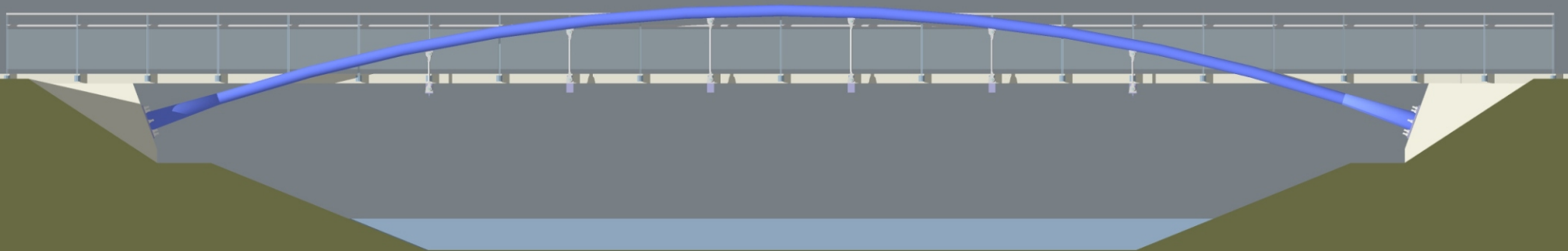


Štúdia realizovateľnosti lávky pre peších

Konštrukčná a tvarová štúdia
Structural and shape analysis
of a footbridge

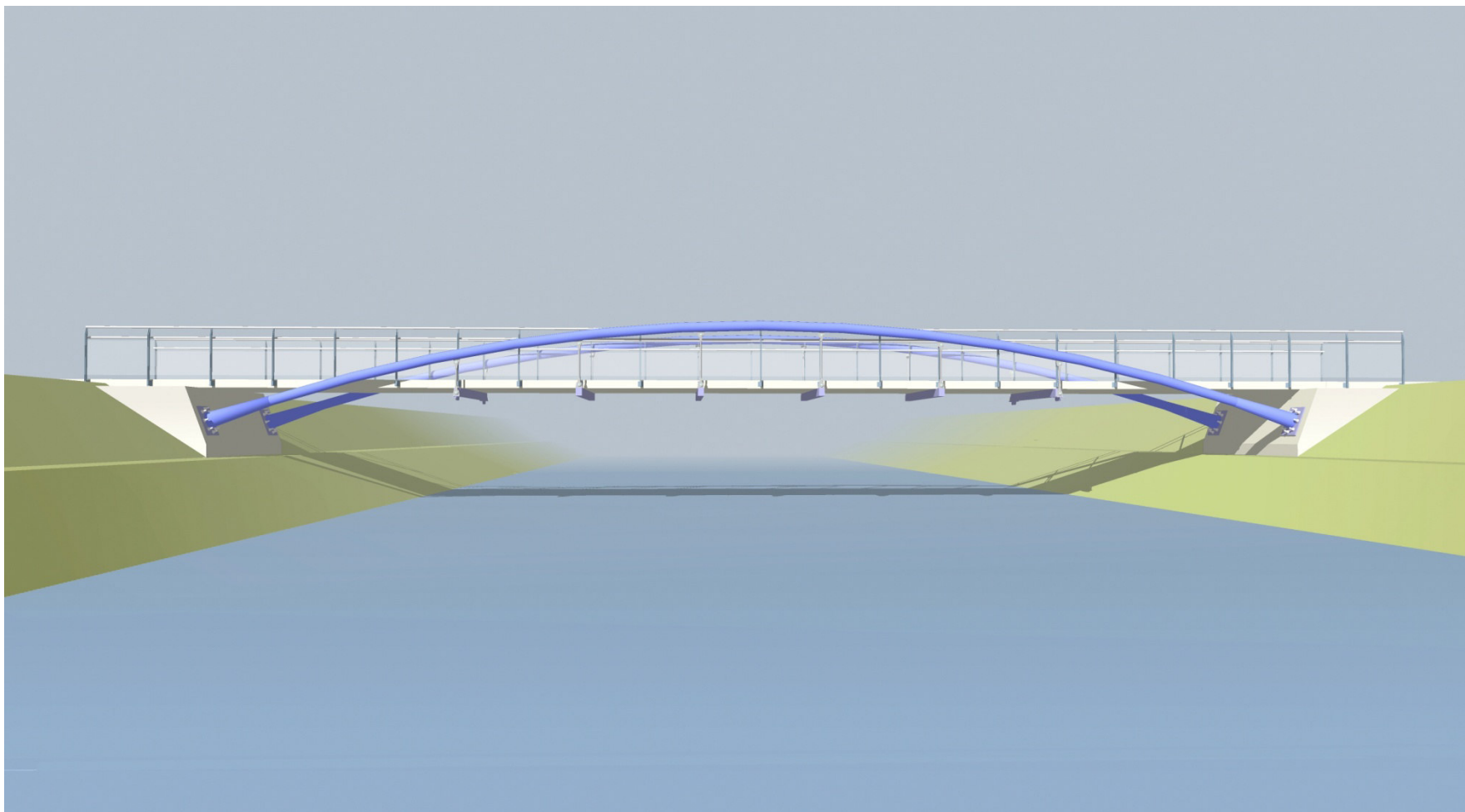
Vladimír Budinský SSK



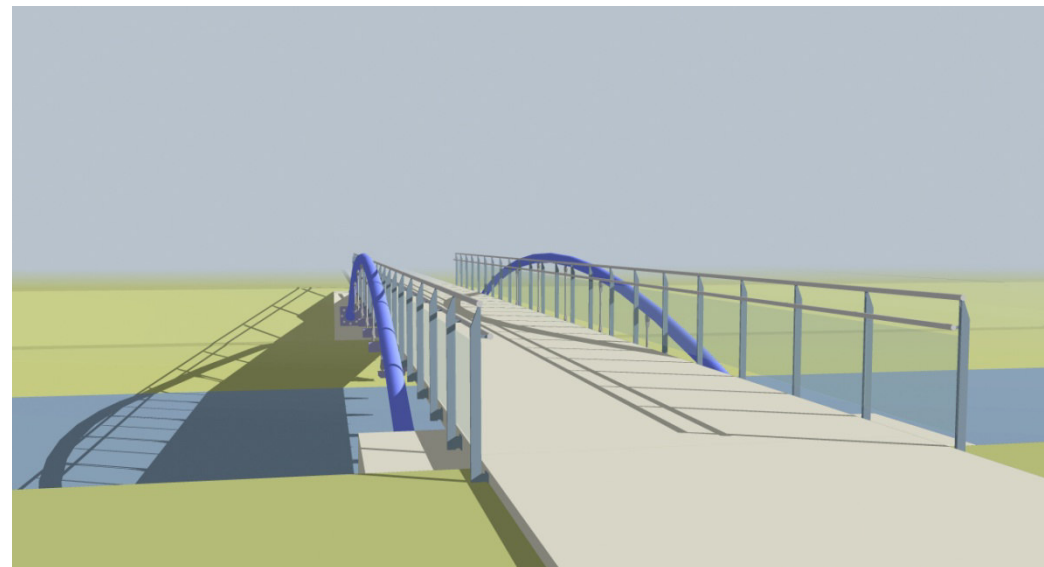
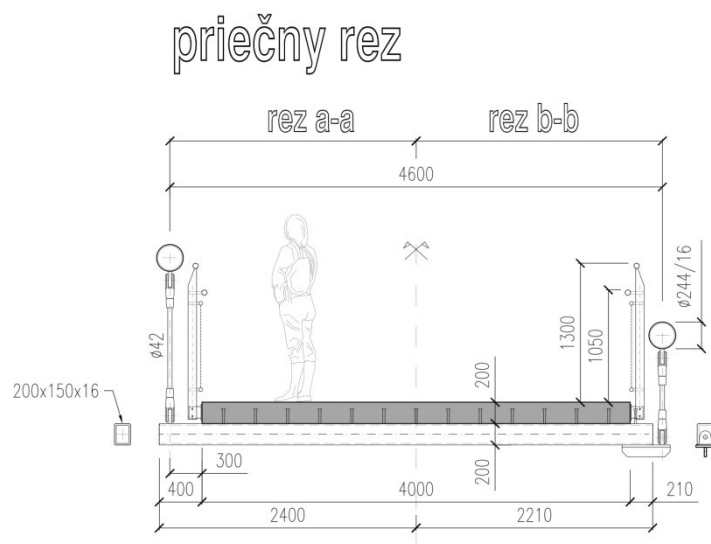
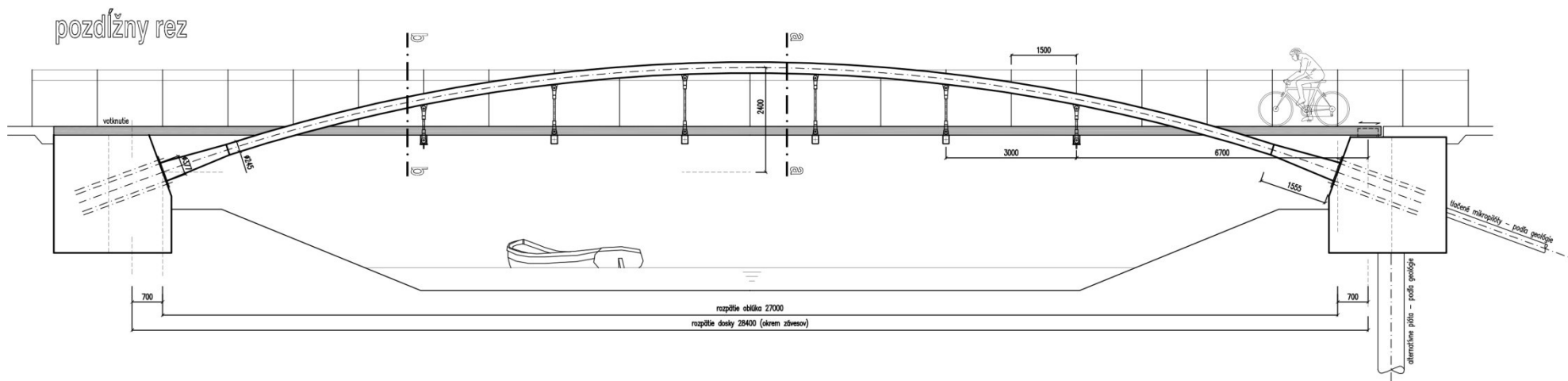
KEYWORDS : bridge, footbridge bicycle bridge, structural analysis, flat arch, design, static calculation, most, lávka, most pre peších a cyklistov, statický výpočet, návrh tvaru, SSK

ÚVOD

Oblúkový most je jeden z prvých konštrukčných tvarov mosta, ktorý sa používal už od staroveku. Oblúky mali pôvodne polkruhovitý alebo parabolický tvar a namáhané boli hlavne na tlak, ktorému dobre odolávali kamenné a tehlové materiály. Revolučný posun vo vývoji oblúkových mostov sa objavil až v 19. storočí zavedením kovových materiálov. Rozpony mostov boli čoraz odvážnejšie a oblúky plochejšie. Ďalším medzníkom bol rozvoj materiálových technológií a zavedenie výpočtovej techniky. Moderné softvérové nástroje umožňujú využívať detailné statické výpočty a dynamické analýzy.



