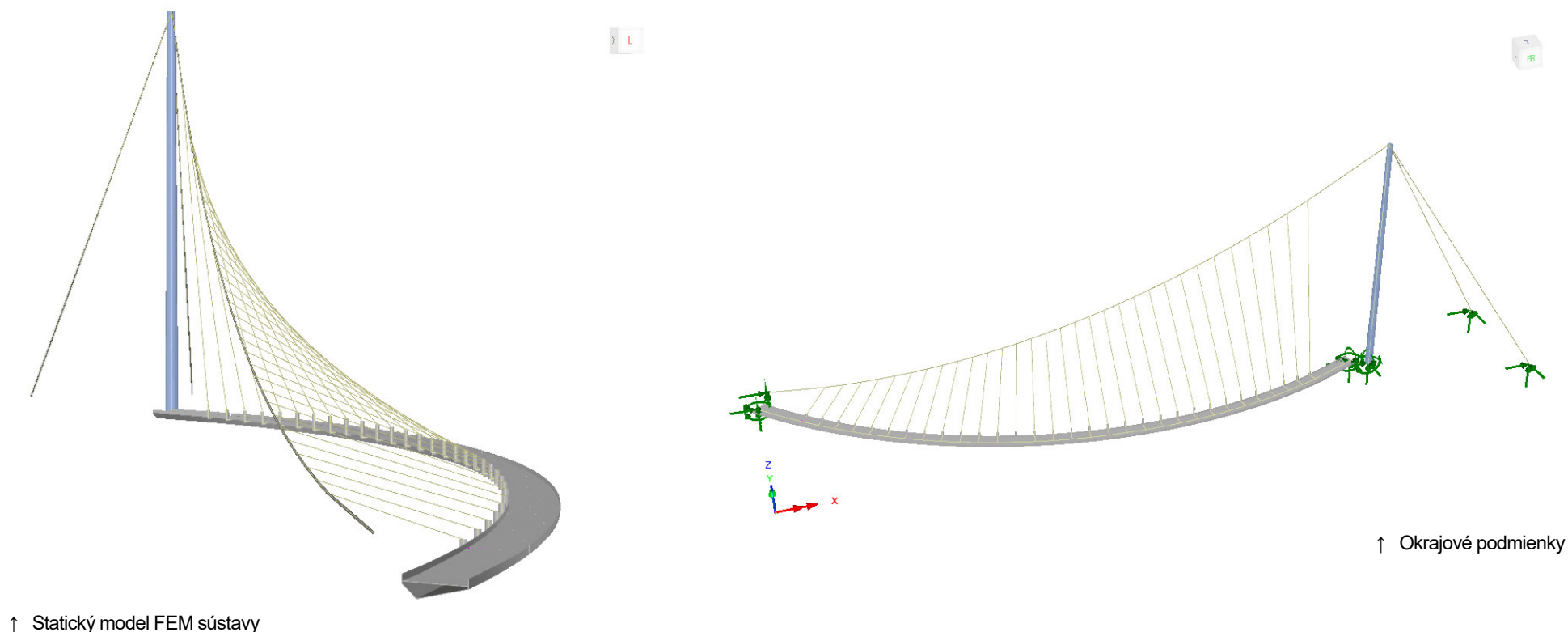
Grafické zostavovanie nosnej konštrukcie ↑



RIEKA DRÁVA

Rieka pramení v Karnských Alpách v Taliansku a pokračuje východným smerom do Rakúska a Slovinska. Ďalej pokračuje územím Chorvátska, kde tvorí prirodzenú hranicu s Maďarskom a Srbskom. Východne od mesta Osijek tvorí významný pravostranný prítok Dunaja.

V niektorých obdobiach, hlavne na jar, sa vyznačuje výnimočnou vzácnou **svetlo-smaragdovou farbou**, ktorá pochádza z alpských ľadovcových vôd a vápencového podlažia.



