

Wim Letschert bridge

Netherlands

*static
behavior*

*statické
pôsobenie*

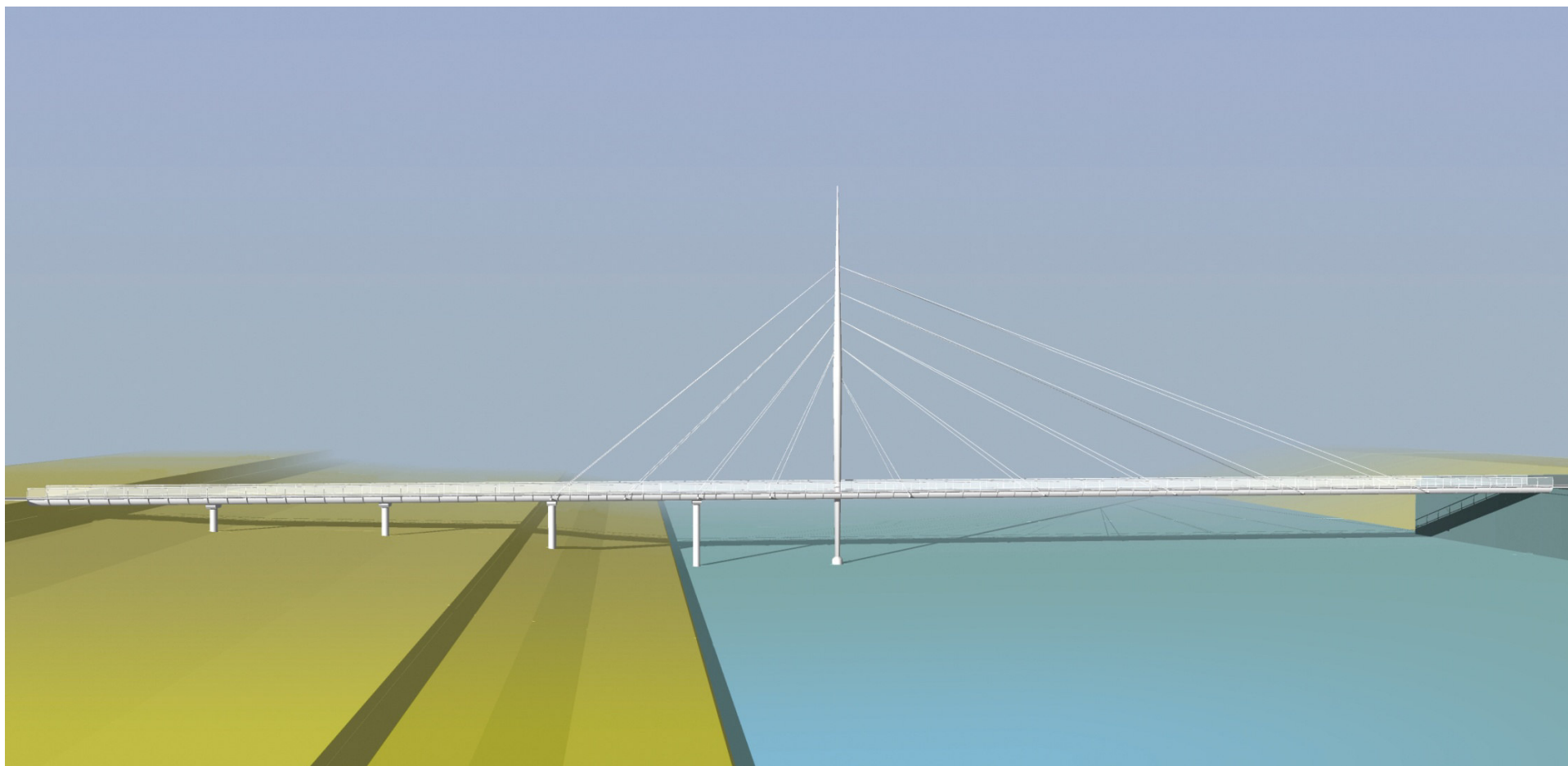
*theory, analysis
Vladimír Budinský SSK*



KEYWORDS : bridge, footbridge, pedestrian and bicycle bridge, cable–stayed bridge, computation, calculation, structural analysis, most, zavesený most, statický výpočet, SSK

ÚVOD (Introduction)

Most *Wim Letschertbrug* pre peších a cyklistov spája mestečká *Geertruidenberg* a *Raamsdonksveer* ponad kanál *Donge*. Nachádza sa približne 60 km juhovýchodne od *Rotterdamu*. Most sa menuje na počesť bývalého nebohého starostu *Willema Letscherta*, ktorý sa zaslúžil o spojenie týchto dvoch sídelných útvarov do jednej samosprávy.