V tomto článku sú obsiahnuté niektoré výsledky statických a dynamických analýz lávky pre peších a cyklistov. Predpätá betónová mostovka je zavesená na dvoch postranných plochých oceľových oblúkoch, ktoré sú votknuté do masívnych betónových opôr. Mostovka dilatuje nezávisle od oblúkov, nie je s nimi pevne spojená. Na jednej strane je pevne votknutá do opory a na opačnej strane voľne dilatuje na ložiskách v smere osi mosta. Oceľové tiahla závesov sú uvažované systému PROTAH (cz) priemeru $\varnothing 42$ mm. Predpäté káble sú ploché po troch lanách $\varnothing 15,7$ mm / 1860 MPa. Všetky ostatné rozmery sú zrejme z rezov.



vedenie predpätého kábla v mostovke - pozdĺžny rez prevýšenie 10x

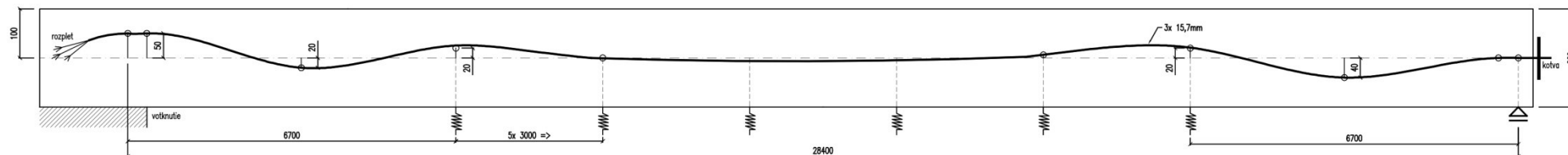
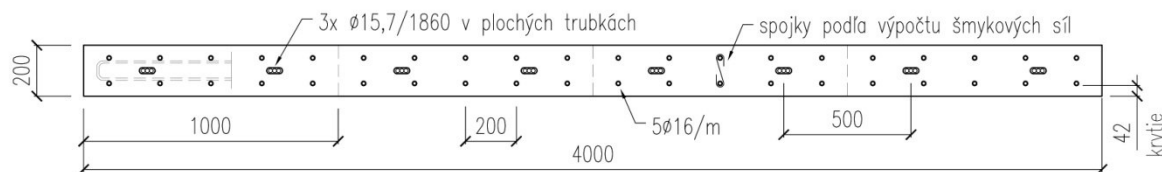


schéma výstuže v priečnom reze mostovky

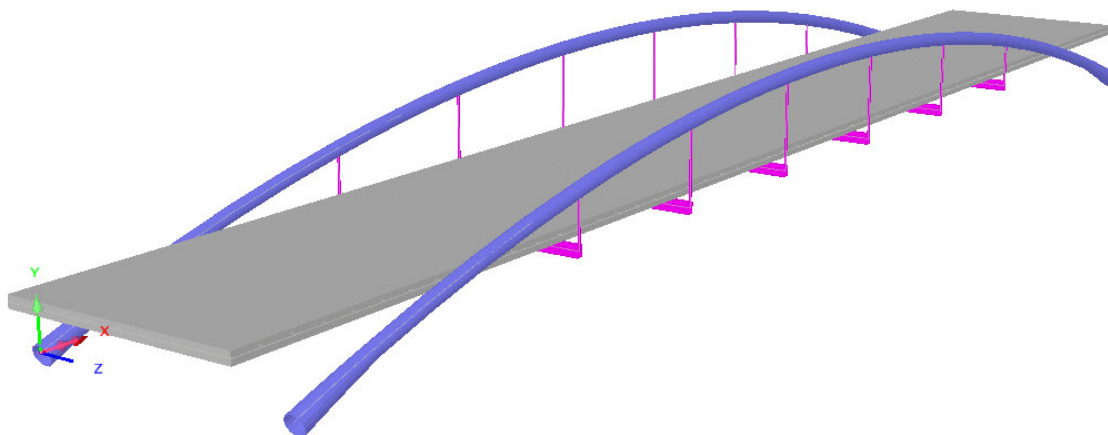


Pozdĺžne je doska uložená na priečných oceľových nosníkoch obdĺžnikového prierezu 200x150x16 mm. Tie sú spriahnuté s betónom mostovky pomocou trňov typu *NELSON*. Nosníky sú zavesené na závesoch *PROTAH*.