VÝPOČTY

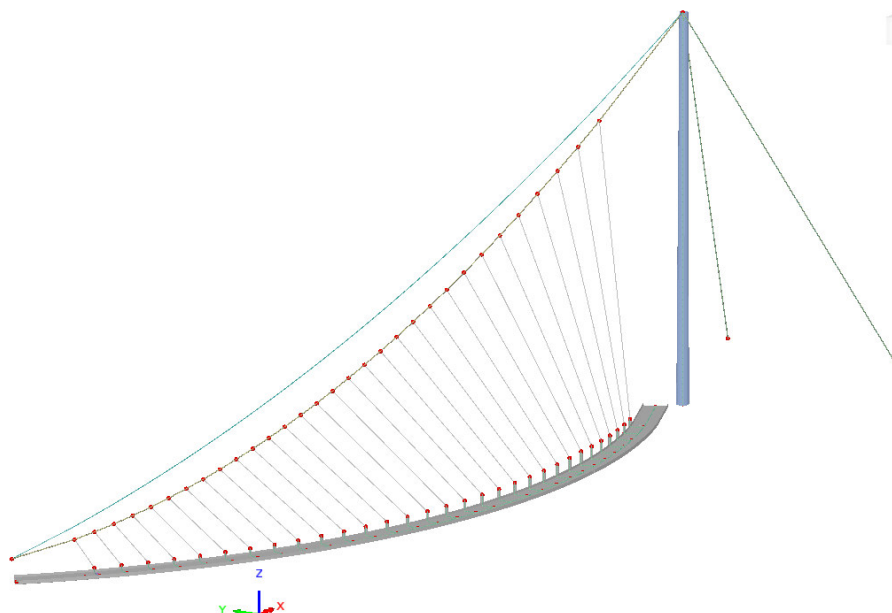
Výpočty priestorových lanových sústav sú pomerne zložité. V priebehu vývoja vzniklo veľa rozličných spôsobov, ako sa dopracovať k výsledkom pri akceptovaní prijateľnej miery chybových odchýlok. Dôležité pojmy sú : počiatočný rovnovážny stav, teória veľkých deformácií, nelineárny prístup, postupnosť (fázy) výstavby, stuhnutie systému vnesením ťahových síl, iteračné postupy a iné.

Na základe niektorých zjednodušených predpokladov a prepočtov sme sa pokúsili interpretovať pôsobenie sústavy, ktorá je úplne nesymetrická, na rozdiel od podobnej už predtým realizovanej lávky v prístave v *Sassnitz*.

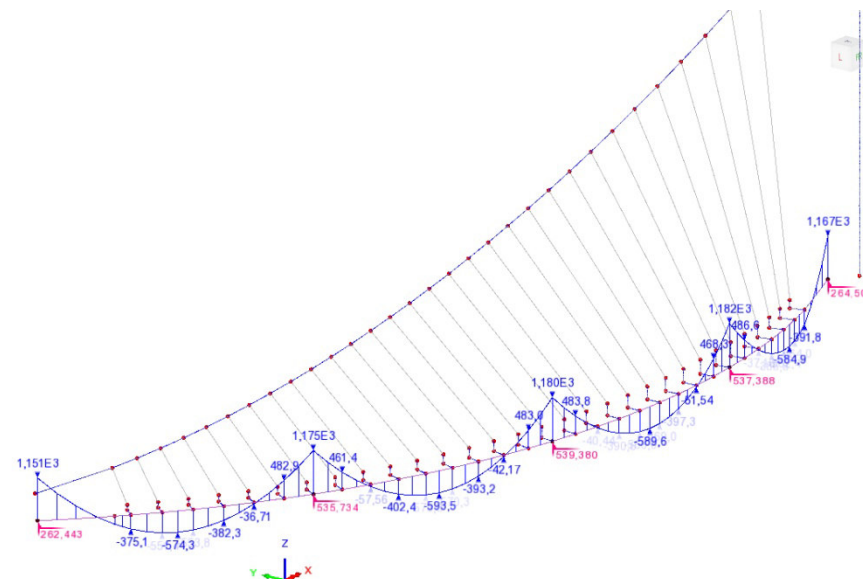
Ako prvé zjednodušenie sme prijali počiatočný tvar hlavného nosného lana ako parabol, a nie reťazovku. To sme potom zaťažili predpätím vo forme pomerného pretvorenia ϵ skrátením (alternatívne ΔT). To bola 1. fáza výstavby za deaktivácie závesných lán mostovky. Mieru predpätia sme zvolili ako cca 30% predpokladanej únosnosti hlavného lana. Nelineárny výpočet prebiehal za predpokladu veľkých deformácií (zapnutá možnosť *co-rotation*).