Mostovka zaveseného mosta sa skladá z dvoch hlavných materiálov – betónu a ocele. Hlavné zavesené rozpätie ponad vodný tok dĺžky 86 m má komorový oceľový prierez. Zvyšná časť mosta rovnakej dĺžky 86 m ponad inundačnú časť je vyskladaná z betónových prefabrikátov a tvorí päťpoľový úsek. Obe časti sú pri stredovom pylóne monoliticky spojené.

Pylón s mostovkou nie je spojený a je od nej oddielatovaný. Betónové prefabrikáty sú navzájom nad stĺpmi pravdepodobne tiež zmonolitnené (bolo by to staticky výhodné), avšak výkresy prefabrikátov sme nemali k dispozícii. Sedem krát ťažšia betónová časť tvorí adekvátnu protiváhu zavesenému rozpätiu.

IDENTIFIKAČNÉ A TECHNICKÉ ÚDAJE MOSTA

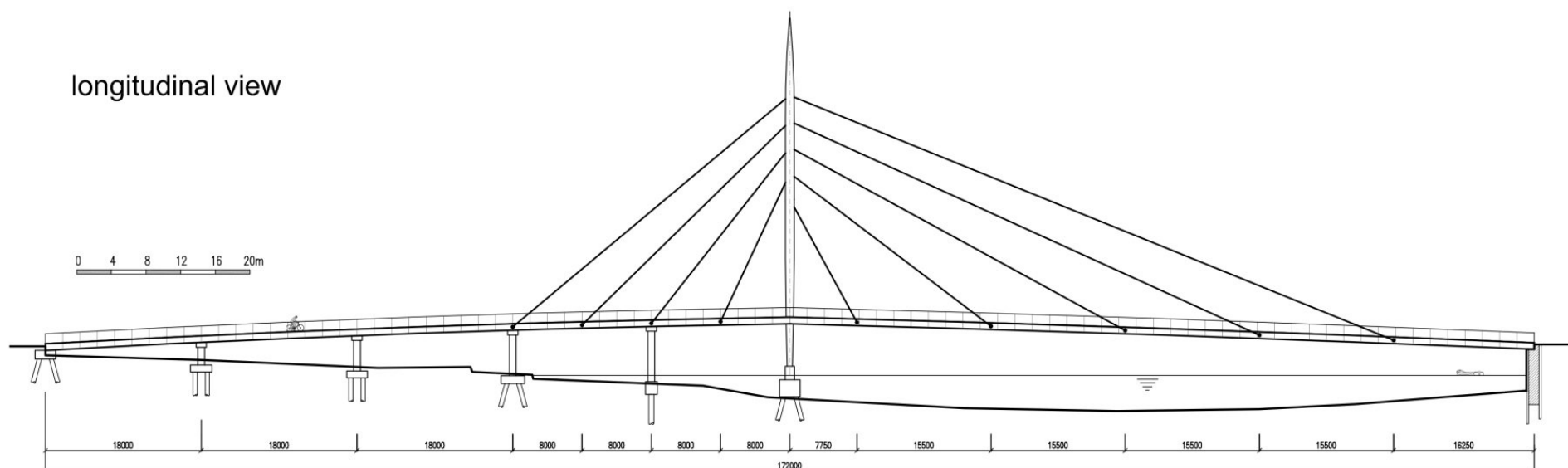
Investor : Samospráva dvoch sídelných celkov
Náklady : 1,5 mil. eur
Ukončenie výstavby : 2007
Typ mosta : zavesený
Zakladanie : pilóty, napravo → plnená štetovnicová dvojstena

