



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH SPOJITÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE

DESIGN OF THE CONTINUOUS BRIDGE STRUCTURE

P4. STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Škarda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2019

1 Obsah

1	Obsah.....	2
2	Základní informace	8
2.1	Popis konstrukce	8
2.2	Základní údaje o mostě	8
2.3	Údaje o komunikaci na mostě	9
2.4	Skladba vozovky.....	9
2.5	Ostatní prvky	9
2.5.1	Římsy	9
2.5.2	Svodidla	9
2.6	Schéma příčného řezu	10
3	Použité materiály	10
3.1	Beton.....	10
3.2	Betonářská výztuž	11
3.3	Předpínací výztuž.....	11
4	Výpočet krytí	11
4.1	Krytí betonářské výztuže	12
4.1.1	Třmínky.....	12
4.1.2	Podélná výztuž	12
4.2	Krytí předpínací výztuže	12
5	Průřezové charakteristiky	13
5.1	Výpočet pro pole 1	14
5.2	Výpočet pro podporu.....	14
5.3	Výpočet pro pole 2	14
6	Statický model nosné konstrukce.....	15
6.1	Model pro řešení podélného směru.....	15
6.2	Model pro řešení příčného směru	16
7	Zatížení	17
7.1	Stálá zatížení.....	17
7.1.1	Vlastní tíha	17
7.1.2	Ostatní stálé zatížení	17

7.1.3	Sedání podpor	18
7.2	Proměnná zatížení.....	18
7.2.1	Zatížení dopravou – LM1	18
7.2.2	Zatížení dopravou – LM3	19
7.2.3	Zatížení teplotou	20
8	Získané vnitřní síly na konstrukci.....	21
8.1	Stálá zatížení.....	21
8.1.1	Vlastní tíha	21
8.1.2	Ostatní stálé zatížení – supremum.....	22
8.1.3	Ostatní stálé zatížení – infimum.....	23
8.1.4	Sedání	24
8.2	Proměnná zatížení.....	25
8.2.1	Zatížení dopravou - LM1 – TS	25
8.2.2	Zatížení dopravou – LM1 – UDL	26
8.2.3	Zatížení dopravou – LM3	27
8.2.4	Zatížení teplotou – horní povrch teplejší.....	28
8.2.5	Zatížení teplotou – dolní povrch teplejší	29
9	Kombinace zatížení.....	30
9.1	Sestavy zatížení dle ČSN EN 1991-2/Z4.....	30
9.2	Přehled získaných vnitřních sil	31
9.3	Kombinační součinitelé	31
9.3.1	Kombinační součinitelé pro SLS	31
9.3.2	Kombinační součinitelé pro USL.....	31
9.3.3	Redukční součinitelé pro zatížení teplotou.....	32
9.4	Kombinace pro SLS	32
9.4.1	V čase t_0	32
9.4.2	V čase t_{00}	32
10	Návrh předpětí.....	33
10.1	Předběžný návrh předpětí	33
10.2	Přesný návrh předpětí	33
10.2.1	Ztráty předpětí	33
10.2.2	Vnitřní síly od předpětí.....	34
11	Posouzení na SLS.....	35

11.1	Vstupní údaje	35
11.1.1	Materiálové charakteristiky	35
11.1.2	Průřezové charakteristiky	35
11.2	Podmínky omezení napětí	35
11.2.1	V čase t_0	35
11.2.2	V čase t_{00}	36
11.2.3	Pro předpínací výztuž	36
11.3	Posouzení charakteristické kombinace v čase t_0	37
11.3.1	Vstupní údaje	37
11.3.2	Posouzení pro $M_{char,max}$	37
11.3.3	Posouzení pro $M_{char,min}$	37
11.4	Posouzení kvazistálé kombinace v čase t_0	38
11.4.1	Vstupní údaje	38
11.4.2	Posouzení pro $M_{kvazi,max}$	38
11.4.3	Posouzení pro $M_{kvazi,min}$	38
11.5	Posouzení charakteristické kombinace v čase t_{00}	39
11.5.1	Vstupní údaje	39
11.5.2	Posouzení pro $M_{char,max}$	39
11.5.3	Posouzení pro $M_{char,min}$	39
11.6	Posouzení kvazistálé kombinace v čase t_{00}	40
11.6.1	Vstupní údaje	40
11.6.2	Posouzení pro $M_{kvazi,max}$	40
11.6.3	Posouzení pro $M_{kvazi,min}$	40
11.7	Omezení trhlin	41
11.7.1	Podmínky pro omezení trhlin	41
11.7.2	Posouzení v čase t_0	41
11.7.3	Posouzení v čase t_{00}	42
11.8	Omezení přetvoření	43
11.8.1	Podmínka pro omezení průhybu	43
11.8.2	Posouzení průhybu od dopravního zatížení	43
11.9	Závěr	43
12	Posouzení na ULS – podélný ohyb	45
12.1	Vstupní údaje	45

12.1.1	Vlastnosti betonu.....	45
12.1.2	Navržená předpínací výztuž	45
12.2	Posouzení pole 1	45
12.2.1	Případ ideálního porušení průřezu	45
12.2.2	Výsledná iterace	46
12.3	Posouzení podpory	48
12.3.1	Případ ideálního porušení průřezu	48
12.3.2	Výsledná iterace	49
12.4	Posouzení pole 2	50
12.4.1	Případ ideálního porušení	50
12.4.2	Výsledná iterace	51
13	Posouzení na ULS – smyk a kroucení	52
13.1	Přehled umístění zatížení dopravou.....	52
13.1.1	Umístění pro maximální V_{Ed} a odpovídající T_{Ed}	52
13.1.2	Postavení pro maximální T_{Ed} a odpovídající V_{Ed}	53
13.2	Získané vnitřní síly na konstrukci	54
13.2.1	Stálá zatížení	54
13.3	Přehled získaných vnitřních sil	64
13.4	Kombinační součinitelé	64
13.4.1	Kombinační součinitelé pro ULS.....	64
13.4.2	Součinitelé zatížení pro ULS	65
13.4.3	Redukční součinitelé pro zatížení teplotou.....	65
13.4.4	Kombinace zatížení pro posouzení	65
13.5	Rozhodnutí o potrhání průřezu.....	66
13.5.1	Vlastnosti betonu.....	66
13.5.2	Průřezové charakteristiky	66
13.5.3	Výpočet napětí.....	66
13.5.4	Posouzení.....	66
13.5.5	Závěr	66
13.6	Výpočet únosnosti ve smyku nevyztuženého průřezu	67
13.7	Výpočet únosnosti v kroucení.....	67
13.7.1	Parametry průřezu v kroucení.....	68
13.7.2	Posouzení.....	68

13.8	Posouzení interakce smyku a kroucení.....	68
13.8.1	Ověření kapacity průřezu pro přenos zatížení	68
13.8.2	Rozdělení posouvající síly na průřezu.....	69
13.8.3	Převedení kroucího momentu na posouvající sílu	70
13.8.4	Návrh smykové výztuže – oblast 1	70
13.8.5	Návrh smykové výztuže – oblast 2	71
13.8.6	Posouzení dolního povrchu na kroucení.....	71
13.8.7	Posouzení horního povrchu na kroucení	72
13.9	Posouzení konstrukčních zásad	73
13.10	Návrh podélné smykové výztuže.....	74
13.10.1	Výpočet vodorovné síly H_{Ed}	74
13.10.2	Přepočet únosnosti v podélném směru	74
13.11	Podélný smyk horní desky.....	75
13.11.1	Výpočet napětí v posuzovaném řezu	76
13.11.2	Návrh smykové výztuže.....	77
14	Příčný směr.....	78
14.1	Zatížení.....	78
14.1.1	Stálá zatížení.....	78
14.1.2	Proměnná zatížení.....	80
14.1.3	Přehled zatížení zadaných do výpočetního programu.....	80
14.2	Získané vnitřní síly.....	81
14.3	Posouzení jednotlivých řezů na ohyb.....	82
14.3.1	Přehled posuzovaných řezů	82
14.3.2	Postup výpočtu.....	82
14.3.3	Přehled potřebných ploch výztuže v jednotlivých řezech.....	82
14.3.4	Interakce s podélným smykem.....	83
14.3.5	Přehled navržené výztuže v jednotlivých řezech.....	83
14.4	Posouzení jednotlivých řezů na smyk	84
14.4.1	Posouzení v řezu 1	84
14.4.2	Posouzení v řezu 2.....	86
14.4.3	Posouzení v řezu 3.....	88
14.5	Návrh výztuže proti vytržení kabelů	90
15	Návrh vrubového kloubu	90

15.1	Kombinace reakcí	90
15.2	Posouzení na soustředěný tlak	91
15.3	Návrh výztuže vrubového kloubu	91
15.3.1	Vodorovné třmínky	91
15.3.2	Šikmá výztuž	92
16	Koncový příčník.....	93
16.1	Získané reakce	93
16.2	Kombinace reakcí	99
16.3	Navržená ložiska	99
16.4	Návrh příčníku na maximální reakce.....	100
16.4.1	Vnitřní síly na zadaných modelech.....	101
16.4.2	Rekapitulace vnitřních sil	102
16.4.3	Dimenzování závěsu.....	103
16.4.4	Dimenzování prvků S&T modelu	105
16.5	Návrh příčníku na účinky kroucení	113
16.5.1	Uvažované zatížení	114
16.5.2	Vnitřní síly na zadaném modelu	115
16.5.3	Rekapitulace vnitřních sil	115
16.5.4	Dimenzování prvků S&T modelu	116
16.6	Bezpečnost proti nadzvednutí z ložiska	119
17	Kotevní oblast	120
17.1	Vstupní údaje	120
17.2	Posouzení soustředného tlaku.....	121
17.3	Posouzení oblasti pod kotvou	122
17.4	Posouzení oblasti u povrchu.....	123
17.5	Posouzení globální oblasti	123
17.5.1	Návrh výztuže	123
18	Závěr.....	124

2 ZÁKLADNÍ INFORMACE

2.1 Popis konstrukce

Trvalý silniční most o třech polích, který převádí komunikaci III. třídy číslo 11812 přes nově budovaný úsek dálnice č. 4 (v současné době silnice I/4) v km 8,808 ve směru od Horních Hbit na Příbram. . Most je situován v extravilánu na přeložce silnice III/11812 mezi obcemi Buk a Jerusalem. Mostní objekt nese označení SO 201.