Keďže deaktiváciou závesov bol model rozdelený na dva nezávislé celky, mohli sme pridať lineárny zaťažovací stav mostovky pri jej montážnom podoprení v troch podperách. Nasledovala ďalšia, najdôležitejšia fáza výstavby – a to napínanie závesov takými silami, aby sa mostovka “odlepila” od dočasných podpier. Lenže veľkosť a rozdelenie týchto síl neboli vopred známe. Preto sme spočítali ešte jednu vetvovú analýzu – *nelineárne ladenie káblov* (závesov) vo fáze už aktivovaných ťahel mostovky. Podmienka zostavených rovníc bola, aby

deformácia mostovky bola > 0 , t.j. kladná smerom nahor. Tým sme dostali pomerové rozdelenie síl, ktoré sme pretavili do pomerného pretvorenia ε . Týmto predpätím sme zaťažili ďalšiu nelineárnu analýzu veľkých deformácií, ktorú sme ale museli postupne zvyšovať, aby aj ona vyvodila kladné deformácie mostovky (vplyv tuhosti hlavného lana, ktoré sa postupne deformovalo smerom nadol aj do strany). Takto systém dospel k počiatočnému rovnovážnemu stavu, na ktorom sa robili ďalšie dynamické analýzy.



↑ Fáza 1 : Deformácia hlavného lana po jeho predopnutí za deaktivácie závesov. Nelineárny výpočet III. rádu pre veľké deformácie



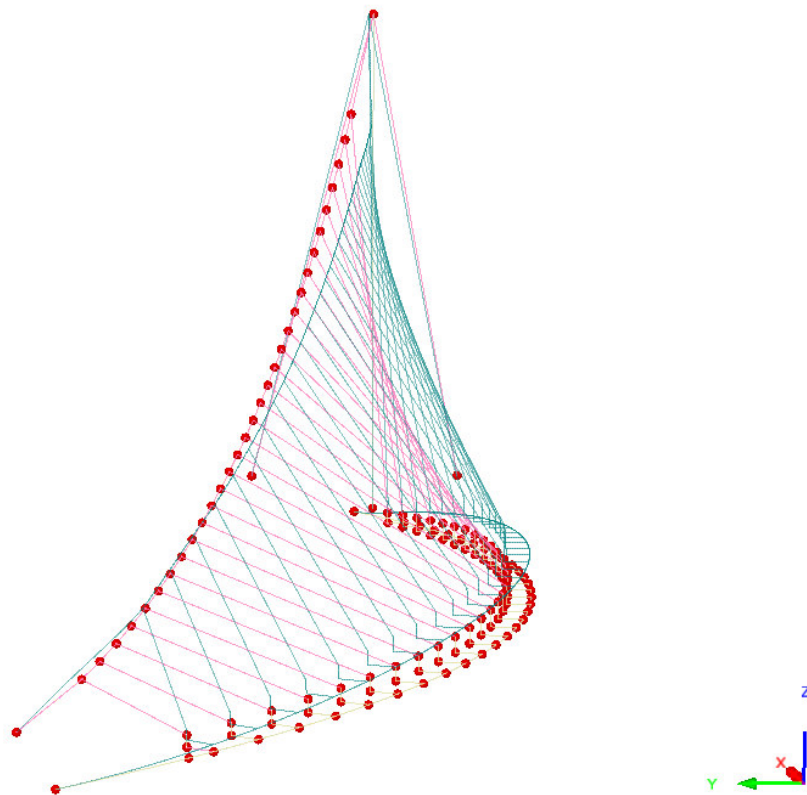
↑ Momenty M_y [kNm] a reakcie R_z [kN] mostovky pri podopretí rozpätia v troch bodoch v montážnom štádiu. Tiahla sú deaktivované

Pri dynamických výpočtoch sme chceli otestovať, ako nám budú vychádzať frekvencie v porovnaní s publikovanými výpočtami od firmy REVOTEC v našich zjednodušených schémach. Predsa sme len mali trochu odlišné vstupné údaje (pri absencii presných výrobných výkresov a následnej realizácii). Chceli sme tiež otestovať nasadenie tlmičov TMD. Porovnali sme budenie chodcami pri neaktivovaných a aktivovaných tlmičoch. Rozmiestnili sme tri tlmiče, každý o hmotnosti 750 kg (ako v realizácii). Rozlišovali sme konštrukčnú a nekonštrukčnú hmotu (napr. betónový mostný zvršok).