Maximálny rozpon : 86 m
Počet polí : 6
Výška pylónu : 42 m
Šírka mosta : 4,5 m

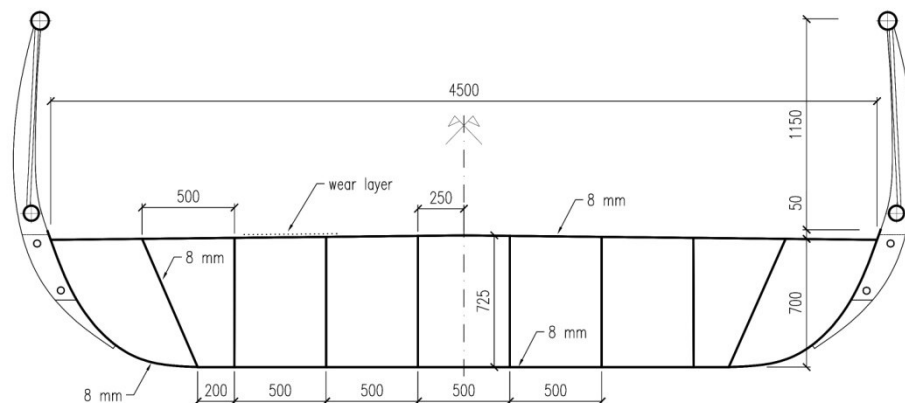
UPOZORNENIE : Vo všetkých vizualizáciách a výpočtoch nie je zohľadnené zvislé zakrivenie mostovky (okrem pozdĺžneho rezu dole ↓)

NOTE : Views and calculations do not take into account the vertical curvature of the bridge deck (except elevation ↓)

longitudinal view



cross section



POSTUP VÝSTAVBY

Okrem prefabrikovanej betónovej mostovky tvorí všetky ďalšie betónové časti liaty betón. Ocelová mostovka v rozpätí 86 m bola rozdelená na tri časti, osadená na dočasné podpory v kanáli a následne zvarená. Kónický pylón bol privezený celý v jednom kuse a vztyčený žeriavom. Pylón je v dolnej časti kĺbový, osadený na betónovom podstavci mimo dosahu maximálnej hladiny vody.

Stĺpy s kladivovou hlavou sú kruhové, monolitické. Jeden z nich má však priečne rozšírený prierez, čo súvisí so zaistením stability pylóna v kolmom smere k osi mosta.

VÝPOČTY

Na základe niektorých veľmi zjednodušených predpokladov a prepočtov sme sa pokúsili interpretovať pôsobenie sústavy. Zjednodušenie spočívalo v zanedbaní pozdĺžneho spádu a prevýšenia mostovky, ako aj v zavedení dvojrozmerného plošného statického modelu. Dvojice lán v zákryte boli nahradené jedným lanom s ekvivalentným prierezom. Mostovka je uvažovaná ako spojité nosník bez dilatácie.

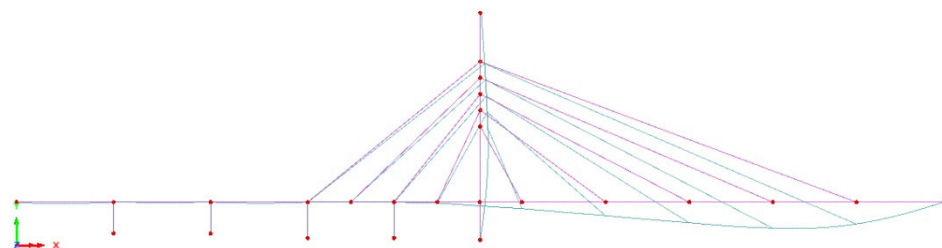
Podložie je vo zvislom smere tuhé, resp. s rovnakým sadaním. Ako základné zaťaženia sme uvažovali vlastnú tiaž konštrukcie a zaťaženie mostov dopravou – v tomto prípade *zaťaženie lávok pre chodcov*, a konkrétne *rovnomerne spojité zaťaženie*, ktoré vykazuje globálne a na most najnepriaznivejšie účinky.

Rovnomerné zaťaženie je uvažované v hodnote $q_{k1} = 2,0 + (120 / (L_1 + 30)) = 3,05 \text{ kN/m}^2$ pre hlavný rozpon $L_1 = 86 \text{ m}$ a $q_{k2} = 2,0 + (120 / (L_2 + 30)) = 4,61 \text{ kN/m}^2$ pre menšie rozpory $L_2 = 16 \text{ m}$.