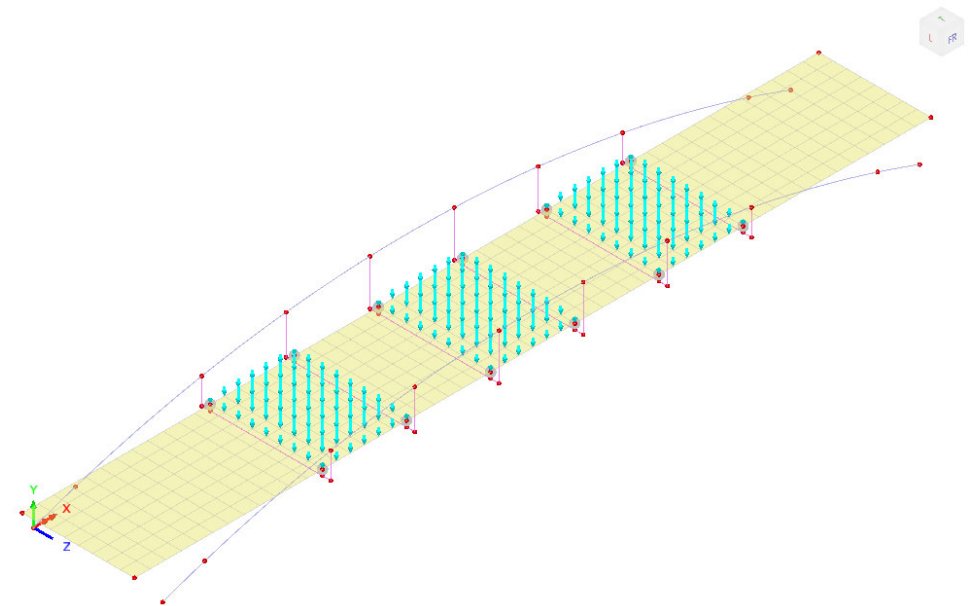
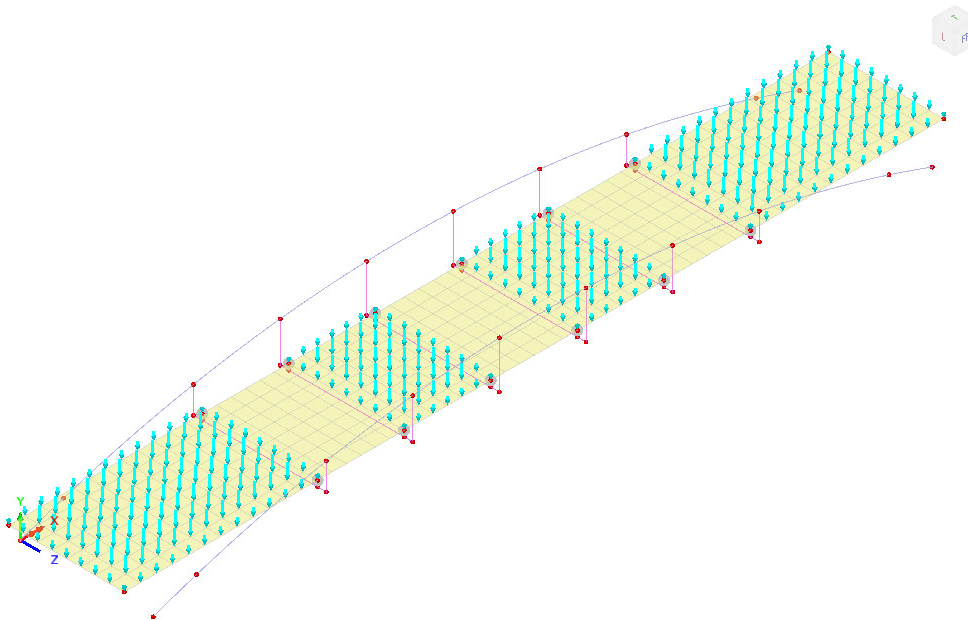
Výpočty prebiehali v niekoľkých úrovniach. Hlavným statickým modelom bol priestorový komplexný model *LUSAS*. Z výsledkov FEM boli dimenzované predpäté betónové prvky programom *PRECON*. Ako súbežný kontrolný dimenzačný program bol použitý program *IDEA StatiCa Prestressing* v module *BEAM* a *RCS* v schéme spojitého nosníka, ktorého

vnútorné pružné podpory boli odladené z výsledkov hlavného priestorového modelu. Priečny spriahnutý nosník bol posúdený z výsledkov *LUSAS* pomocným programom v Exceli.

Tento článok sa nezaobrá spodnou stavbou, ktorú je nutné zabudovať do výpočtov z výsledkov podrobného geologického prieskumu. Vodorovný posun opory bol uvažovaný maximálnou hodnotou 10 mm.

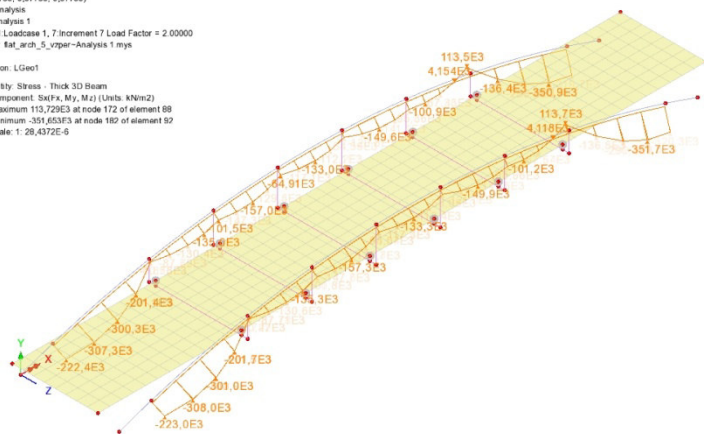


← Výpočtový model FEM celého mosta (*LUSAS*)

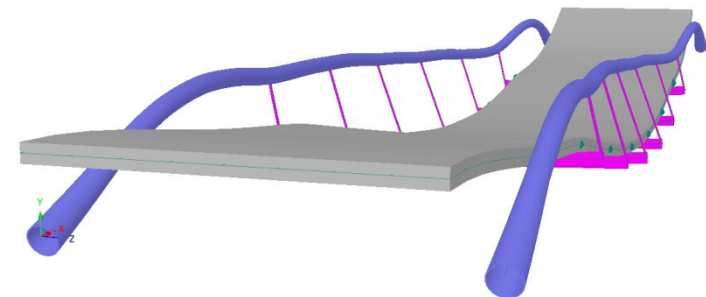


↑ Kombinácie zaťaženi chodcami $q = 4,1 \text{ kN/m}^2$

Scale: 1:134,548
Zoom: 100,0
Eye: (-0,57735, 0,57735, 0,57735)
Nonlinear analysis
Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1 Loadcase 1, 7 Increment 7 Load Factor = 2 00000
Results file: Rat_arch_5_vzper-Analysis 1.mys
Fibre: R1
Cross Section: LGeo1
Diagram entity: Stress - Thick 3D Beam
Diagram component: Sxx(Fx, My, Mz) (Units: kNm2)
Diagram maximum: 113,729E3 at node 172 of element 88
Diagram minimum: -351,653E3 at node 182 of element 92
Diagram scale: 1: 28,4372E-6