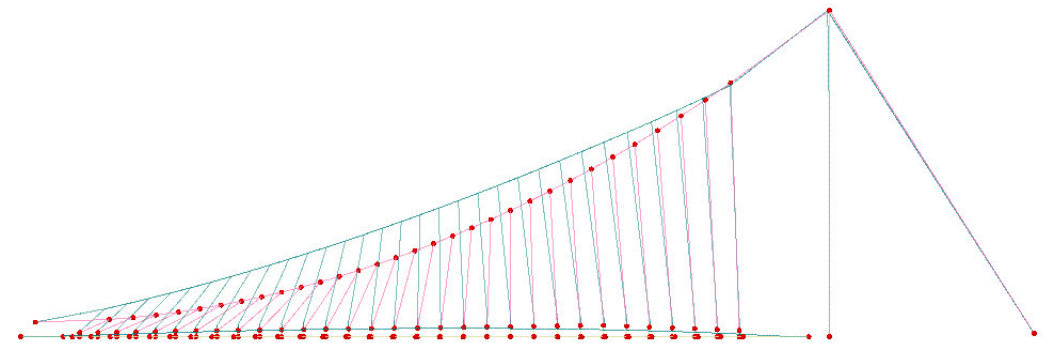
Prizvali sme si našich "osvedčených" vandalov s predošlých projektov, tentoraz až šiestich, ktorí sa pokúsili koordinovaným budením v strede rozpätia rozkmitať lávku silou 6×280 N vo frekvencii najnepriaznivejšieho budení. V ďalšom sú uvažované len zvislé vlastné tvary. Vyšli nám tieto relevantné výsledky :

- | | | | |
|----|-----------------|--------------------------|---|
| 1. | 0,279 Hz | participácia 11 | tvar – polovica sinusoidy / na rozpätie |
| 2. | 0,624 Hz | participácia 0,37 | tvar – jedna sinusoida |
| 3. | 1,257 Hz | participácia 5,57 | tvar – jeden a pol sinusoidy |
| 4. | 1,976 Hz | participácia 0,15 | tvar – dve sinusoidy |