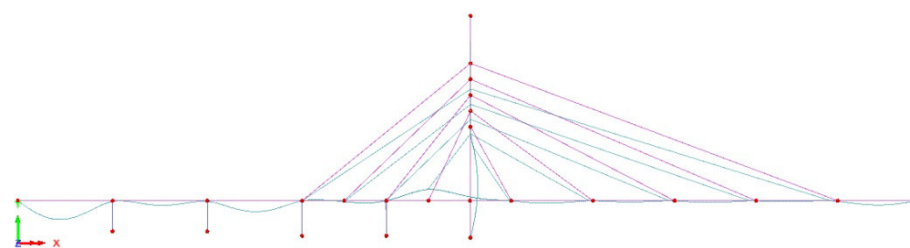
Betónová časť mostovky je vyskladaná z troch prefabrikátov vedľa seba šírky 1 m, plus dve zaoblené krajné časti, prispôbené ocelovému prierezu pravej strany. V ďalšom je posúdená alternatíva plného prierezu ako spojitého nosníka (horná výstuž nad podporami zvarená). Iný variant by bol zdvíhaný spojité predpätý kábel. Každý nosník preberá tretinu zaťaženia celej mostovky.



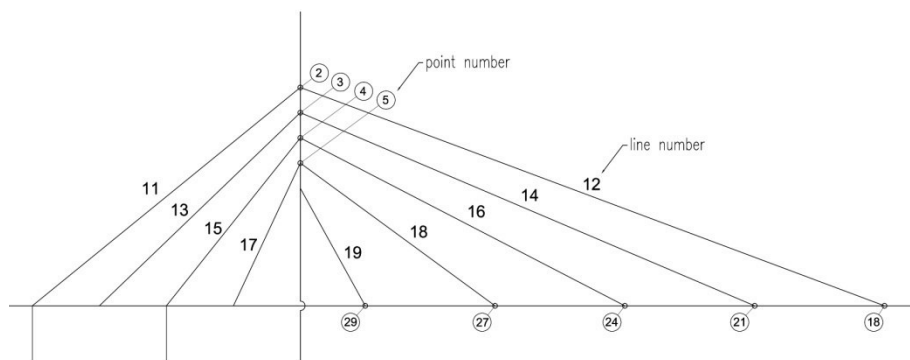
Dôležitou časťou každého zaveseného mosta je stanovenie vnútorných síl káblov v každej fáze výstavby. Ako základný stav napätosti bolo stanovené zaťaženie vlastnou tiažou a ostatným stálym zaťažením. Keďže neexistuje univerzálny spôsob výpočtu mosta začlenením káblov v jednom slede, vždy je nutné využiť vhodnú výpočtovú nadstavbu na vyladenie káblových síl.



↑ Deformácia sústavy pred vyladením káblov



↑ Deformácia sústavy po vyladení káblov



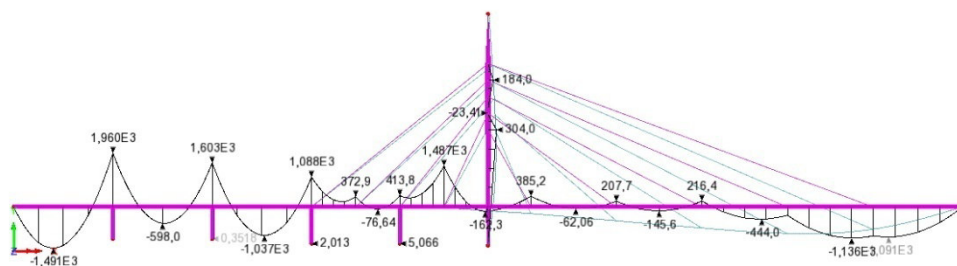
Podmienky výpočtovej nadstavby v sústave rovníc :