V místě mostního objektu je silnice vedena jak ve směrovém, tak výškovém oblouku. Niveleta má tedy proměnný sklon. Příčný sklon komunikace má hodnotu 4,0% směrem ke středu směrového oblouku.

Oba dopravní směry jsou vedeny na jedné konstrukci. Most je osazen železobetonovými římsami, na kterých je po obou stranách mostní zábradelní svodidlo stupně zadržení H2.

Na opěrách je most uložen na dvojici hrncových ložisek. Podpěry jsou potom s nosnou konstrukcí spojeny pomocí vrubových kloubů. Založení je navrženo jako hlubinné pomocí skupin pilot o průměru 0,9 m, pod každou z dvojice podpěr je navržena skupina 11 pilot.

2.2 Základní údaje o mostě

Charakteristika mostu:	Trvalý, nepohyblivý, silniční most
	Deskotrámový nosník o 3 polích
Délka přemostění:	73,250 m
Délka mostu:	87,600 m
Délka nosné konstrukce:	75,700 m
Počet polí:	3
Rozpětí jednotlivých polí:	20,00 + 34,50 + 20,00 m
Šikmost mostu:	90°
Volná šířka mostu:	9,000 m
Šířka průchozího prostoru:	-
Šířka mostu:	10,600 m
Výška mostu:	6,438 m
Stavební výška:	1,300 m
Plocha nosné konstrukce:	
Zatížení mostu:	dle ČSN EN 1991-2

2.3 Údaje o komunikaci na mostě

Pozemní komunikace:	III/11812
Bod křížení:	S-JTSK: X = 1087256.254; Y = 775481.296
Staničení komunikace:	km 8,808
Úhel křížení:	70,3°
Volná výška:	neomezená
Kategorie komunikace:	S7,5
Šířka komunikace:	9,00 m
Směrové poměry:	směrový oblouk poloměru 190,750 m
Výškové poměry:	vrcholový oblouk

2.4 Skladba vozovky

Skladba vozovky vychází ze zadání diplomové práce, kde byla navržena dle ČSN 73 6242 *Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací*.

Skladba vozovky:

Obrusná vrstva	ACO 11 S	40 mm
Ložná vrstva	ACL 16 S	50 mm
Ochranná vrstva	MA 11 IV	35 mm
Izolace	NAIP	5 mm
Celkem		130 mm

2.5 Ostatní prvky

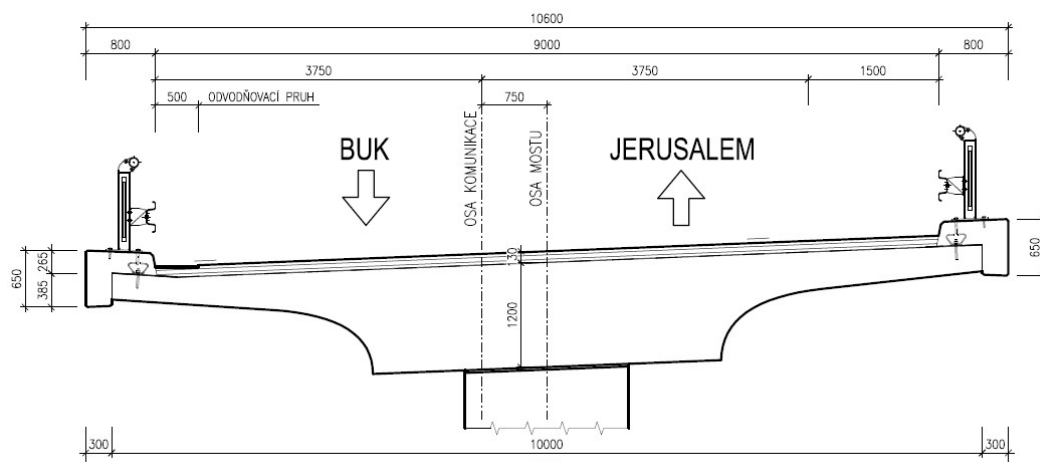
2.5.1 Římsy

Římsy jsou uvažovány z betonu C30/37 XF4, XD3. Tloušťka říms je 300 mm, výška vnějších částí je 650 mm a šířka říms je 800 mm.

2.5.2 Svodidla

Jsou navržena zábradelní svodidla se svislou výplní stupně zadržení H2. Uvažované zatížení od jednoho svodidla je 0,5 kN/m.

2.6 Schéma příčného řezu



Obr. 1 - Příčný řez

3 POUŽITÉ MATERIÁLY

Předpjatý nosník je navržen z betonu C50/60 XF2, XD1. Pro předpínací výztuž byl navržen typ Y1860-S7-15,7, předpínací systém VSL 0,6", kruhové kabelové kanálky z galvanizované vlnité oceli, kotvení typ E 0.6. Betonářská výztuž je navržena z oceli B500B.



Obr. 3 - Kabelové kanálky



Obr. 2 - Kotva typ E 0.6

3.1 Beton

Pevnostní třída:		C50/60
Objemová tíha:	ρ_c	25 kN/m ³
Charakteristická pevnost v tlaku:	f_{ck}	50 MPa
Střední pevnost v tlaku:	f_{cm}	58 MPa
Součinitel spolehlivosti:	γ_c	1,5 -
Součinitel účinků zatížení pro mosty:	α_{cc}	0,9 -
Návrhová pevnost v tlaku:	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$	30 MPa
Střední pevnost v tahu:	f_{ctm}	4,1 MPa
Modul pružnosti v tlaku:	E_{cm}	37 GPa
Mezní přetvoření:	ϵ_{cu3}	3,5‰

3.2 Betonářská výztuž

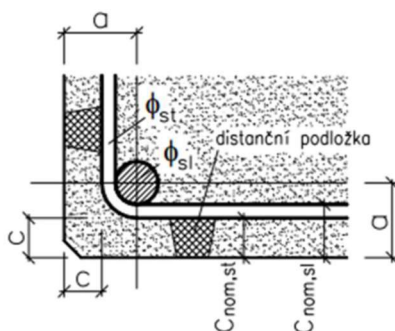
Typ výztuže:		B500B
Charakteristická hodnota meze kluzu:	f_{yk}	500 MPa
Součinitel spolehlivosti:	γ_s	1,15 -
Návrhová hodnota meze kluzu:	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	434,78 MPa
Modul pružnosti:	E_s	200 GPa

3.3 Předpínací výztuž

Typ výztuže:		Y1860-S7-15,7
Charakteristická pevnost v tahu:	f_{pk}	1860 MPa
Smluvní mez kluzu:	$f_{p0,1k}$	1640 MPa
Součinitel spolehlivosti:	γ_p	1,15 -
Návrhová pevnost v tahu:	$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_p$	1426,08 MPa
Průměr lana:	\varnothing_p	15,7 mm
Plocha lana:	A_p	150 mm ²
Počet lan v kabelu typ 1:	n_{p1}	19 ks
Počet lan v kabelu typ 2:	n_{p2}	22 ks
Průměr kabelu typ 1:	$A_{p1} = A_p * n_{p1}$	2850 mm ²
Průměr kabelu typ 2:	$A_{p2} = A_p * n_{p2}$	3300 mm ²
Průměr kabelového kanálku:	\varnothing_{duct}	110 mm
Modul pružnosti:	E_p	195 GPa

4 VÝPOČET KRYTÍ

Třída prostředí:	XD1
Životnost konstrukce:	100 let
Třída konstrukce:	S5 (S4 + 2 (živ. 100 let) - 1 (>C40/50))



Obr. 4 - Výpočet krytí

4.1 Krytí betonářské výztuže

Uvažovaný \varnothing třmínků:	\varnothing_{st}	10 mm
Uvažovaný \varnothing podélné výztuže:	\varnothing_{sl}	28 mm

4.1.1 Třmínky

$$\begin{aligned}
 c_{nom,st} &= c_{min,st} + \Delta c_{dev} \\
 c_{min,st} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \\
 c_{min,b} &= \varnothing_{st} = 10 \text{ mm} \\
 c_{min,dur} &= 40 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,y} &= 0 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,st} &= 0 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,add} &= 0 \text{ mm} \\
 c_{min,st} &= \max\{10; 40 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 40 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dev} &= 10 \text{ mm} \\
 c_{nom,st} &= 40 + 10 = \underline{50 \text{ mm} = c_{st}}
 \end{aligned}$$

4.1.2 Podélná výztuž

$$\begin{aligned}
 c_{nom,sl} &= c_{min,sl} + \Delta c_{dev} \\
 c_{min,sl} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \\
 c_{min,b} &= \varnothing_{sl} = 28 \text{ mm} \\
 c_{min,dur} &= 40 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,y} &= 0 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,st} &= 0 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,add} &= 0 \text{ mm} \\
 c_{min,sl} &= \max\{28; 40 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 40 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dev} &= 10 \text{ mm} \\
 c_{nom,sl} &= 40 + 10 = 50 \text{ mm} \\
 \underline{c_{sl} = c = 60 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Ověření: } c - \varnothing_{st} = 60 - 10 = 50 \geq c_{st} = 50 \text{ mm}$$