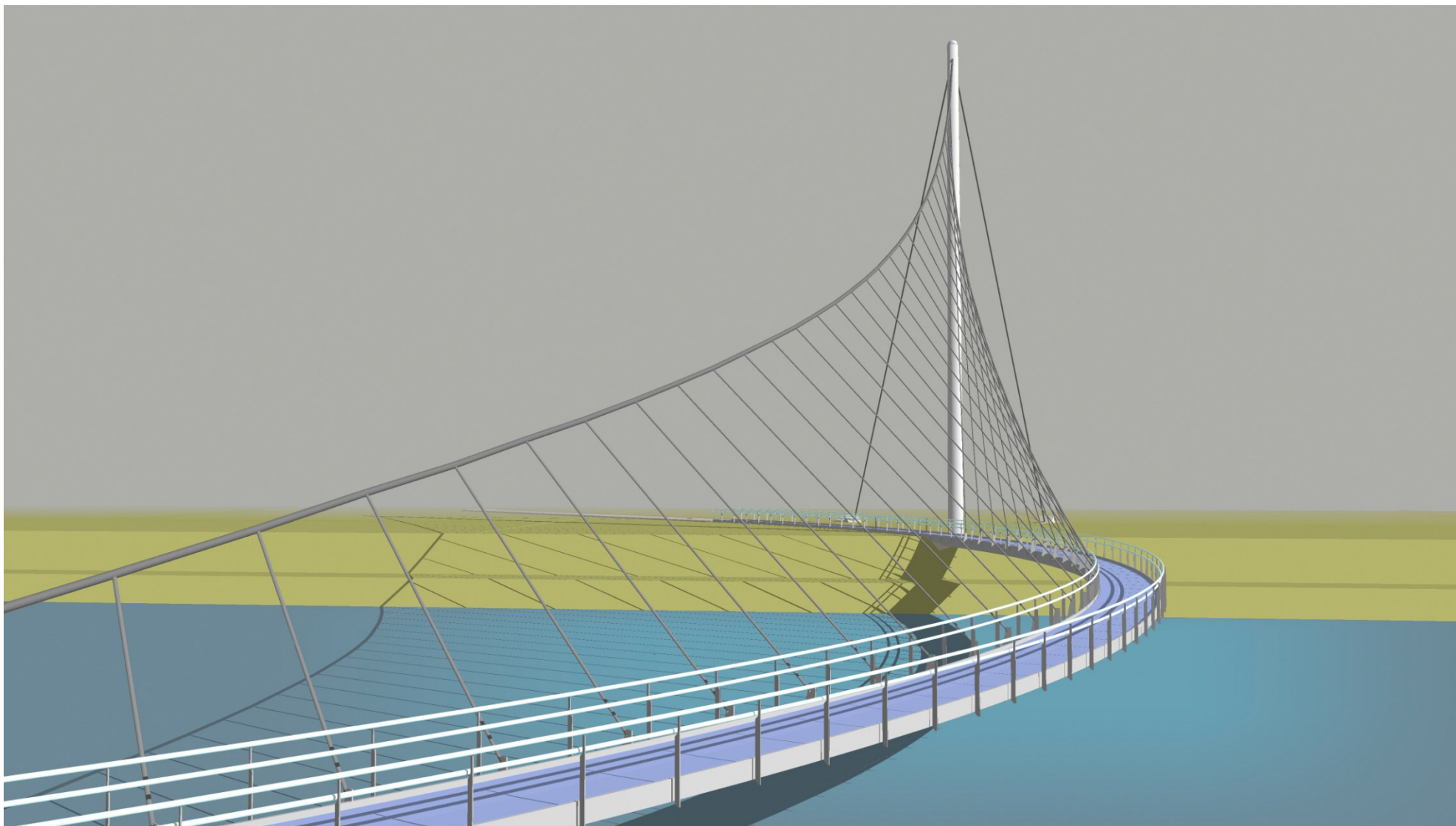
Z výsledkov jednoznačne vyplýva najnepriaznivejší prípad pre $f = 1,257$ Hz, podobne ako v pôvodnom výpočte ($f = 1,369$ Hz). Najnižšia frekvencia sa nachádza mimo normových predpisov.