$d_y = 0 \rightarrow$ uzly 18, 21, 24, 27, 29

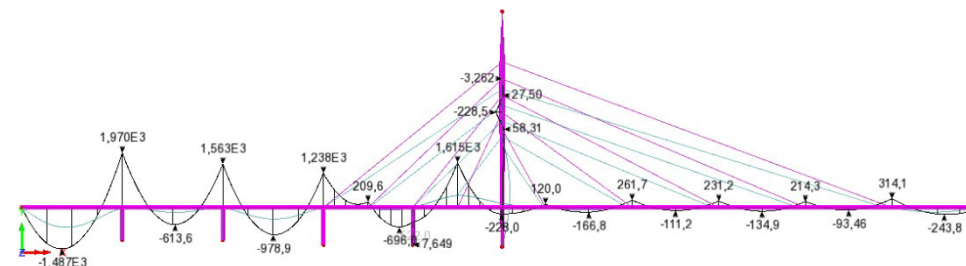
$d_x = 0 \rightarrow$ uzly 2, 3, 4, 5

Sústava má 9 rovníc o 9 neznámých.

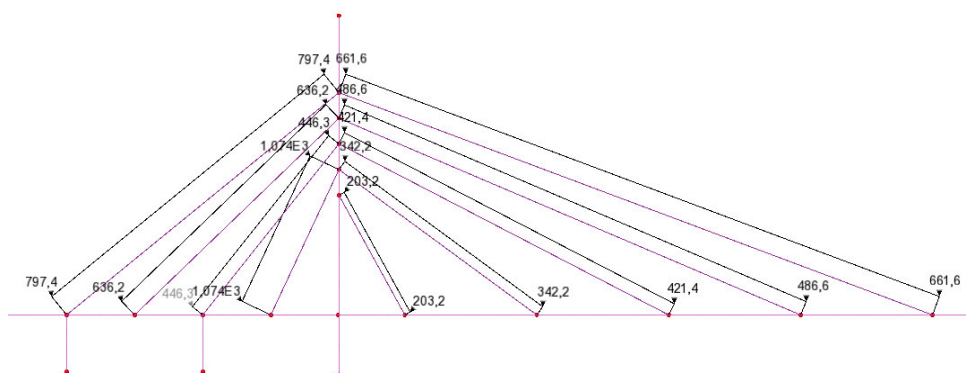
← Číslovanie uzlov a prútov



↑ Momenty od stálego zaťaženia pred ladením káblov [kNm]



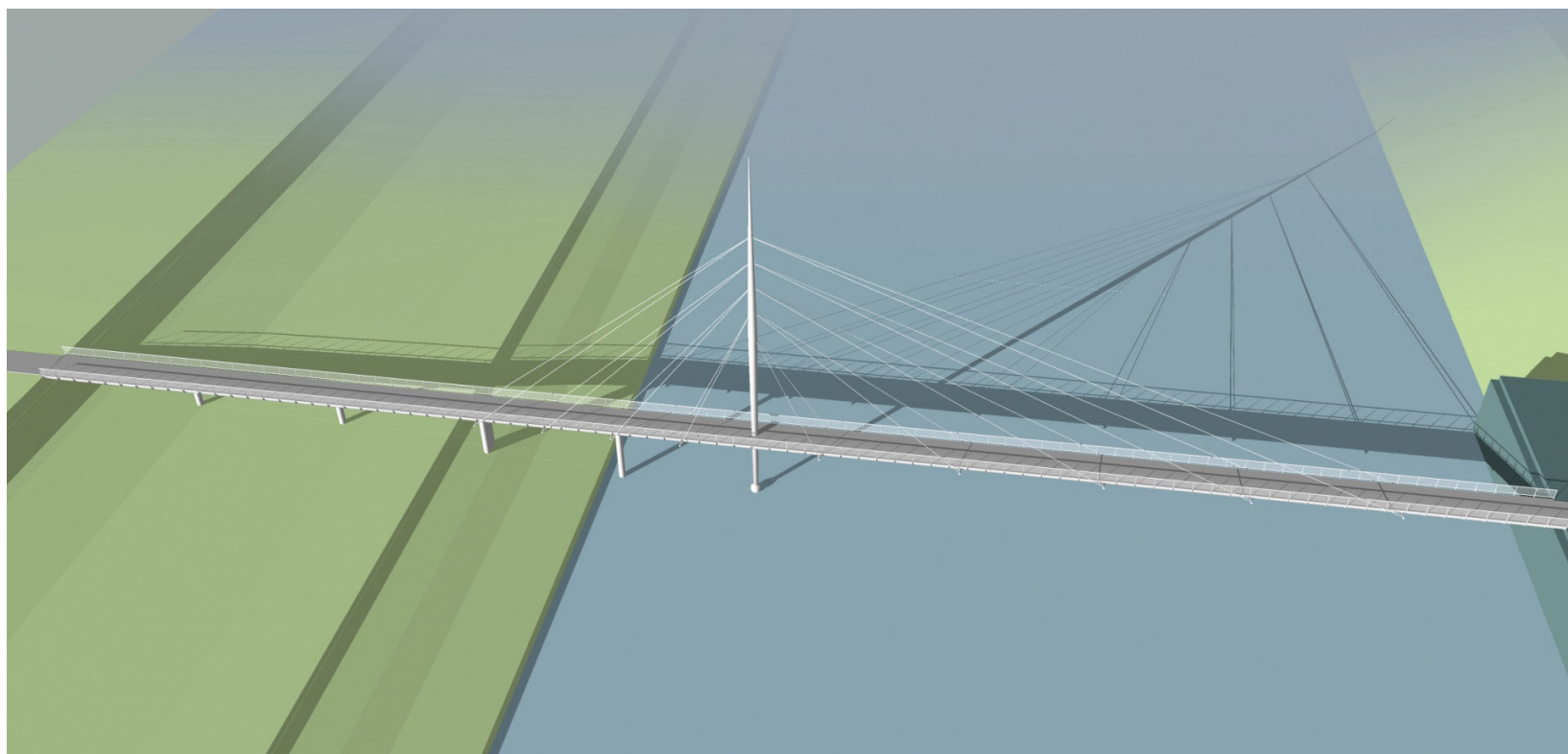
↑ Výsledné momenty od stálego zaťaženia po ladení káblov [kNm]