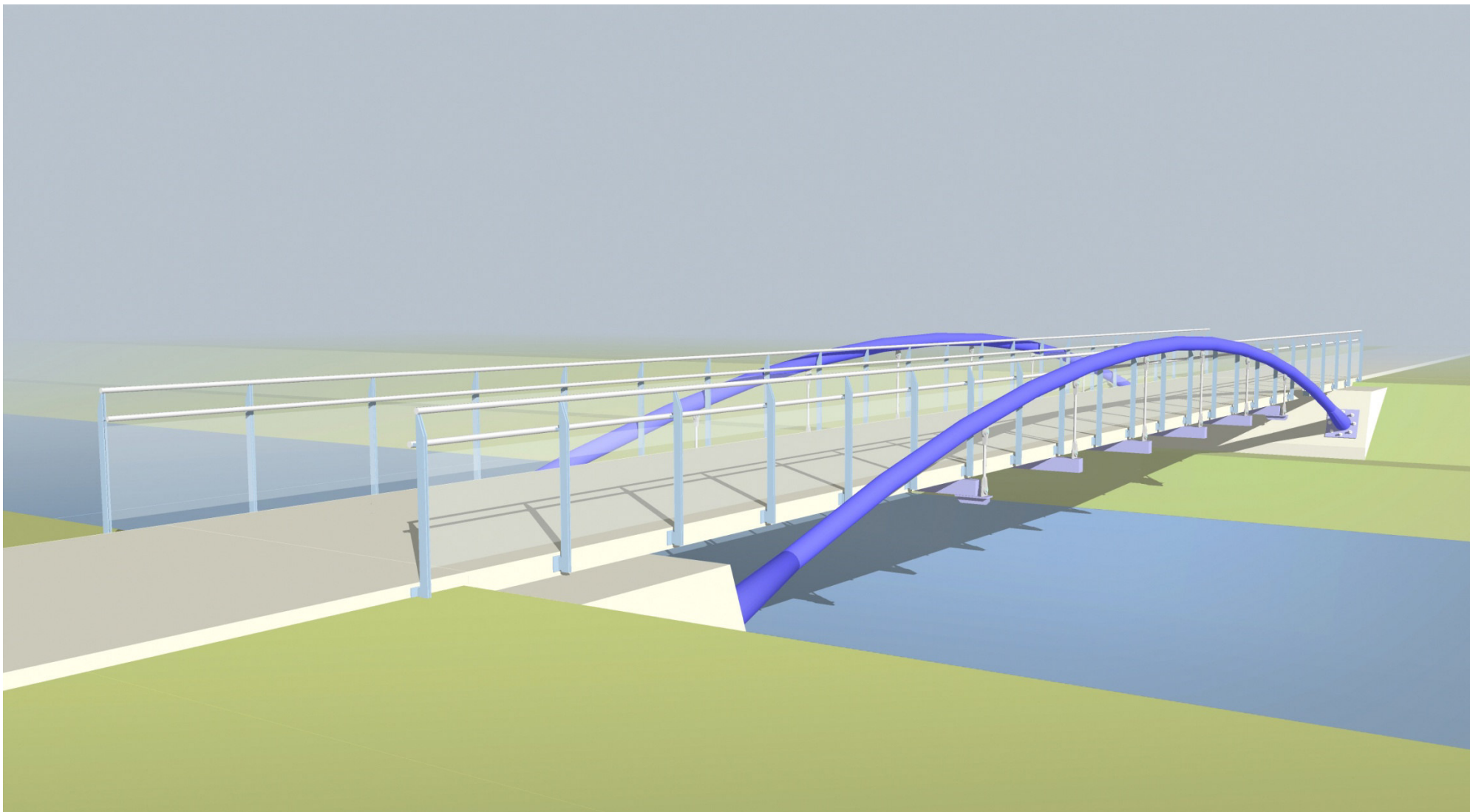


Scale: 1: 79,3962
Zoom: 100,196
Eye: (-0,303952, 0,144887, 0,310847)
Nonlinear analysis
Analysis: Analysis 1
Loadcase: 1 Loadcase 1, 7 Increment 7 Load Factor = 2 00000
Results file: Rat_arch_5_vzper-Analysis 1.mys
Maximum displacement: 0,0919916 at Gauss point 2 of element 25
Deformation exaggeration: 21,517



← Vzperné napätie v oblúku pri faktore zaťaženia 2
Nelineárny výpočet

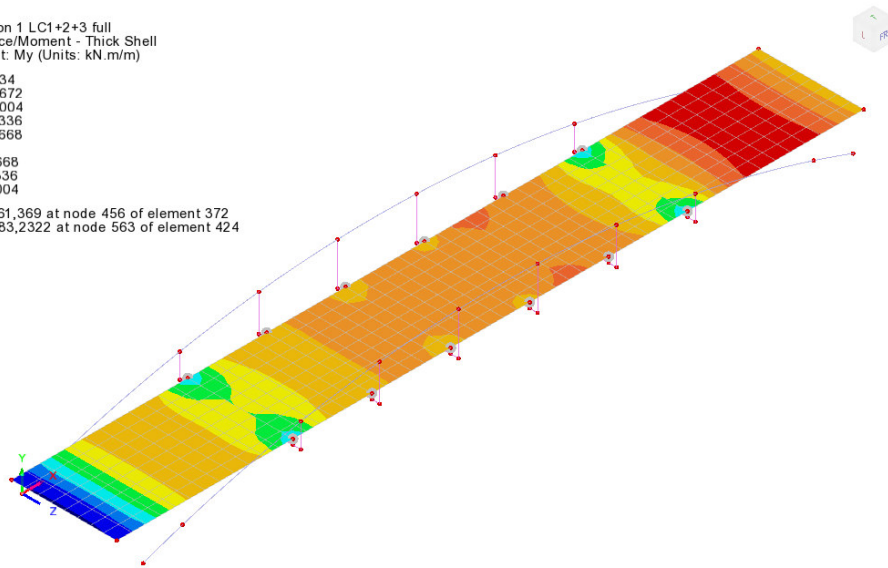
Tvar vzpernej deformácie ↑



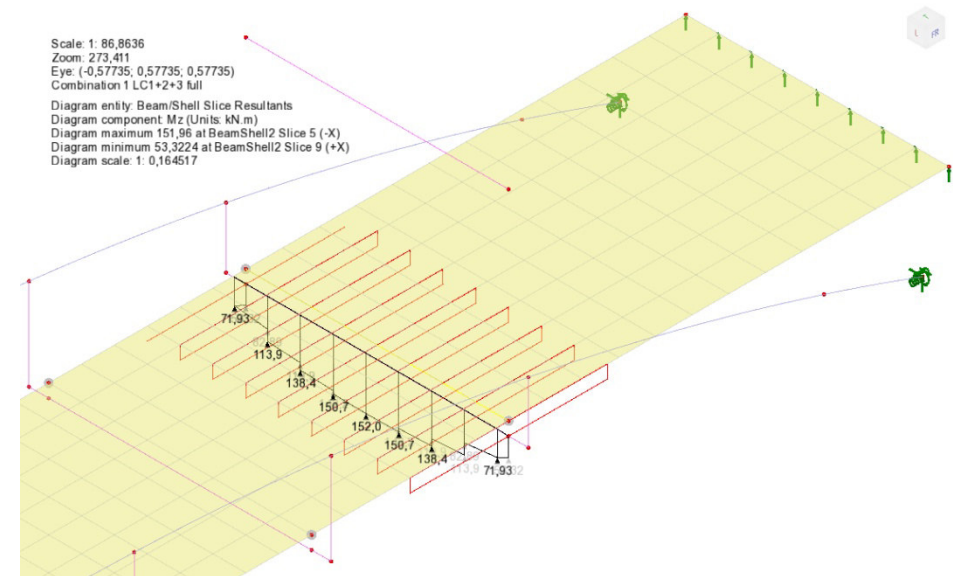
Combination 1 LC1+2+3 full
Entity: Force/Moment - Thick Shell
Component: My (Units: kN.m/m)