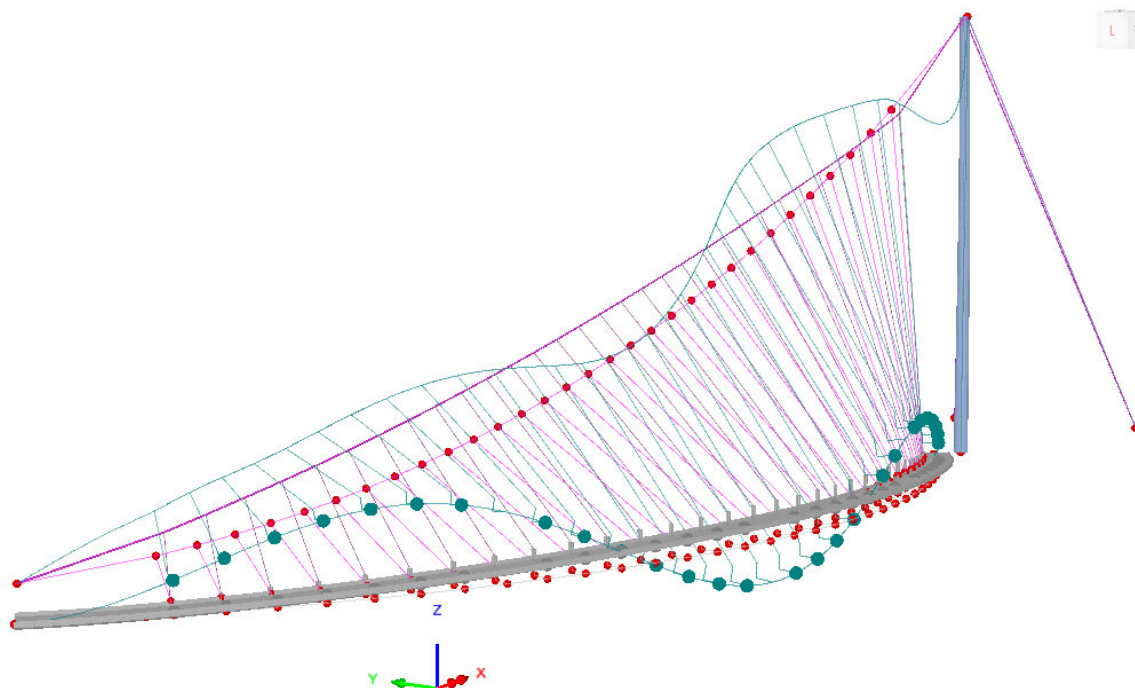


↑ Deformácia sústavy po predopnutí závesov – fáza 2.
Axonometria. Nelineárny výpočet pre veľké deformácie.
2x zväčšené



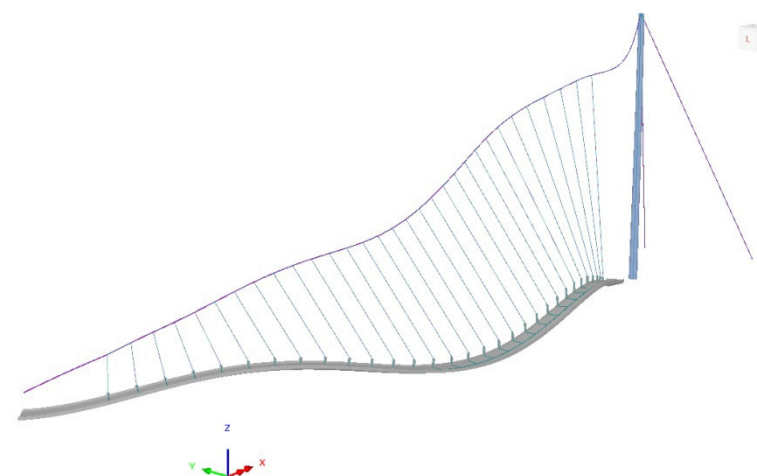
↑ Deformácia sústavy po predopnutí závesov – fáza 2, čelný pohľad.
Červenou je znázornená východisková geometria. Hlavné lano sa
deformuje smerom nadol od fázy 1 (viď. predošlá strana)
0,9x zväčšené