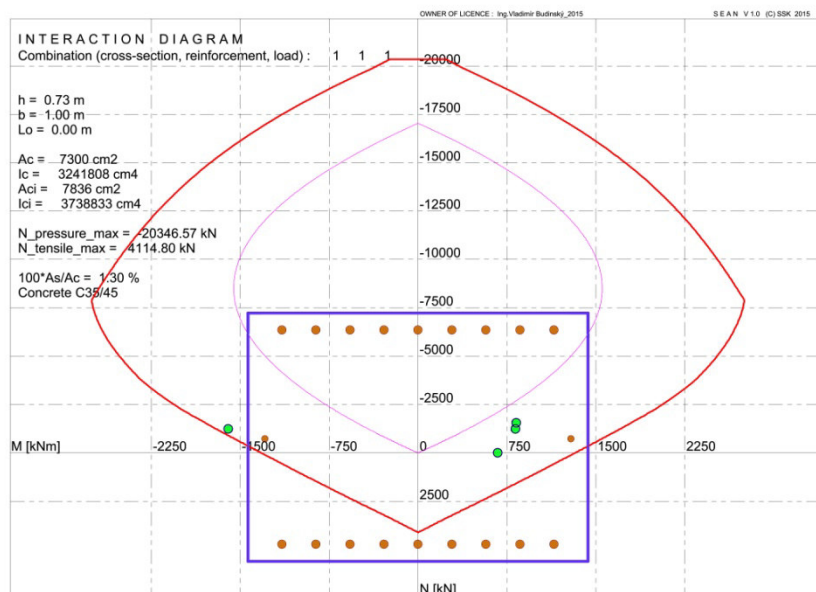
Výsledné sily ladenia káblov, ktoré sa zavedú do menovitých káblov ako predpätie :

Cables	Loadcases	Calculated Force
1 Line: 11	Loadcase 2 (Cable - Line: 11)	1090,38
2 Line: 12	Loadcase 3 (Cable - Line: 12)	816,875
3 Line: 13	Loadcase 4 (Cable - Line: 13)	1014,76
4 Line: 14	Loadcase 5 (Cable - Line: 14)	684,347
5 Line: 15	Loadcase 6 (Cable - Line: 15)	995,839
6 Line: 16	Loadcase 7 (Cable - Line: 16)	689,667
7 Line: 17	Loadcase 8 (Cable - Line: 17)	2296,71
8 Line: 18	Loadcase 9 (Cable - Line: 18)	767,403
9 Line: 19	Loadcase 10 (Cable - Line: 19)	1154,86 kN