4.2 Krytí předpínací výztuže

Uvažovaný \varnothing kabelového kanálku:	\varnothing_{duct}	110 mm
---	----------------------	--------

$$\begin{aligned}
 c_{nom,p} &= c_{min,p} + \Delta c_{dev} \\
 c_{min,p} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \\
 c_{min,b} &= \varnothing_{duct} = 110 \text{ mm} \\
 c_{min,dur} &= 40 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,y} &= 0 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,st} &= 0 \text{ mm} \\
 \Delta c_{dur,add} &= 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

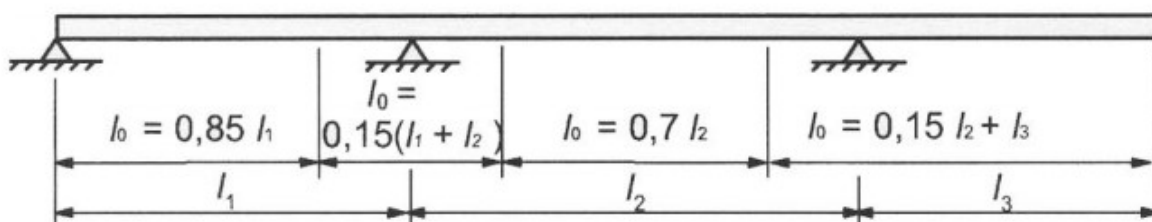
$$c_{\min,p} = \max\{110; 40 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 110 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$$

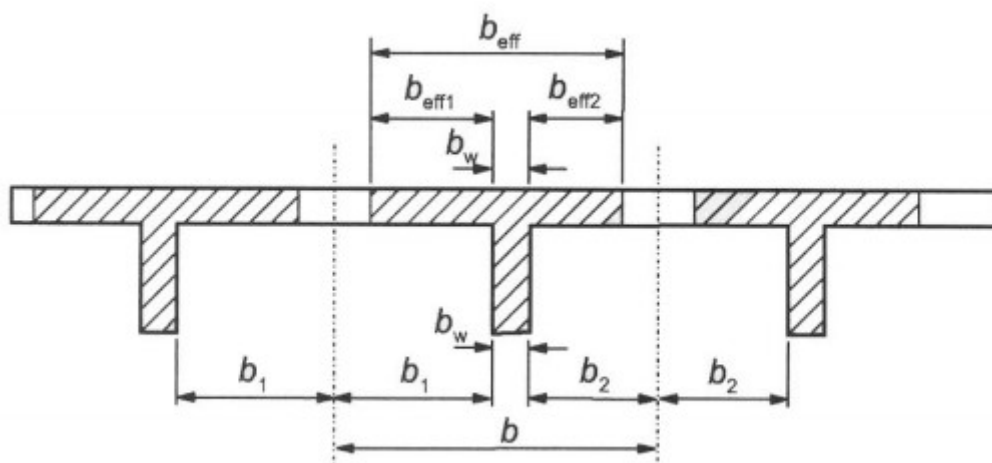
$$c_{\text{nom},p} = 110 + 10 = \underline{120 \text{ mm}} = c_p$$

5 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Byly stanoveny spolupůsobící šířky konzolových částí desky pro jednotlivé průřezy po délce mostu a to v poli 1, nad podporou a v poli 2. Stanovení bylo provedeno dle ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.



Obr. 5 - Stanovení vzdáleností l_0



Obr. 6 - Stanovení spolupůsobící šířky

$$b_1 = 1,85 \text{ m}$$

$$b_w = 6,30 \text{ m}$$

$$b_2 = 1,85 \text{ m}$$

5.1 Výpočet pro pole 1

$$l_0 = 0,85 \cdot l_1 = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = b_{\text{eff2}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,85 + 0,1 \cdot 27 = 1,936 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} < 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 17 = 3,4 \text{ m}$$

$$> b_1 \rightarrow \text{bez redukce}$$

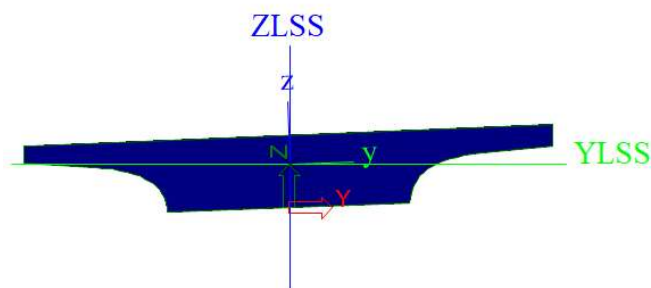
5.2 Výpočet pro podporu

$$l_0 = 0,15 \cdot (l_1 + l_2) = 0,15 \cdot (20 + 34,5) = 8,175 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = b_{\text{eff2}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,85 + 0,1 \cdot 8,175 = 1,188 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} < 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 8,175 = 1,635 \text{ m}$$

$$< b_1 \rightarrow \text{redukce}$$



Vlastnost	
A [m^2]	7,0391e+00
Ay [m^2]	6,6625e+00
Az [m^2]	5,3281e+00
AL [m^2/m]	1,8791e+01
AD [m^2/m]	1,8791e+01
cVUSS [mm]	20
cZUSS [mm]	707
IYUSS [m^4]	8,7178e-01
IYUSS [m^4]	2,7280e+01
IYUSS [m^4]	1,1112e+00
α [deg]	2,41
Iy [m^4]	8,2511e-01
Iz [m^4]	2,7327e+01
Iy [mm]	342
Iz [mm]	1970
Wely [m^3]	1,1626e+00
Welz [m^3]	6,2778e+00
Wply [m^3]	0,0000e+00
Wplz [m^3]	0,0000e+00
Mply+ [Nm]	0,00e+00
Mply- [Nm]	0,00e+00
Mplz+ [Nm]	0,00e+00
Mplz- [Nm]	0,00e+00
dy [mm]	0
dz [mm]	0
It [m^4]	2,2451e+00
Iw [m^6]	0,0000e+00
β y [mm]	5700
β z [mm]	41

Obr. 7 - Redukovaný průřez nad podporou

5.3 Výpočet pro pole 2

$$l_0 = 0,7 \cdot l_2 = 0,7 \cdot 34,5 = 24,15 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} = b_{\text{eff2}} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,85 + 0,1 \cdot 24,15 = 2,785 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff1}} < 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 24,15 = 4,83 \text{ m}$$

$$> b_1 \rightarrow \text{bez redukce}$$

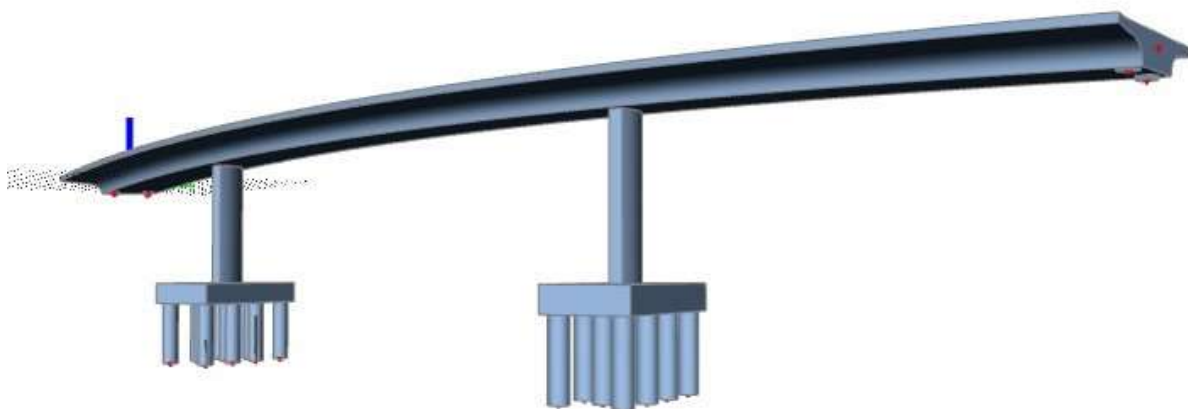
6 STATICKÝ MODEL NOSNÉ KONSTRUKCE

Pro tvorbu modelu, jeho zatížení a vyšetření vnitřních sil jak v podélném tak příčném směru navrhovaného mostu byl využit výpočetní program Scia Engineer 18.0.

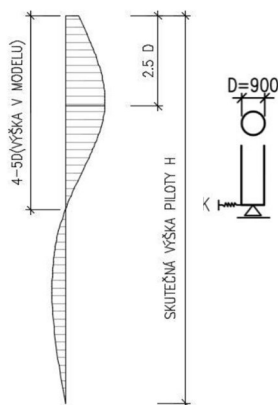
6.1 Model pro řešení podélného směru

Model vystihující působení konstrukce v podélném směru je vytvořen jako 3D prutový model především, aby působení zatížení postihlo kroucení konstrukce a radiální účinky předpětí. Model tedy zohledňuje půdorysný oblouk mostu. Výškový oblouk byl zanedbán vzhledem k téměř nulovému vlivu na vnitřní síly. Rozdíl mezi konstrukcí modelovanou s výškovým obloukem a bez něj činí cca 1%. Toho bylo docíleno naimportováním geometrie střednice mostu vytvořené v autocadu.

Jedná se o spojitou konstrukci podepřenou na opěrách dvojicí ložisek. Mezilehlé podpory jsou tvořeny štíhlými stojkami spojenými s konstrukcí vrubovými klouby. Vzhledem k tomu je modelována i spodní stavba konstrukce včetně pilotového založení. Délka pilot vychází z průběhu momentů na pilotě a přibližné polohy nulového momentu.