-80,334
-64,2672
-48,2004
-32,1336
-16,0668
0,0
16,0668
32,1336
48,2004

Maximum 61,369 at node 456 of element 372
Minimum -83,2322 at node 563 of element 424



↑ Rozloženie pozdĺžnych momentov v mostovke od plného zaťaženia bez vplyvu predpätia



Maximálny moment v spriahnutej sústave oceleový nosník – mostovka ↑
v zobrazenej šírke zaťaženia (červený obdĺžnik)

Pružná únosnosť spriahnutého ocelebetónového prierezu

Oceleový nosník symetrický k zvislej osi. Namáhanie kladným momentom

2018
© SSK

VSTUPNÉ ÚDAJE

H _b výška betónu [mm]	200
H _o výška ocele. nosníku [mm]	200
B _{o,eff} šírka bet. časti [mm]	2000
A _o plocha ocele. prierezu [cm ²]	64
I _o oceleový nosník [cm ⁴]	3,54E+03
t _a ťažisko ocele. prierezu odspodu [mm]	100
d _i medzera, kónus [mm]	0
E _o /E _{cm} E _{cm} -kratkod., E _{cm} /3-dlhod., E _{cm} /2-prijateľne	12,35
M _{Ed} [kNm]	152
V _{Ed} [kN] šmyková sila	132

B _{o,nahr} [mm]	162
A _i [cm ²]	388
x _i [cm]	26,70
J _i [cm ⁴]	3,57E+04
W _{di} [cm ³]	1337
W _{hi} [cm ³]	2685

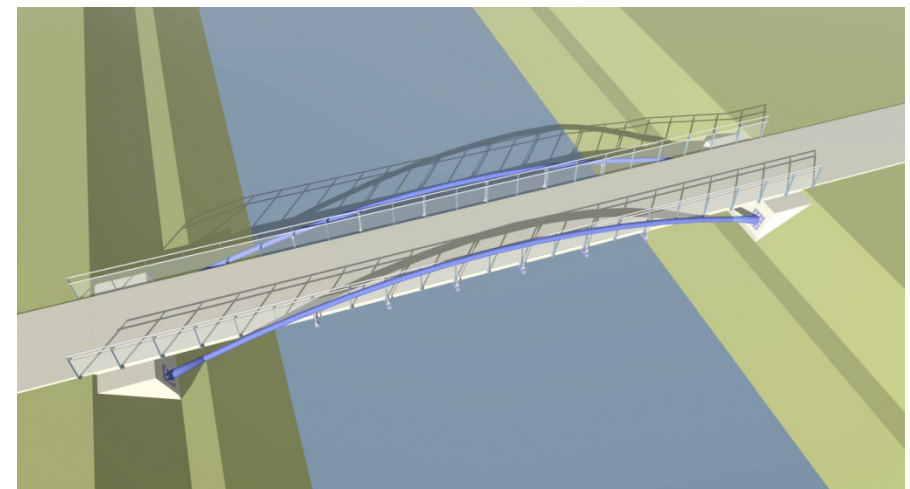
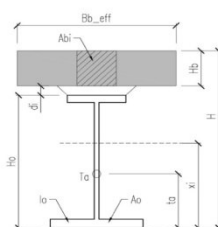
σ _{o,Ed} [Mpa]	113,65
σ _{h,Ed} [Mpa]	4,58

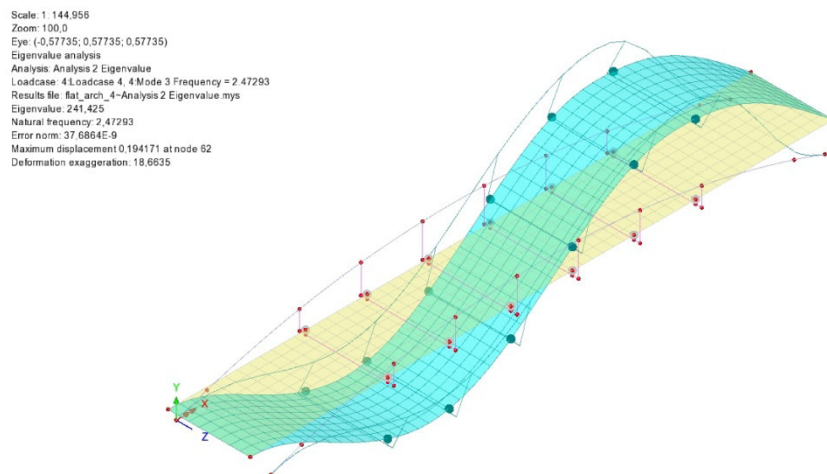
Návrhová šmyková sila na jednotku dĺžky pre trne	
v [kN/m]	395

TEXT

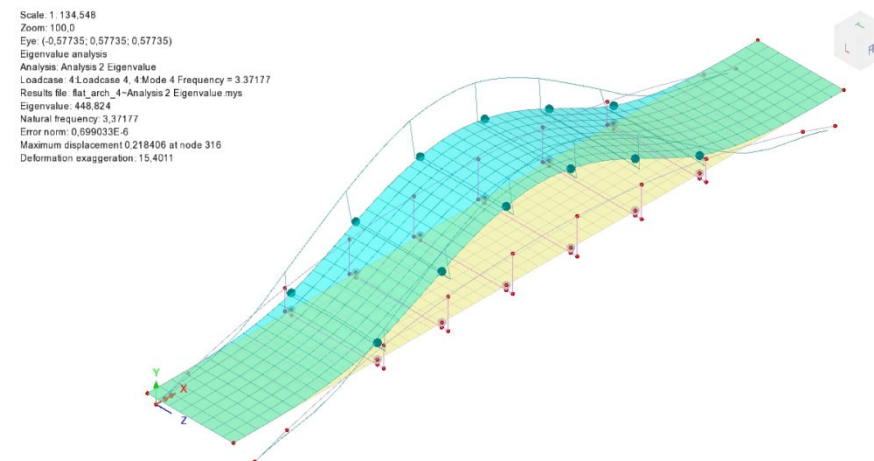
flat_arch
ocel - alternativa 200x150x10

A _{bi} [cm ²]	324
H [mm]	400





↑ Tretí vlastný tvar kmitania $f = 2,47 \text{ Hz}$



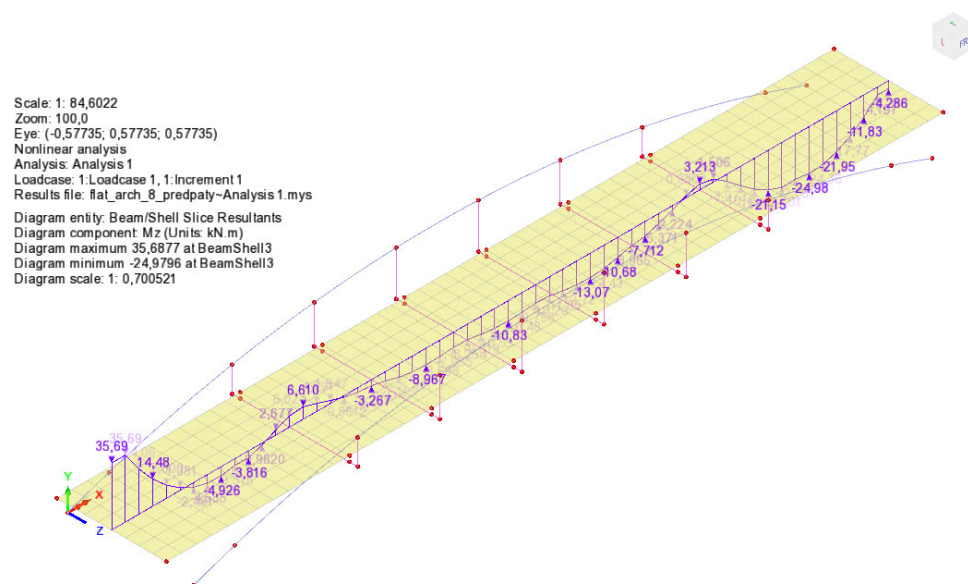
Štvrtý najnepriaznivejší vlastný tvar kmitania $f = 3,37 \text{ Hz}$ ↑