↑ Výsledné sily v kábloch po ich predpätí [kN]



↓ Alternatíva vystuženia betónového prefabrikátu v nepredpätom prevedení – 2x 9 ø25



S E A N SECTIONAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS (C)SSK 2015
=====

Eurocode No.2 EN 1992-1-1

I N P U T D A T A

Name of the combination : **Betónový prefabrikát**

Combination (cross section, reinforcement, load) : 1 1 1

C O N C R E T E C R O S S S E C T I O N

Point number	X (m)	Y (m)	Coordinates right half of polygon
1	0.000	0.100	
2	0.500	0.100	
3	0.500	0.830	
4	0.000	0.830	

Effective length $L_o = 0.00$ m

MATERIAL OF THE CROSS SECTION : concrete C35/45 $f_{ck} = -35000$ kN/m²
 $f_{cd} = -23333$ kN/m²

C O N C R E T E R E I N F O R C E M E N T

No	X (m)	Y (m)	(mm) diameter	(GPa) E_s	(MPa) $f_{tk}(+)$	(MPa) $f_{yk}(-)$	name
1	0.000	0.150	25	200	500	-500	steel B500B
2	0.100	0.150	25	200	500	-500	steel B500B
.....							
5	-0.200	0.150	25	200	500	-500	steel B500B

6	0.300	0.150	25	200	500	-500	steel B500B
.....							
19	-0.450	0.460	20	200	500	-500	steel B500B
20	0.450	0.460	20	200	500	-500	steel B500B

C O E F F I C I E N T S

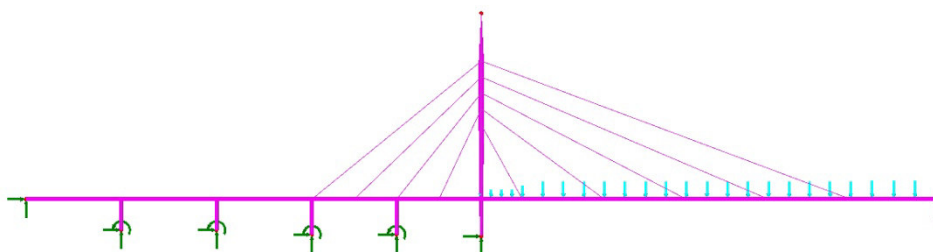
Partial factor $\gamma_{concrete}$: 1.50
Partial factor γ_{steel} : 1.15
Mquasi-permanent / Muls : 0.75
Creep factor (t,to) : 3.00
Ultimate strain - concrete : 0.0035
Ultimate strain - steel : 0.020

P E R C E N T A G E O F R E I N F O R C E M E N T

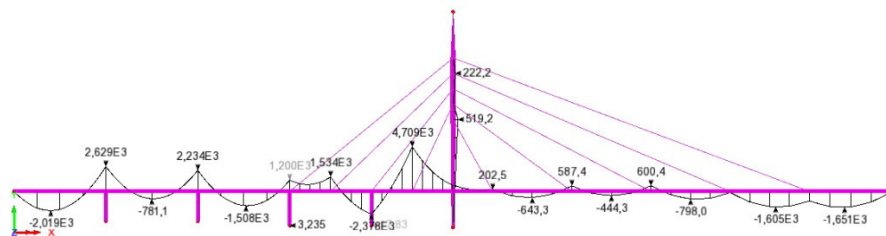
Top and bottom reinforcement : 1.30%
Top reinforcement : 0.61%
Bottom reinforcement : 0.61%
Radius of gyration is : 30.44 cm