Obr. 8 - Model pro řešení podélného směru



Obr. 9 - Průběh momentu na pilotě

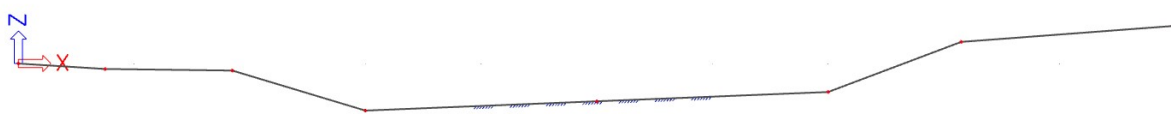
Pro výpočet tuhosti vodorovné pružiny potom použijeme následující vzorec:

$$K = E_{\text{def}} * 4D^2$$

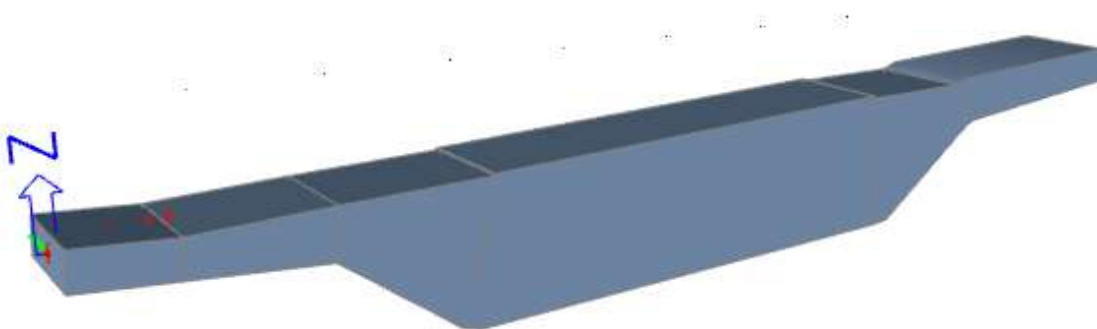
6.2 Model pro řešení příčného směru

Model pro řešení příčného směru mostu byl vytvořen jako rám v rovině XZ. Model byl uvažován šířky 1 m. Podepření bylo modelováno jako vetknutí po celé délce vrubového kloubu, což odpovídá působení vrubového kloubu v příčném směru.

Vzhledem k tomu, že proměnné zatížení se vždy nachází na konzolové části nosníku, nebylo potřeba řešit pojezd v příčném směru pro určení příčinkových čar pro vyvození maximálního účinku. Zatížení bylo uvažováno vždy od kraje nosníku až po vyšetřovaný řez.



Obr. 10 - Model pro řešení příčného směru - prutové zobrazení



Obr. 11 - Model pro řešení příčného směru - renderované zobrazení

7 ZATÍŽENÍ

7.1 Stálá zatížení

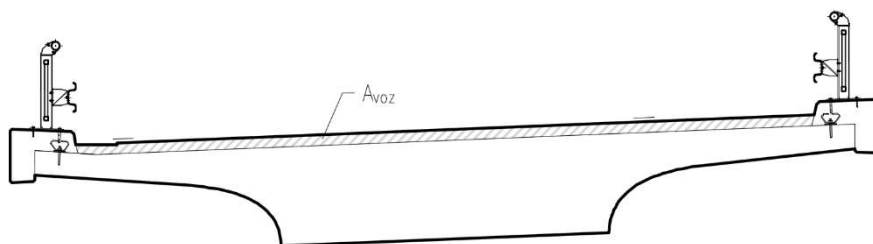
7.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha je programem Scia Engineer počítána automaticky, přičemž uvažuje s objemovou hmotností 25 kN/m^3 a gravitačním zrychlením $9,81 \text{ m/s}^2$.

7.1.2 Ostatní stálé zatížení

7.1.2.1 Vozovka

Průřezová plocha vozovky:	A_{voz}	$1,159 \text{ m}^2$
Objemová tíha vozovky:	γ_{voz}	24 kN/m^3
Liniové zatížení vozovkou:	$g_{1k,voz} = A_{voz} * \gamma_{voz}$	$27,82 \text{ kN/m}$
Supremum (+40%):	$g_{1k,voz,sup} = 1,4 * g_{k,voz}$	$38,94 \text{ kN/m}$
Infinum (-20%):	$g_{1k,voz,inf} = 0,8 * g_{k,voz}$	$22,25 \text{ kN/m}$



Obr. 12 - Průřezová plocha vozovky

7.1.2.2 Římsy

7.1.2.2.1 Levá římsa

Plocha římsy:	$A_{r,l}$	$0,318 \text{ m}^2$
Objemová tíha:	γ_r	25 kN/m^3
Svislé liniové zatížení:	$g_{1k,r,l}$	$7,95 \text{ kN/m}$

7.1.2.2.2 Pravá římsa

Plocha římsy:	$A_{r,p}$	$0,333 \text{ m}^2$
Objemová tíha:	γ_r	25 kN/m^3
Svislé liniové zatížení:	$g_{1k,r,p}$	$8,33 \text{ kN/m}$



Obr. 13 - Průřezové plochy říms

7.1.2.3 Svodidla

Objemová tíha 1 svodila:	y_{sv}	0,50 kN/m
Počet svodidel:	n_{sv}	2 ks
Svislé zatížení svodidly:	$g_{1k,sv}$	1,00 kN/m

7.1.2.4 Ostatní stálé zatížení celkem

$$g_{1k} = g_{1k,voz} + g_{1k,r,l} + g_{1k,r,p} + g_{1k,sv} = 27,82 + 7,95 + 8,33 + 1,00 = \underline{45,10 \text{ kN/m}}$$

$$g_{1k,sup} = g_{1k,voz,sup} + g_{1k,r,l} + g_{1k,r,p} + g_{1k,sv} = 38,94 + 7,95 + 8,33 + 1,00 = \underline{56,22 \text{ kN/m}}$$

$$g_{1k,inf} = g_{1k,voz,inf} + g_{1k,r,l} + g_{1k,r,p} + g_{1k,sv} = 22,25 + 7,95 + 8,33 + 1,00 = \underline{39,53 \text{ kN/m}}$$

7.1.3 Sedání podpor

Bylo uvažováno s hodnotou sedání rovnou 5 mm. Tato byla zadána pro každou podporu zvlášť a následně byla v programu Scia Engineer vytvořena obálka pro maximální a minimální účinek sedání.

7.2 Proměnná zatížení

V této práci je uvažováno se zatížením dopravou a teplotou. Se zatížením větrem stejně tak vlivem brzdných a rozjezdových sil není uvažováno.

7.2.1 Zatížení dopravou – LM1

Uvažovaný příčný řez má vozovku šířky 9,0 m. Vozovka tedy bude rozdělena do 3 pruhů šířky 3,0 m, ve kterých se uplatní zatížení viz obrázek níže.

Model zatížení LM1 se skládá ze dvou dílčích soustav:

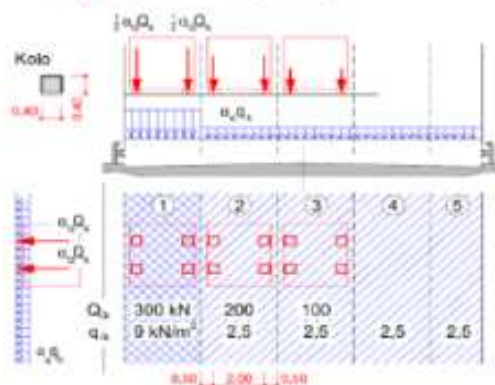
- soustředěné zatížení od dvojnápravy (TS), každá náprava o tíze $\alpha_Q Q_k$,
- rovnoměrné zatížení (UDL) o velikosti $\alpha_q q_k$ (pouze v nepříznivých částech příčkových ploch).

V zatěžovacím pruhu pouze jedna kompletní dvojnáprava, která se pohybuje v ose pruhu pro celkové ověření.

Lokálně může jet mimo osu pruhu.

Každé kolo nápravy vyvoluje zatížení $0,5 \alpha_Q Q_k$.

Kontaktní plocha kola $0,4 \times 0,4 \text{ m}$.



HODNOTY REGULAČNÍCH SOUČINITELŮ α PRO ČR

skupina pozemních komunikací	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{Q3}	α_{q1}	α_{q2}	$\alpha_{q3} (i \geq 2)$ a α_{qr}
1	1.0	1.0	1.0	1.0	2.4	1.2
2	0.8	0.8	0.8	0.45 ¹⁾	1.6	1.6

Obr. 14 - Model zatížení LM1

Zatížení	Charakteristická hodnota	Regulační součinitel	Výsledná hodnota
Q1	300	1.0	300 kN/náprava
Q2	200	1.0	200 kN/náprava
Q3	100	1.0	100 kN/náprava
q1	9	1.0	9 kNm-2
q2	2.5	2.4	6 kNm-2
q3	2.5	1.2	3 kNm-2

Pruh	Šířka	q	Liniové zatížení
1	3	9	27.0 kNm-1
2	3	6	18.0 kNm-1
3	3	3	9.0 kNm-1
Celkem			54.0 kNm-1

7.2.2 Zatížení dopravou – LM3

Dle ČSN EN 1991-2/24 *Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů* dopravou je pro silnice III. třídy v pozemních komunikacích skupiny 1 uvažováno se zvláštním vozidlem označeným jako 900/150. Tzn celková tíha zvláštního vozidla je 900 kN a tíha na nápravu potom 150 kN. Bližší specifikace použitého vozidla je patrná z obrázku níže.

Tabulka NA.5 – Zvláštní vozidla pro silnice III. třídy v pozemních komunikacích skupiny 1

Celková tíha	900 kN
Označení	900/150
Nápravy	$n = 6 \times 150 \text{ kN}$, $e = 1,50 \text{ m}$
Umístění zatížení	Zvláštní vozidlo se pohybuje v prostoru zatěžovacích pruhů podle A.3 (2).
Kombinace zatížení	Po celé délce mostu musí být vyloučena veškerá ostatní doprava.
Rychlost	Normální ($\leq 70 \text{ km/hod}$)
Dynamický součinitel	Ano, $\phi = 1,25$
Poznámka	Jedná se o jediné vozidlo na mostě.