Mass participation factors					
Mode	Mass PF X	Mass PF Y	Mass PF Z	Frequency	Period
1	2,08536E-26	8,58176E-25	0,04868	2,09659	0,476965
2	7,89465E-15	1,23251E-11	1,15412E-13	2,09659	0,476965
3	0,000356558	0,00976935	1,21395E-19	2,47293	0,404379
4	0,000051199	0,549541	8,59603E-18	3,37177	0,29658
5	3,45174E-16	2,34504E-14	0,610384	4,58224	0,218234
6	5,43444E-05	0,305791	2,44488E-15	5,03899	0,198452
7	1,79582E-13	1,01381E-11	8,29039E-12	5,79169	0,172661
8	5,22435E-18	7,96903E-17	1,84054E-06	5,79169	0,172661
9	2,67239E-15	2,14485E-13	2,48165E-06	6,66567	0,150022
10	1,11023E-14	5,17878E-17	7,65421E-06	7,20358	0,13882

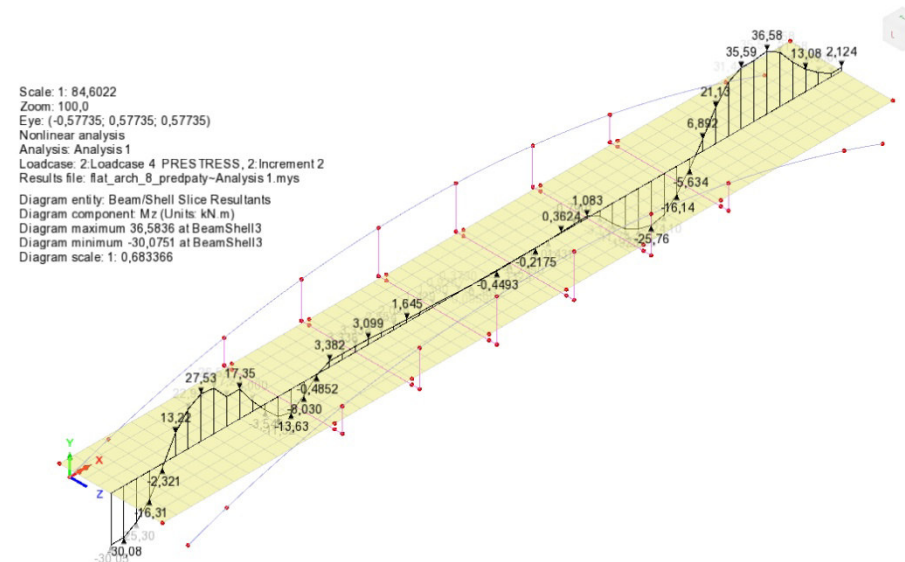
↑ Energetické vyhodnotenie dynamických vlastností



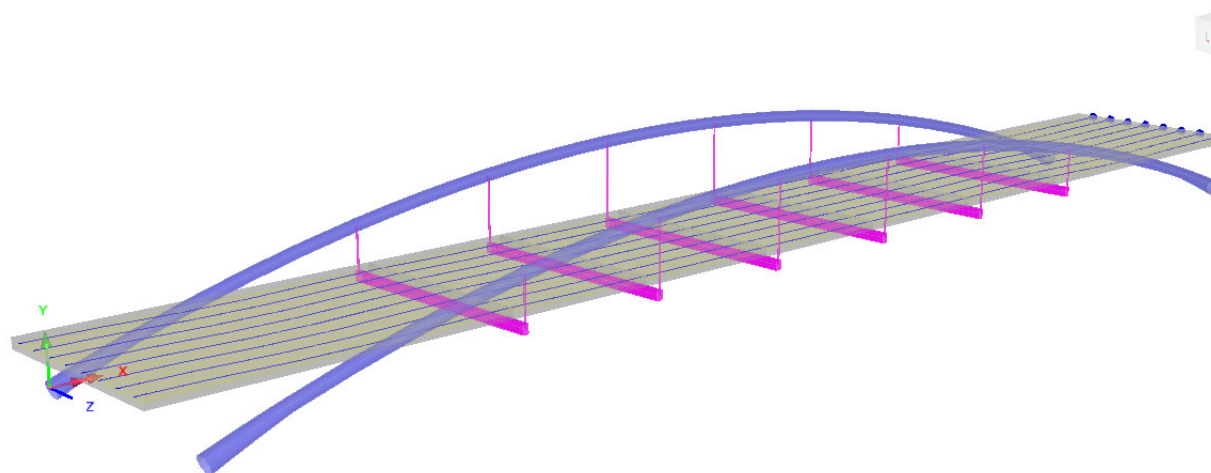
Zrýchlenia od budenia šiestich koordinovaných chodcov vo frekvencii 3,37 Hz ↑
v strede rozpätia. Most sa tak radí do triedy maximálneho až stredného komfortu



↑ Momenty v strednom páse šírky 1 m od čistej vlastnej tiaže dosky



Momenty v strednom páse šírky 1 m od predpínacích káblov ↑
včítane sekundárnych momentov