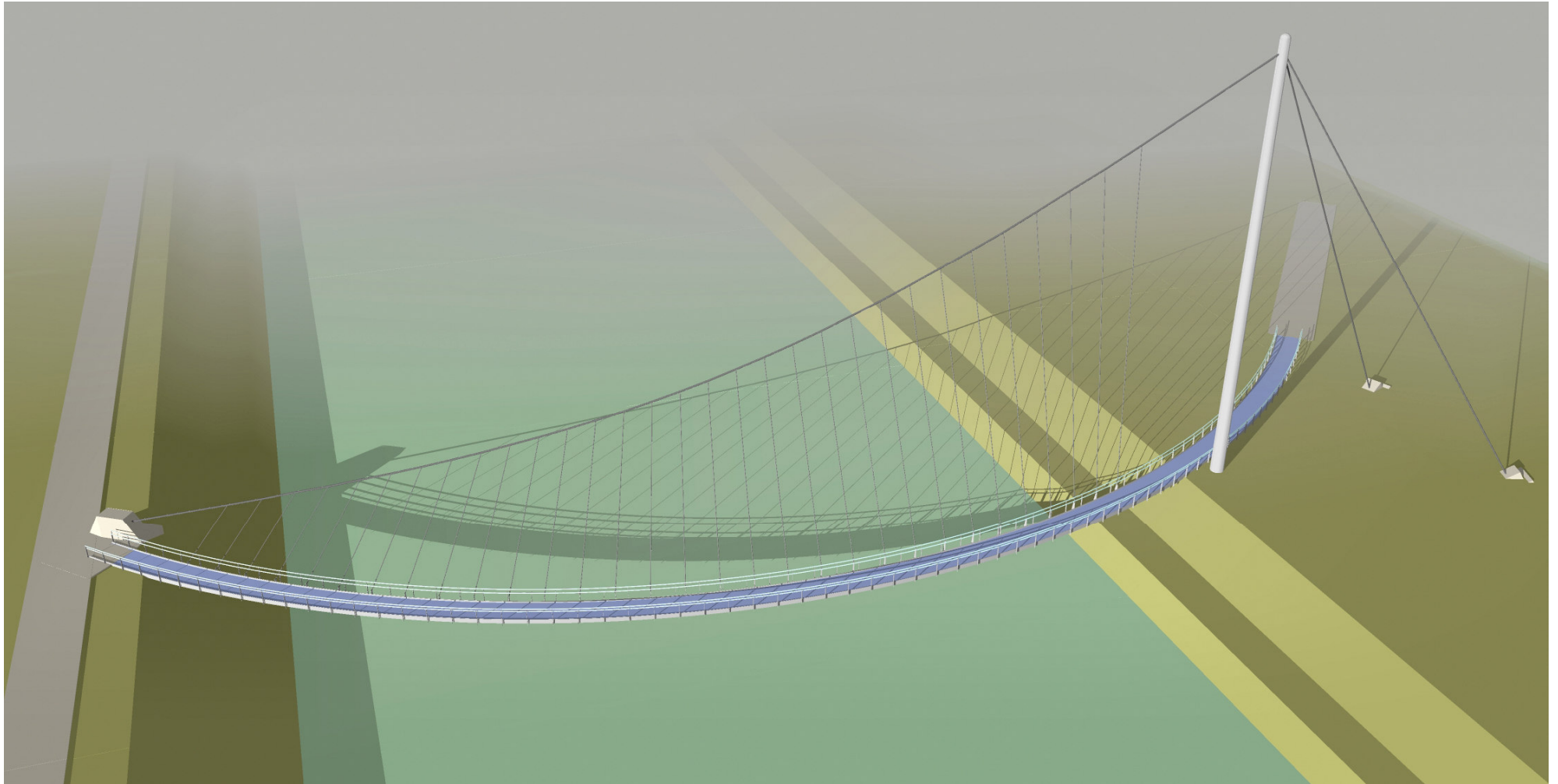


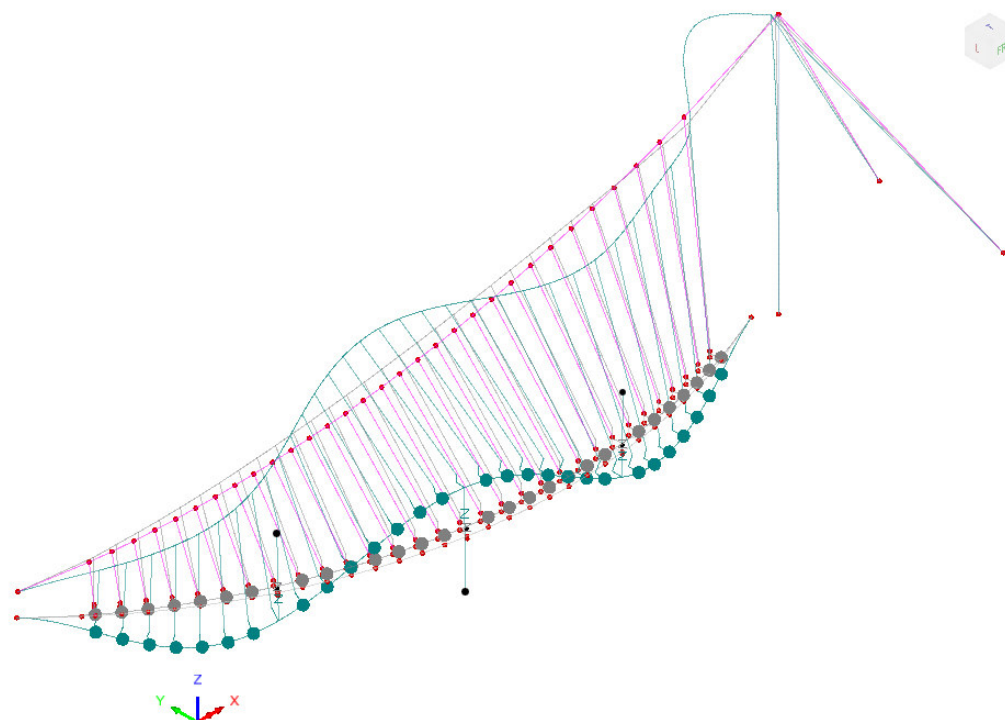


↑ Relevantný tvar kmitania $f = 1,257$ Hz s najväčšou participáciou hmoty. Zelené body znázorňujú nekonštrukčnú hmotu. Uzol (*node*) č. 147 sa nachádza na vrchole prvej vlny zľava. Je to meraný bod pre zrýchlenia (viď. ďalej grafy zrýchlenia)