Obr. 15 - Specifikace zvláštního vozidla

Jak je patrné z výše uvedeného, zvláštní vozidlo je jediné vozidlo na mostě. Pohybuje se tedy v ideální stopě s odchylkou $\pm 0,5 \text{ m}$.

7.2.3 Zatížení teplotou

Bylo uvažováno se svislou lineární složkou (postup 1) dle článku 6.1.4.1 ČSN EN 1991-1-5 *Zatížení konstrukcí Část 1-5: Obecná zatížení – zatížení teplotou*.

Navrhovaný most spadá do 3. typu konstrukce. Bližší údaje pro daný typ viz obrázek s výňatkem z výše uvedené normy.

Tabulka 6.1 – Doporučené hodnoty lineárních rozdílových složek teploty pro různé typy nosných konstrukcí mostů pozemních komunikací, lávek pro chodce a železničních mostů

Typ nosné konstrukce	Horní povrch teplejší než dolní	Dolní povrch teplejší než horní
	$\Delta T_{M,heat} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{M,cool} (^{\circ}C)$
1. typ: ocelová nosná konstrukce	18	13
2. typ: ocelobetonová nosná konstrukce	15	18
3. typ: betonová nosná konstrukce		
– betonový komorový nosník	10	5
– betonový nosník	15	8
– betonová deska	15	8

POZNÁMKA 1 Hodnoty uvedené v tabulce jsou horními mezními hodnotami lineárně proměnné složky teploty pro reprezentativní vzorek geometrie mostů.

POZNÁMKA 2 Hodnoty uvedené v tabulce pro mosty pozemních komunikací, lávky a pro železniční mosty vycházejí z 50 mm tloušťky mostního svršku. Pro jiné tloušťky mostního svršku se mají tyto hodnoty vynásobit součinitelem k_{sur} . Doporučené hodnoty součinitele k_{sur} jsou uvedené v tabulce 6.2.

Tabulka 6.2 – Doporučené hodnoty součinitele k_{sur} pro různé tloušťky mostního svršku

Mosty pozemních komunikací, lávky pro chodce a železniční mosty						
Tloušťka mostního svršku	1. typ		2. typ		3. typ	
	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní
[mm]	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
bez svršku	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vodotěsná izolace ¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
štěrkové lože (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

¹⁾ Tyto hodnoty představují horní mezní hodnoty pro tmavé barvy.

Obr. 16 - Specifikace pro postup 1

Horní povrch teplejší:

$$\Delta T_M = \Delta T_{M,heat} * k_{sur} = 15 * 0,58 = 8,7^{\circ}C$$

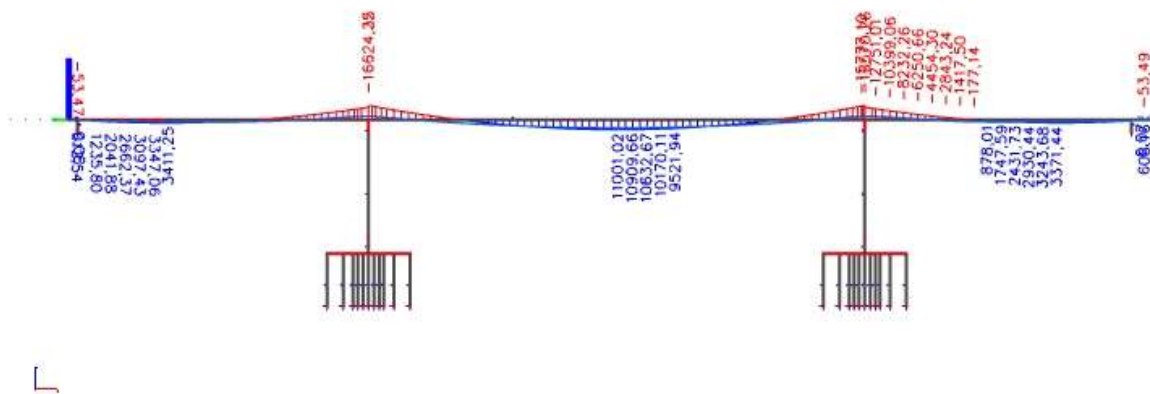
Dolní povrch teplejší:

$$\Delta T_M = \Delta T_{M,cool} * k_{sur} = 8 * 1,0 = 8^{\circ}C$$

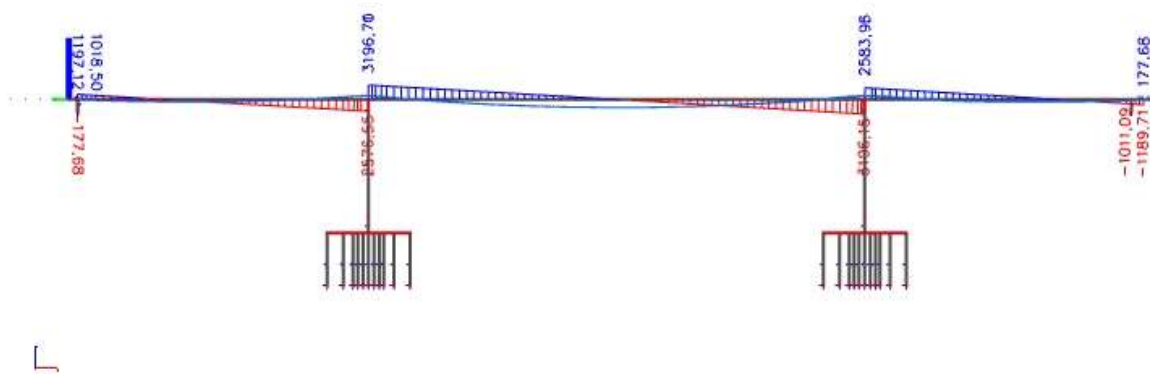
8 ZÍSKANÉ VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI