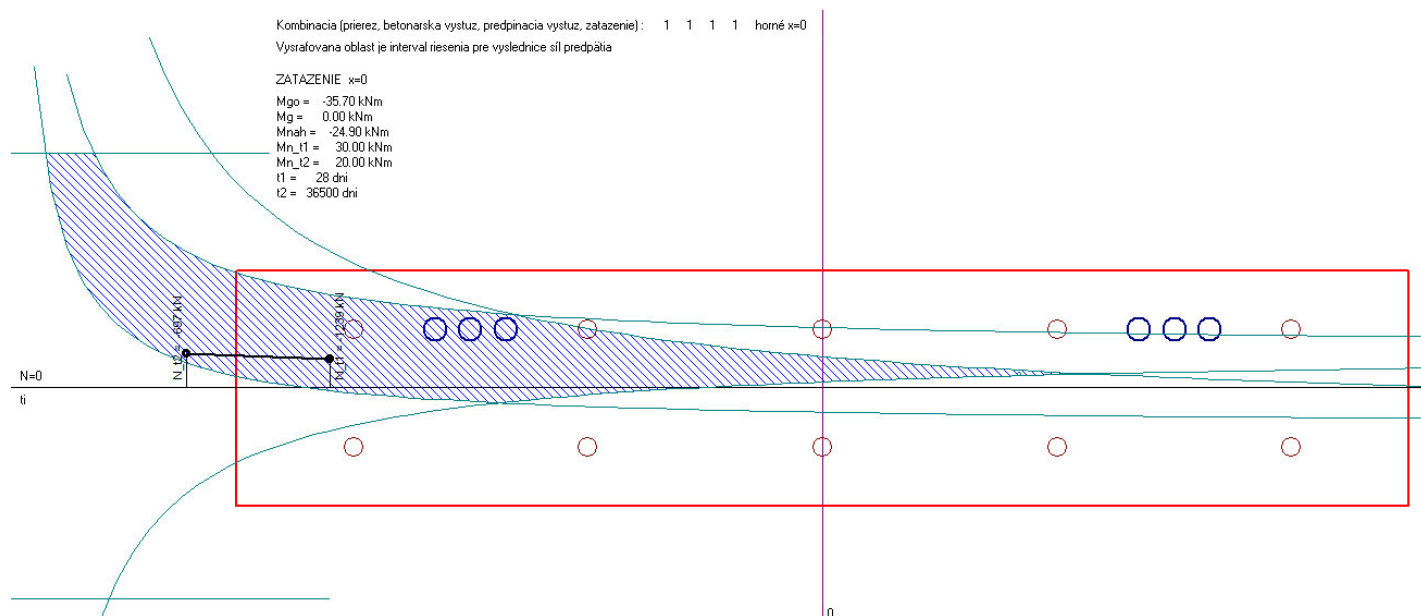


↑ Umiestnenie predpínacích káblov do modelu (priehľadné zobrazenie). Detaily prevýšenia káblov vid'. stranu 3

Momentové hodnoty z horných dvoch obrázkov boli použité ako základné vstupné údaje zaťaženia do programu PRECON.

Kontrola polohy predpínacej sily (program PRECON) ↓

Vyšrafovaná oblasť je interval riešenia pre výslednice síl predpätia. Prierez vo votknutí, $x = 0$ m.



VSTUPNÉ UDAJE

PRECON

Nazov kombinácie : **horné $x=0$**

Kombinácia (prierez, bet.vystuz, predp.vystuz) : 1 1 1

BETONOVY PRIEREZ

Cislo bodu	X (m)	Y (m)	Suradnice pravej polovice polygonu
1	0.000	0.100	
2	0.500	0.100	
3	0.500	0.300	
4	0.000	0.300	

MATERIAL PRIEREZU

Beton C35/45 $E_b=34000$ MPa $R_{b_tah}=3200$ kN/m² $R_{b_tlak}=-21000$ kN/m²

BETONARSKA VYSTUZ

c.	X (m)	Y (m)	(mm) priemer	(GPa) Es	(MPa) Rs_tah	(MPa) Rs_tlak	oznacenie
1	0.000	0.150	16	200	435	-435	Ocel B500B
2	-0.200	0.150	16	200	435	-435	Ocel B500B
...							
9	0.200	0.250	16	200	435	-435	Ocel B500B
10	0.400	0.250	16	200	435	-435	Ocel B500B

PREDPINACIA VYSTUZ

c.	X (m)	Y (m)	A_p (cm ²)	(mm) kan.	λ	μ	(GPa) E_p	(MPa) R_{p_in}	(MPa) R_{p_d}	oznacenie
1	-0.330	0.250	1.450	21	0.920	0.730	195	-1350	1390	Ls 15,5/1800
2	-0.300	0.250	1.450	21	0.920	0.730	195	-1350	1390	Ls 15,5/1800
3	-0.270	0.250	1.450	21	0.920	0.730	195	-1350	1390	Ls 15,5/1800
4	0.270	0.250	1.450	21	0.920	0.730	195	-1350	1390	Ls 15,5/1800
5	0.300	0.250	1.450	21	0.920	0.730	195	-1350	1390	Ls 15,5/1800
6	0.330	0.250	1.450	21	0.920	0.730	195	-1350	1390	Ls 15,5/1800

SUCINITELE

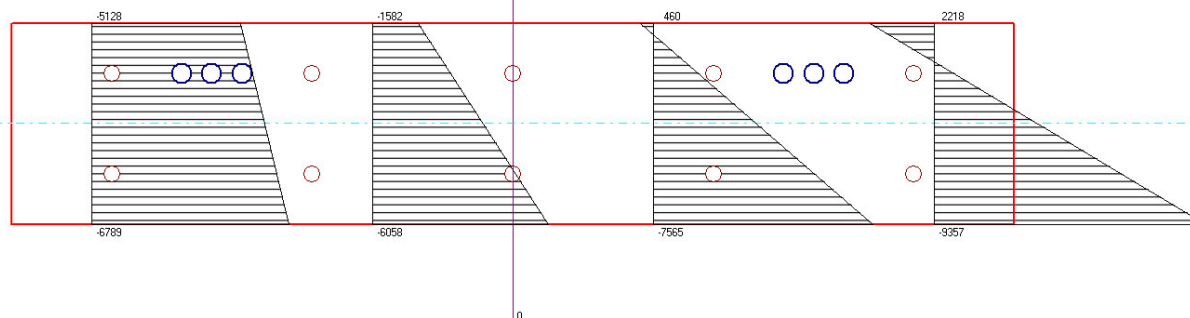
Sucinitel spoľahlivosti predpätia v case t_1 (sup): 1.100
 Sucinitel spoľahlivosti predpätia v case t_2 (inf): 0.900
 Konecna hodnota zmrastovania : 0.00030
 Konecna hodnota dotvarovania : 4.0
 Medzne pomerne pretvorenie betonu : 0.0035
 Medzne pomerne pretvorenie vystuze : 0.020
 Vypocet zakladneho napätia : ano

Kombinácia (prierez, betónarska vystuž, predpinacia vystuž, zaťaženie): 1 1 1 1 horné x=0

Grafy zľava znamenajú: Stádium predpinania t₁, Dlhodobé zaťaženie t₂, Polovičné náhodné zaťaženie t₂, Plné náhodné zaťaženie t₂

ZATAŽENIE x=0

M_{go} = -35,70 kNm
M_g = 0,00 kNm
M_{nah} = -24,30 kNm
M_{n1} = 30,00 kNm
M_{n2} = 20,00 kNm
t₁ = 28 dní
t₂ = 36500 dní

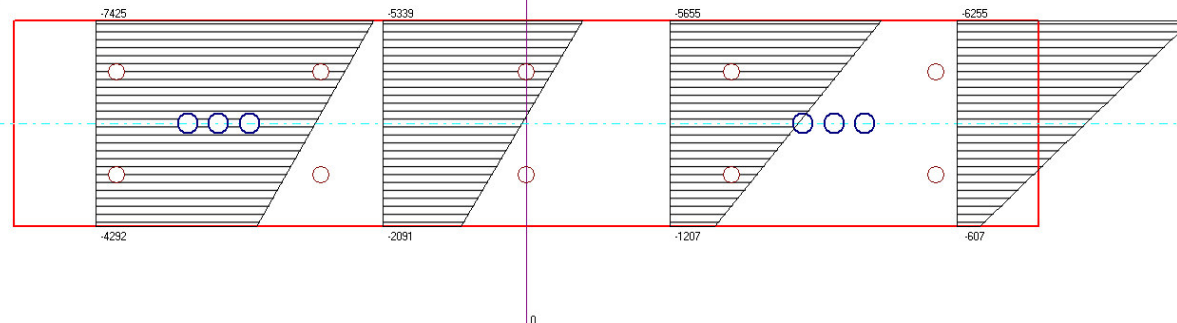


Kombinácia (prierez, betónarska vystuž, predpinacia vystuž, zaťaženie): 1 1 3 3 stred x=14,2m

Grafy zľava znamenajú: Stádium predpinania t₁, Dlhodobé zaťaženie t₂, Polovičné náhodné zaťaženie t₂, Plné náhodné zaťaženie t₂

ZATAŽENIE x=14,2m

M_{go} = 10,83 kNm
M_g = 0,00 kNm
M_{nah} = 8,00 kNm
M_{n1} = 0,00 kNm
M_{n2} = 0,00 kNm
t₁ = 28 dní
t₂ = 36500 dní