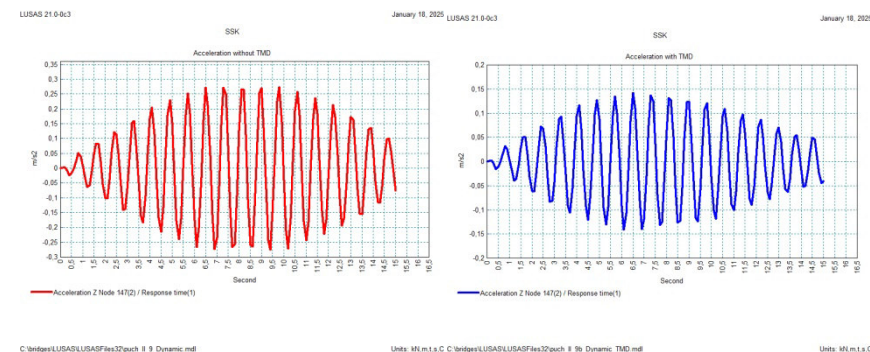
Vpravo vizualizácia rovnakej schémy →



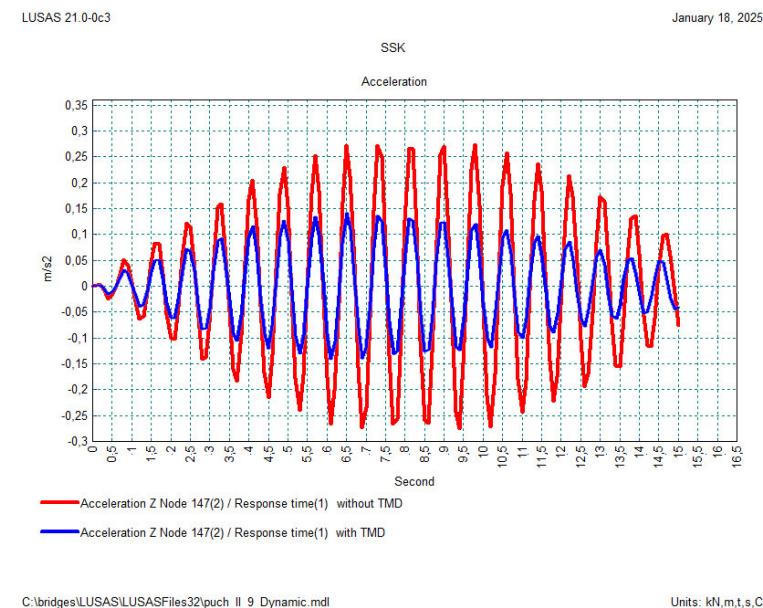




- ↑ Kmitanie sústavy s tromi tlmičmi, ktoré sú naladené na kmitanie v protifáze.
Polohu tlmičov znázorňujú čierne body. $f = 1,257$ Hz.
Bod (uzol – Node) č. 147 sa nachádza v strede prvej vlny vľavo.
Umiestnenie budenia (6 vandalských chodcov) sa nachádza v strede rozpätia mostovky



- ↓ Zrýchlenia bodu 147 **bez tlmičov** a **s tlmičmi** v rovnakej mierke



Niektoré ZDROJE, použité pri tvorbe článku :

- [1] ÖBB / Fuß– und Radwegbrücke Puch, DI Herbert HORN, Brückentagung 2015
- [2] Geh– und Radwegbrücke Puch, Die neue Sammlung, III/2019
- [3] Analyse personeninduzierter Schwingungen der Geh- und Radwegbrücke Puch bei Villach, Vortrag Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Reiterer & Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Hannes Kari, Dynamik Tage Wien 2016
- [4] STN EN 1990/A1 Zásady navrhovania konštrukcií, príloha A2 – Použitie pre mosty
- [5] STN EN 1991–2 Zaťaženie mostov dopravou

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

Pri zostavovaní článku boli použité nasledovné POČÍTAČOVÉ PROGRAMY :

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

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