8.1 Stálá zatížení

8.1.1 Vlastní tíha

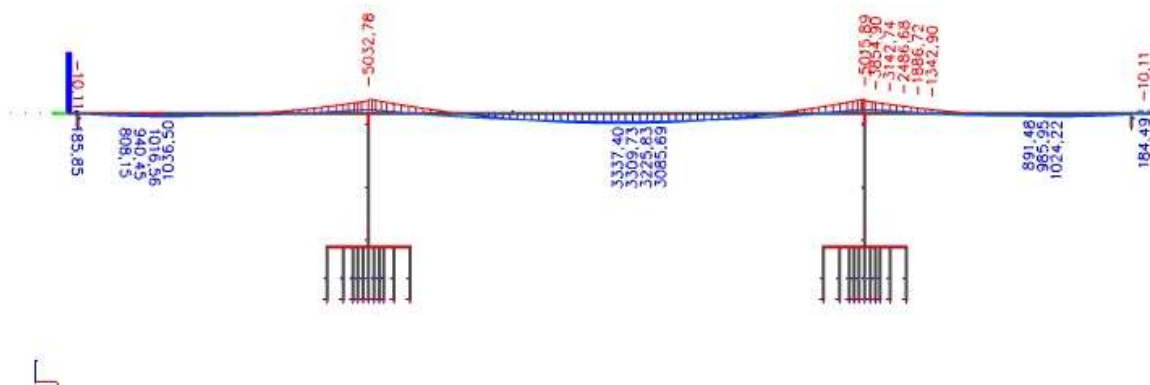


Obr. 17 - Vlastní tíha M_y

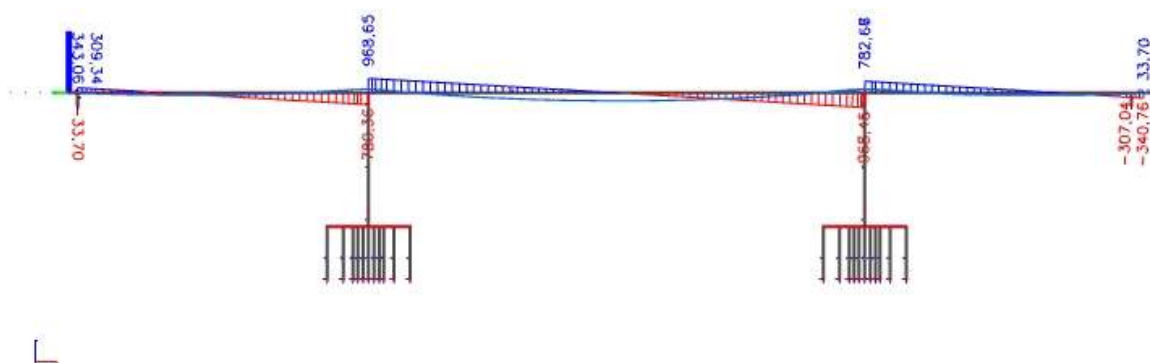


Obr. 18 - Vlastní tíha V_z

8.1.2 Ostatní stálé zatížení – supremum

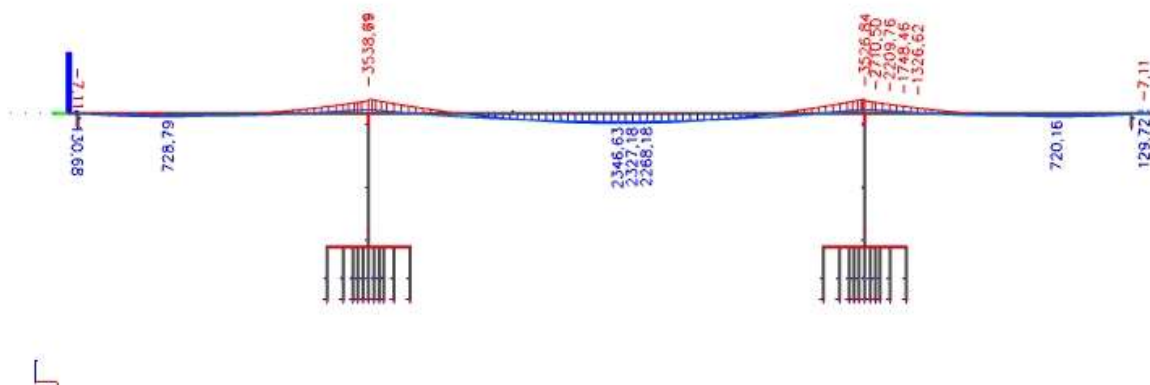


Obr. 19 - Ostatní stálé zatížení M_y – supremum

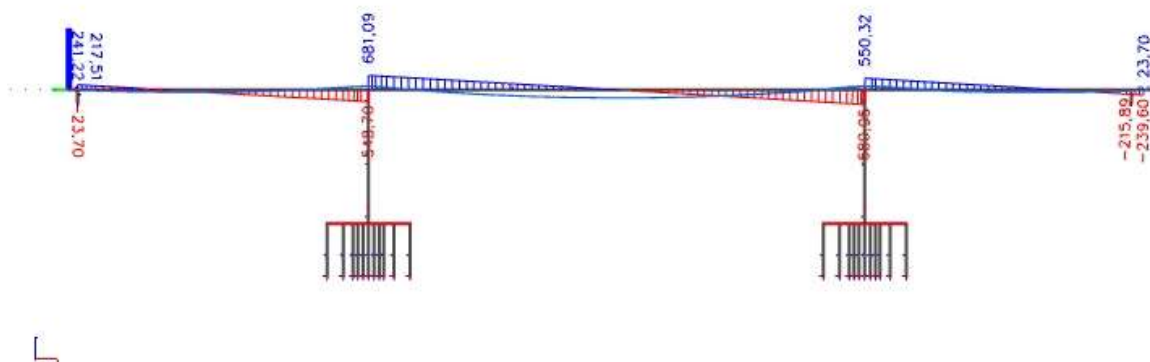


Obr. 20 - Ostatní stálé zatížení V_z – supremum

8.1.3 Ostatní stálé zatížení – infimum

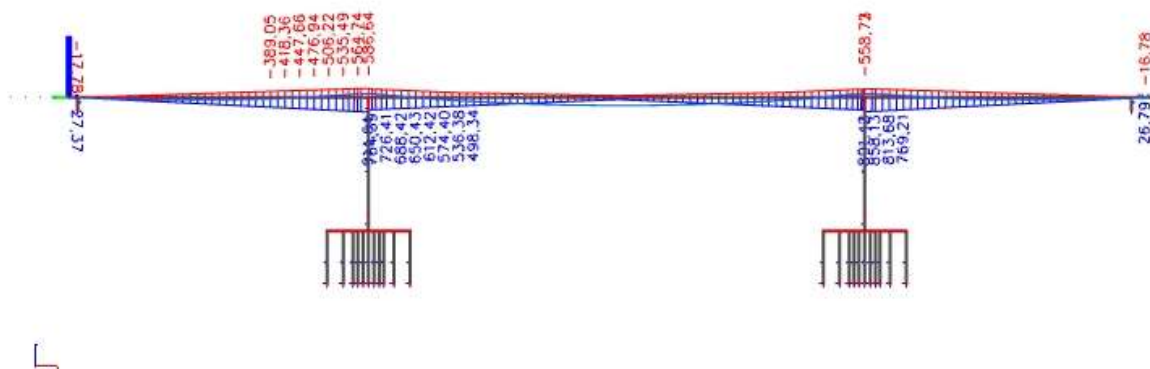


Obr. 21 - Ostatní stálé zatížení M_y – infimum

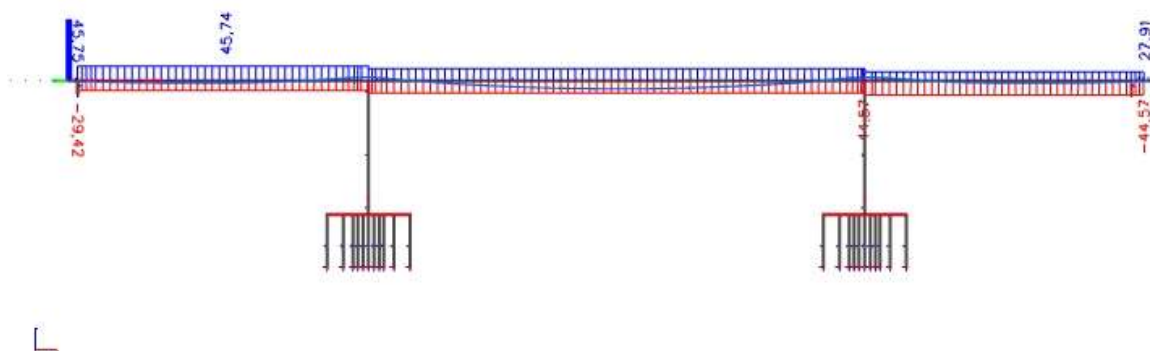


Obr. 22 - Ostatní stálé zatížení V_z – infimum

8.1.4 Sedání



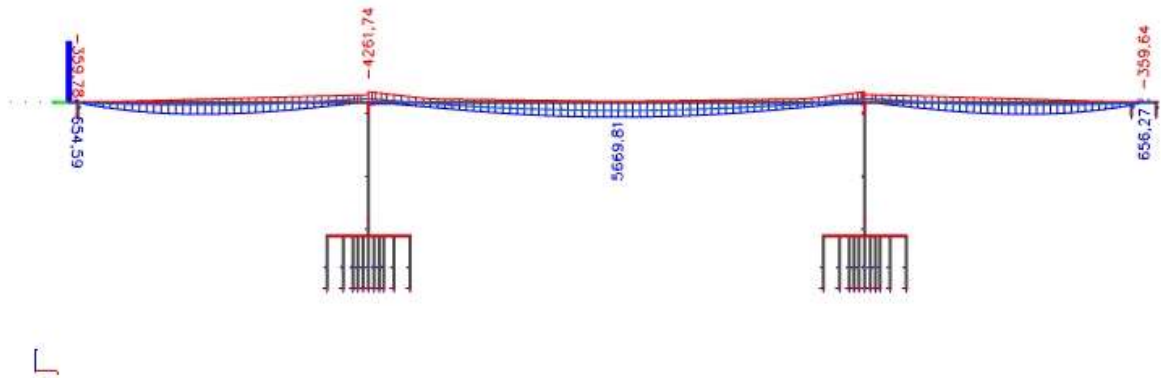
Obr. 23 - Sedání M_y



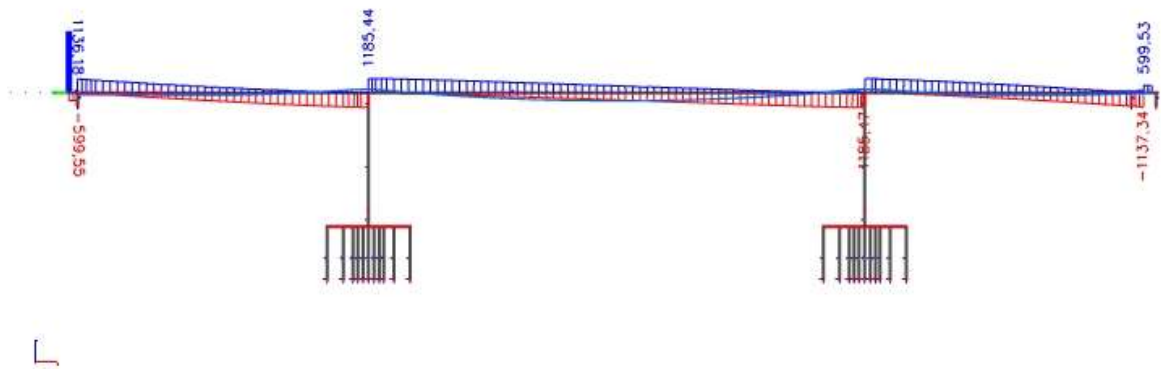
Obr. 24 - Sedání V_z

8.2 Proměnná zatížení

8.2.1 Zatížení dopravou - LM1 - TS

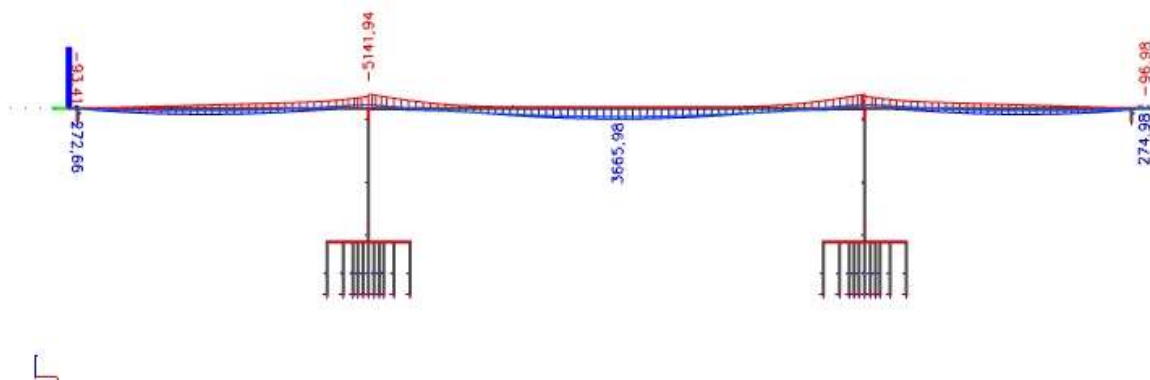


Obr. 25 - LM1 - TS My

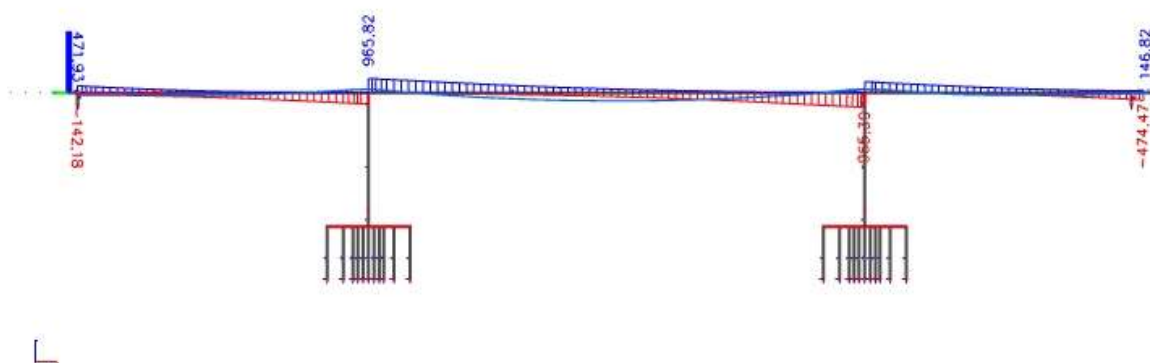