L O A D I N G C A S E S → U L S - pozri stranu 7

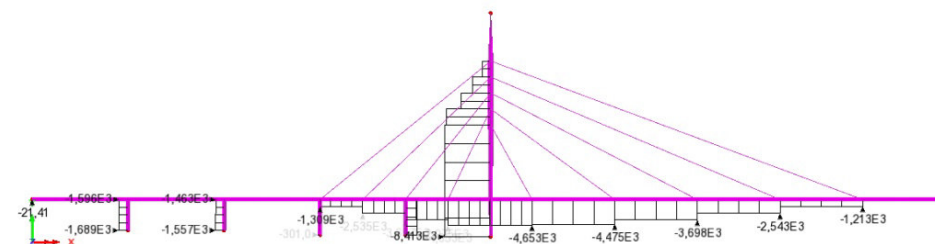
N (kN)	M (kNm)	Mbuckl. (kNm)	Mr (kNm)	x_Mr (m)	result	name
0.00	673.00	673.00	1325.15	0.08	O.K.	first
-1233.00	792.00	822.00	1703.59	0.10	O.K.	second
-1233.00-1570.00	-1600.00	-1700.80	0.10	O.K.	third	
-1551.00	792.00	829.74	1797.42	0.11	O.K.	fourth



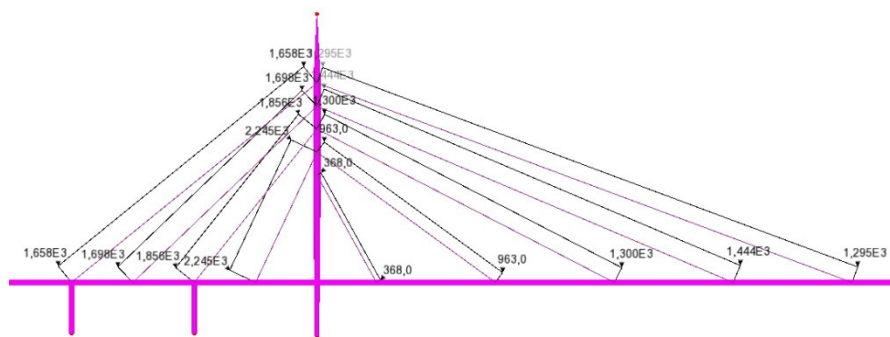
↑ Zaťažovací schéma náhodilého zaťaženia pre ULS – maximálne účinky :



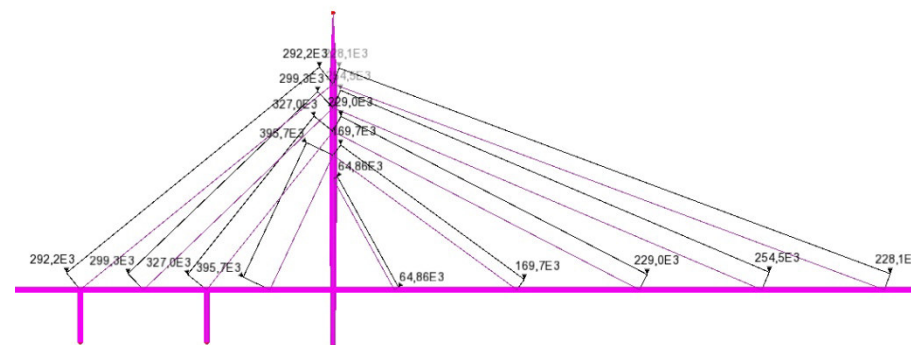
↑ Návrhová kombinácia ULS – momenty M_z na nosníkoch [kNm]



↑ Návrhová kombinácia ULS – osovú síly N na nosníkoch [kN]



↑ Návrhová kombinácia ULS – osovú síly N v kábloch [kN] – platí pre dvojicu káblov



↑ Návrhová kombinácia ULS – napätia „ σ “ v kábloch $[\text{kN/m}^2] < 0,45 f_{pd}$



ZÁVER

Tvorcom mosta sa podarilo zrealizovať extrémne štíhlu konštrukciu. Vzhľadom na obmedzený rozpočet investor upustil od osadenia tlmičov, preto sa využívali všetky dostupné konštrukčné prostriedky na zníženie nežiadúcich vibrácií, napríklad tlmenie spodnej časti lán, viackomorový prierez a iné.

Niektoré ZDROJE, použité pri tvorbe článku :

- [1] <https://bicycledutch.wordpress.com/2021/08/11/brug-raamsdonksveer>
- [2] STN EN 1990/A1 Zásady navrhovania konštrukcií, príloha A2 – Použitie pre mosty
- [3] STN EN 1991–2 Zaťaženie mostov dopravou

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

Pri zostavovaní článku boli použité nasledovné POČÍTAČOVÉ PROGRAMY :

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