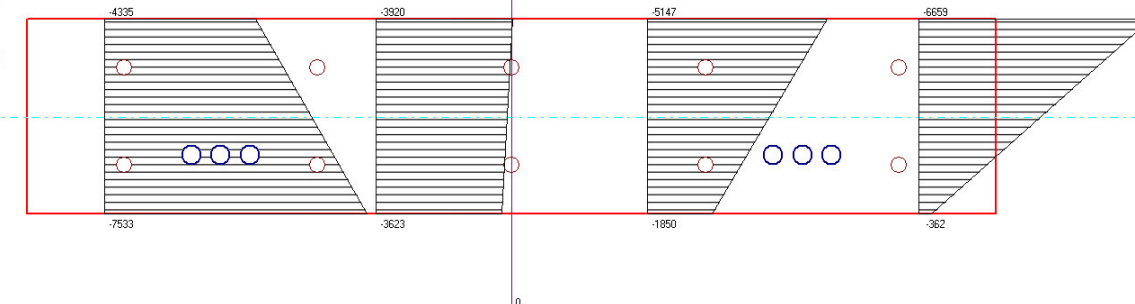


Kombinácia (prierez, betónarska vystuž, predpinacia vystuž, zaťaženie): 1 1 2 2 dolné x=25,2m

Grafy zľava znamenajú: Stádium predpinania t₁, Dlhodobé zaťaženie t₂, Polovičné náhodné zaťaženie t₂, Plné náhodné zaťaženie t₂

ZATAŽENIE x=25,2m

M_{go} = 25,00 kNm
M_g = 0,00 kNm
M_{nah} = 20,20 kNm
M_{n1} = -36,00 kNm
M_{n2} = -24,00 kNm
t₁ = 28 dní
t₂ = 36500 dní



Riešenie napätí programom *PRECON* po výške prierezu. Grafy v jednotlivých obrázkoch zľava znamenajú:

Štádium predpinania t₁ = 28 dní

Dlhodobé zaťaženie t₂ = 36500 dní

Polovičné náhodné zaťaženie t₂ = 36500 dní

Plné náhodné zaťaženie t₂ = 36500 dní.

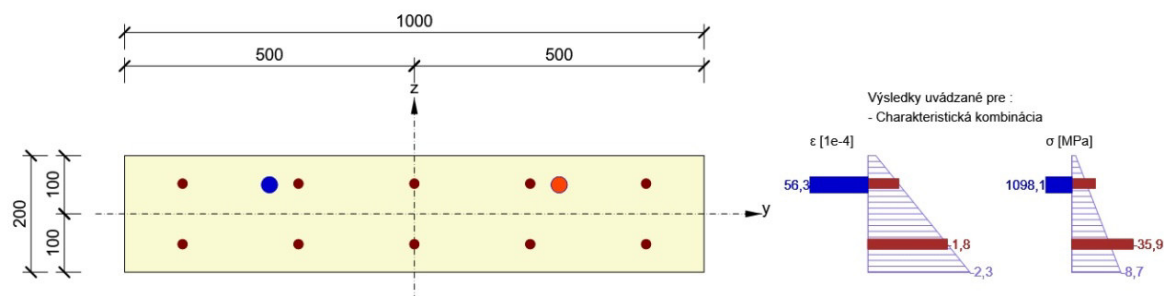
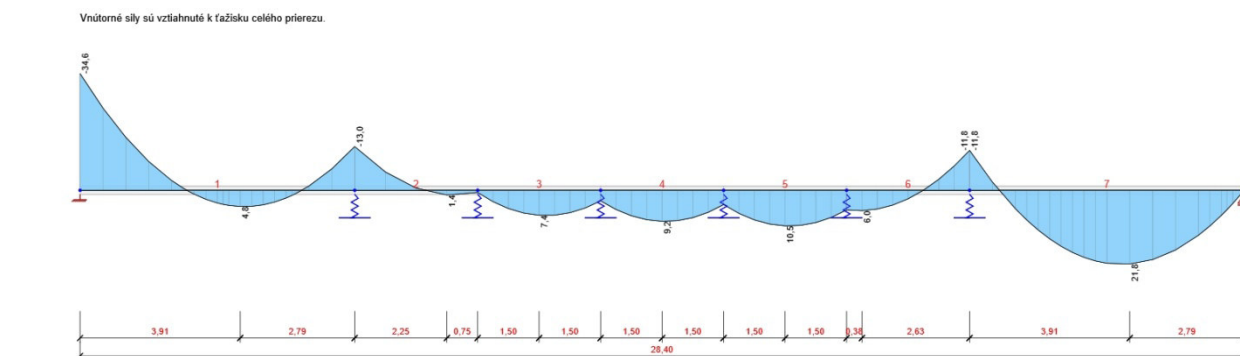
Charakteristická kombinácia

V žiadnom bode prierezu nie je prekročené prípustné namáhanie v tlaku, ani v ťahu.

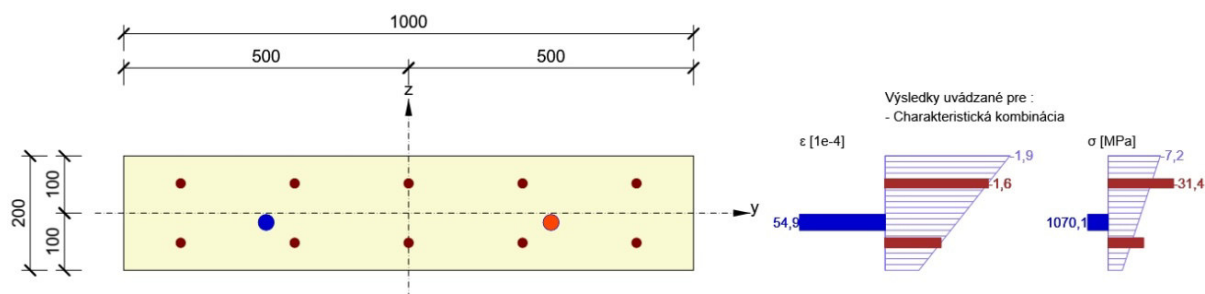
Obrázky zhora: x = 0 m, x = 14,2 m, x = 25,2 m

b = 1000 mm (stredný výsek)

h = 200 mm



← Obmedzenie napätia v reze $x = 0$ m, modul RCS
Fáza výstavby – koniec životnosti



← Obmedzenie napätia v reze $x = 26,72$ m, modul RCS
Fáza výstavby – koniec životnosti

← Spojitý nosník v programe *IDEA StatiCa Beam*

Zaťaženie od vlastnej tiaže. Pružiny sú odvodené z priestorového modelu *LUSAS*.

Celkový status posudku dimenzačného dielca: ✓

Posudky rezov

Posudok	Hodnota [%]	Status
Únosnosť N-M-M	47,6	✓
Šmyk	22,0	✓
Interakcia	84,2	✓
Obmedzenie napätia	92,5	✓
Šírka trhliny	80,5	✓

ZÁVER

Niektoré ZDROJE, použité pri tvorbe článku :

- [1] STN EN 1990/A1 Zásady navrhovania konštrukcií, príloha A2 – Použitie pre mosty
- [2] STN EN 1991–2 Zaťaženie mostov dopravou

© Ing. Vladimír Budinský SSK, Banská Bystrica, II/2026

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

Pri zostavovaní článku boli použité nasledovné POČÍTAČOVÉ PROGRAMY :

LUSAS Bridge Plus, PRECON, IDEA StatiCa Prestressing, SketchUp, AutoCad LT, Microsoft Word, Microsoft Excel, PDF Creator, IrfanView, Corel Draw