Obr. 26 - LM1 - TS Vz

8.2.2 Zatížení dopravou – LM1 – UDL

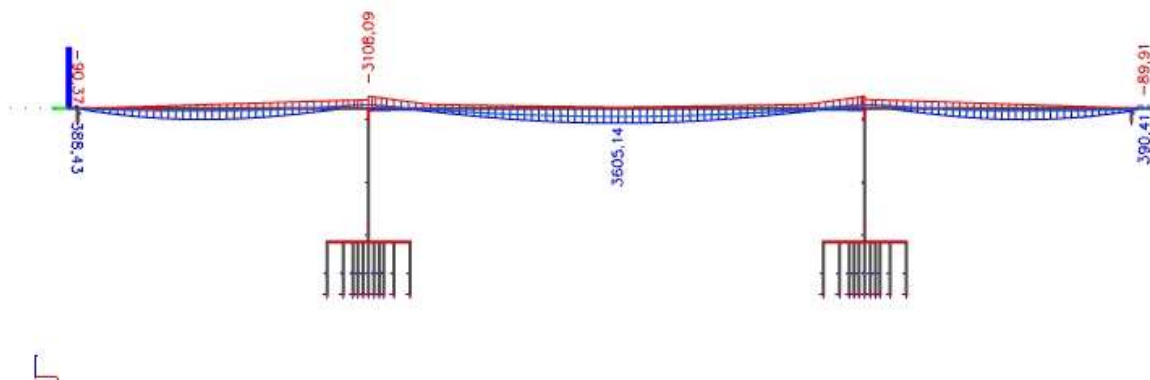


Obr. 27 - LM1 - UDL M_y

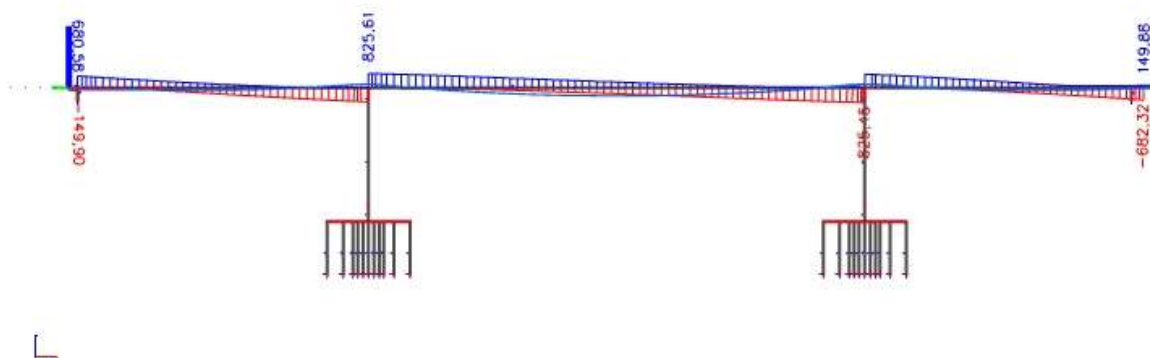


Obr. 28 - LM1 - UDL V_z

8.2.3 Zatížení dopravou – LM3

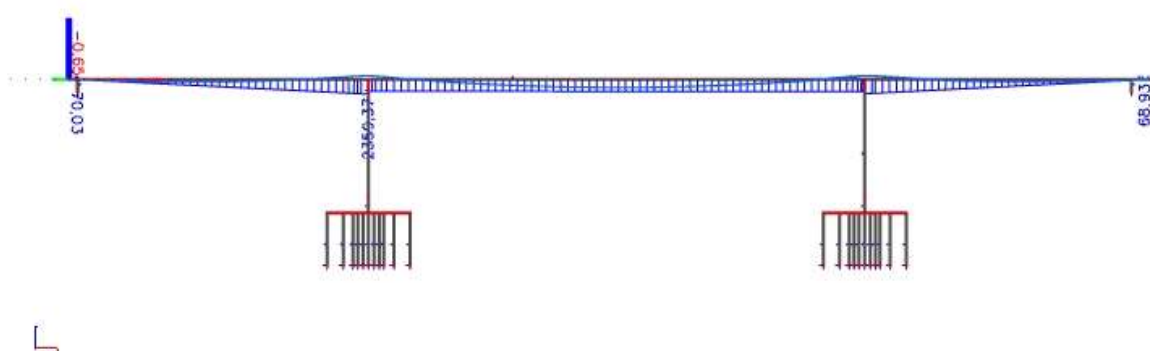


Obr. 29 - LM3 My

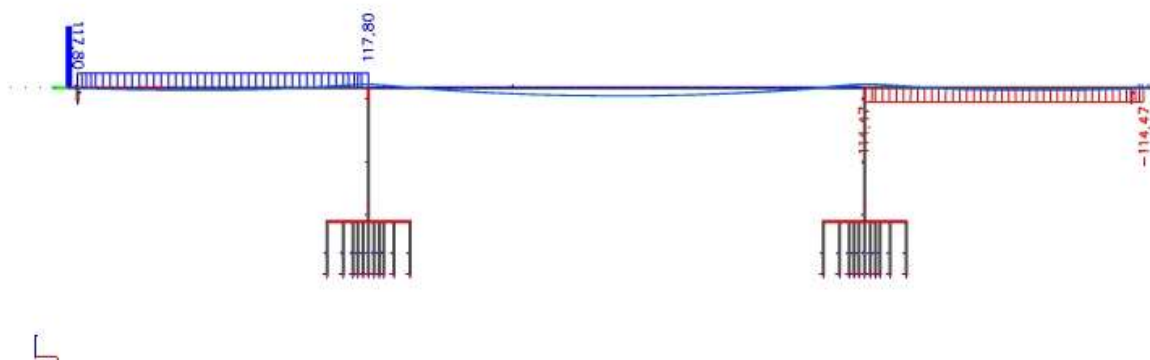


Obr. 30 - LM3 Vz

8.2.4 Zatížení teplotou – horní povrch teplejší

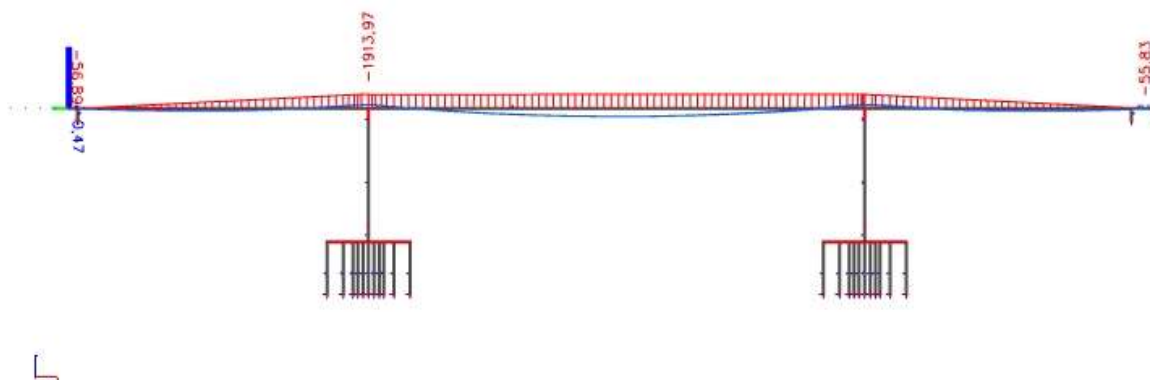


Obr. 31 - Horní povrch teplejší My

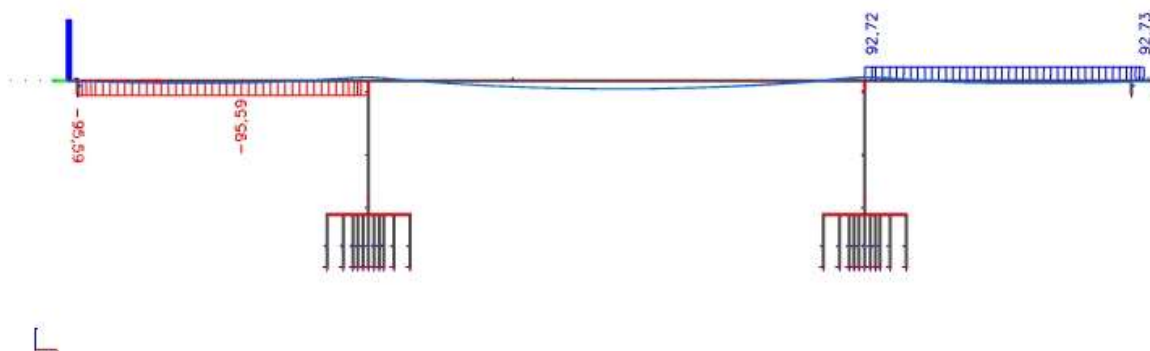


Obr. 32 - Horní povrch teplejší Vz

8.2.5 Zatížení teplotou – dolní povrch teplejší



Obr. 33 - Dolní povrch teplejší My



Obr. 34 - Dolní povrch teplejší Vz

9 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

9.1 Sestavy zatížení dle ČSN EN 1991-2/Z4

ČSN EN 1991-2/Z4

Tabulka 4.4a – Stanovení sestav zatížení dopravou (charakteristické hodnoty včesložkových zatížení)^(NP21)

VOZOVKA							CHODNÍKY A CYKLISTICKÉ PRUHY
Typ zatížení	Svislé síly				Vodorovné síly		Pouze svislé zatížení
Odkaz	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2.1
Sestavy zatížení	Zatěžovací systém (dvojnáprava a rovnoměrné zatížení)	LM1 (jednotlivá náprava)	LM2 (zvláštní vozidla)	LM3 (zatížení davem lidí)	LM4	brzděné a rozjezdové síly ^a	odsídlivé síly a příčné síly ^a
	gr1a	charakteristické hodnoty				NP21	NP21
	gr1b		charakteristická hodnota				
	gr2	časné hodnoty				charakteristická hodnota	charakteristická hodnota
	gr3 ^d						charakteristická hodnota ^c
	gr4				charakteristická hodnota		charakteristická hodnota
gr5	viz příloha A ^(NP16)		charakteristická hodnota ^(NP16)		NP19	NP20	
Hlavní složka zatížení (označená jako složka příslušející k sestavě)							
^a Lze definovat v národní příloze (pro uvedené případy). ^b Lze definovat v národní příloze. Doporučená hodnota je 3 kN/m ² NP21). ^c Viz 5.3.2.1(2). Pokud je účinek od zatížení pouze jednoho chodníku nepřiznává se při zatížení obou dvou, má se uvažovat zatížení pouze na jednom chodníku. ^d Tato sestava nemá praktický význam, pokud se uvažuje sestava gr4.							

2

Obr. 35 - Charakteristické hodnoty včesložkových zatížení

Dle výše uvedené tabulky bude uvažováno se sestavami zatížení gr1a a gr5.

9.2 Přehled získaných vnitřních sil

		Místo			
		Zatěžovací stav	1. pole	Podpora	2. pole
Stálá zatížení	Vlastní tíha	3408.68	-16611.94	10992.76	
	Ostatní stálé - sup	1036.50	-5032.78	3337.40	
	Ostatní stálé - inf	728.79	-3538.71	2346.53	
	Sedání - max	286.00	914.64	122.28	
	Sedání - min	-183.69	-586.64	-120.10	
Proměnná zatížení	Teplota - horní teplejší	737.25	2350.37	1918.35	
	Teplota - dolní teplejší	-598.14	-1913.97	-1869.79	
	TS - max	4265.61	683.85	5682.40	
	TS - min	-949.32	-4267.74	-496.10	
	UDL - max	1895.56	425.10	3894.04	
	UDL -min	-892.06	-5207.44	-643.70	

9.3 Kombinační součinitelé

9.3.1 Kombinační součinitelé pro SLS

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
TS	0.75	0.75	0.00
UDL	0.40	0.40	0.00
Teplota	0.60	0.60	0.50

9.3.2 Kombinační součinitelé pro USL

Zatížení	γ
Stálé zatížení	1.35
Sedání	1.20
Doprava	1.35
Teplota	1.50

9.3.3 Redukční součinitelé pro zatížení teplotou

Součinitel k_{sur} pro zatížení teplotou		
Vlákna	Horní teplejší	Dolní teplejší
Provoz	0.58	1
Stavba	1.5	1.1

9.4 Kombinace pro SLS

9.4.1 V čase t_0

Kombinace	1. pole	Podpora	2. pole
Charakteristická - max	4800.56	-12171.75	13992.57
Charakteristická - min	2567.04	-19303.95	8815.89
Častá - max	4358.21	-13581.97	12841.56
Častá - min	2830.22	-18461.80	9638.60
Kvazistálá - max	4247.62	-13934.52	12553.80
Kvazistálá - min	2896.01	-18251.26	9844.28

9.4.1.1 Příklady kombinace v čase t_0 pro 1. pole

Char. - max $M_g + M_{set,max} + k_{sur} * M_{t,ht}$
 $3408.68 + 286.00 + 1.5 * 737.25 = \mathbf{4800.56 \text{ kNm}}$

Char. - min $M_g + M_{set,min} + k_{sur} * M_{t,dt}$
 $3408.68 - 183.69 - 1.1 * 598.14 = \mathbf{2567.04 \text{ kNm}}$

9.4.2 V čase t_{00}

Kombinace	1. pole	Podpora	2. pole
Charakteristická - max	11202	-16907.8	24834.6
Charakteristická - min	1717.63	-32854.9	10957.5
Častá - max	8946.65	-18248.9	20943.3
Častá - min	2585.9	-28472.1	11654.7
Kvazistálá - max	4989.22	-18413.4	15123.9
Kvazistálá - min	3654.71	-23188.3	12284.3

10 NÁVRH PŘEDPĚTÍ

10.1 Předběžný návrh předpětí

Předběžný návrh předpětí byl proveden v rámci posuzování jednotlivých variant řešení navrhovaného mostu. Tento byl proveden tak, aby předpětím bylo vyrovnáno 90-100% stálých zatížení a konstrukce vyhověla na mezní stav použitelnosti.

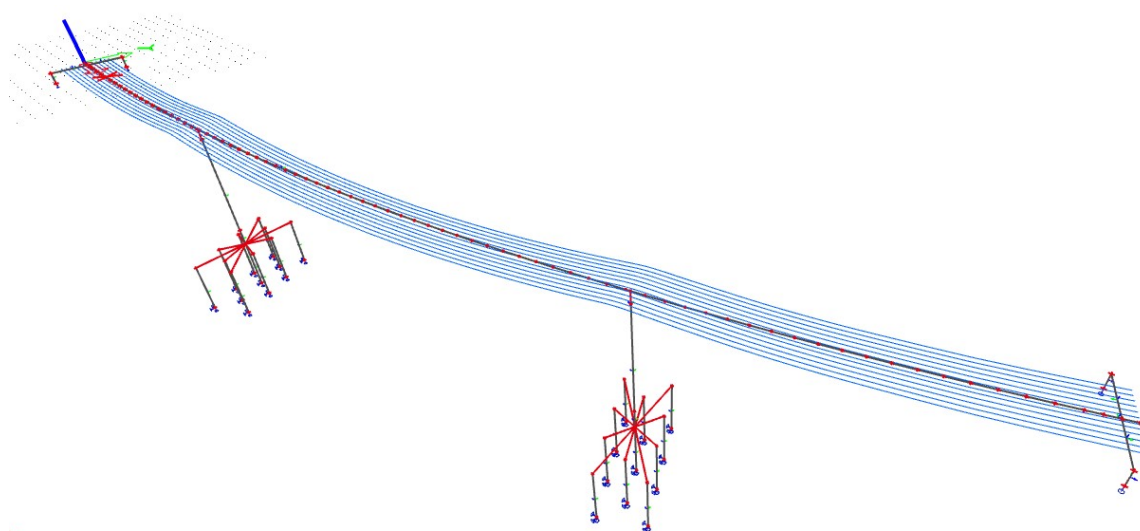
Podrobněji je možno předběžný návrh předpětí najít v příloze P.1 této práce.

10.2 Přesný návrh předpětí

Přesný návrh předpětí vycházel z návrhu předpětí v posuzování jednotlivých variant. Byly zadány předpínací kabely dle geometrie z předběžného návrhu a tato byla následně upravena tak, aby bylo dosaženo rovnoměrného vyrovnání stálých zatížení – rozmezí 95-100%.

Geometrie kabelů byla nakreslena v programu AutoCAD 2015 ve 3D a tato byla následně předena na zdrojovou geometrii do textového souboru ze kterého byla následně načtena do programu Scia Engineer 18.0.

Celkem je navrženo 12 kabelů z nichž 4 ve středu nosníku jsou navrženy jako 22ti lanné a zbylých 8 potom s 19ti lany.

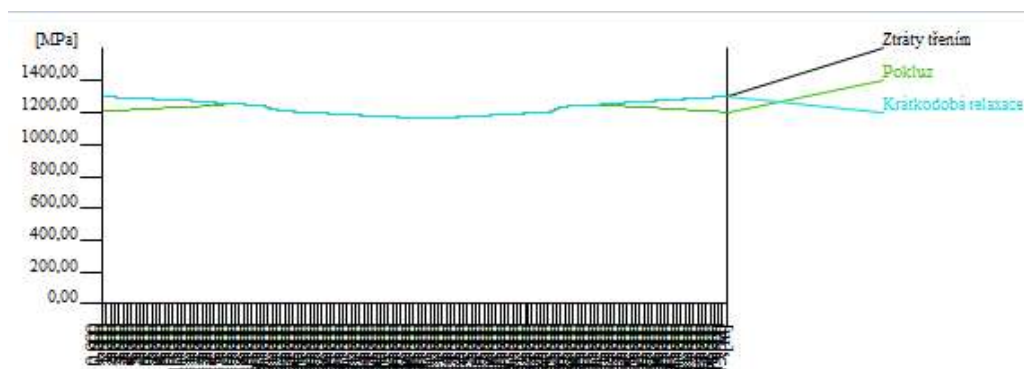


Obr. 36 - Zadané dráhy předpínacích kabelů

10.2.1 Ztráty předpětí

10.2.1.1 Krátkodobé ztráty

Krátkodobé ztráty předpětí počítá program Scia Engineer automaticky. Zohledněny jsou ztráty třením, pokluzem a krátkodobou relaxací předpínací výztuže. Níže je uveden průběh ztrát pro vybraný kabel.

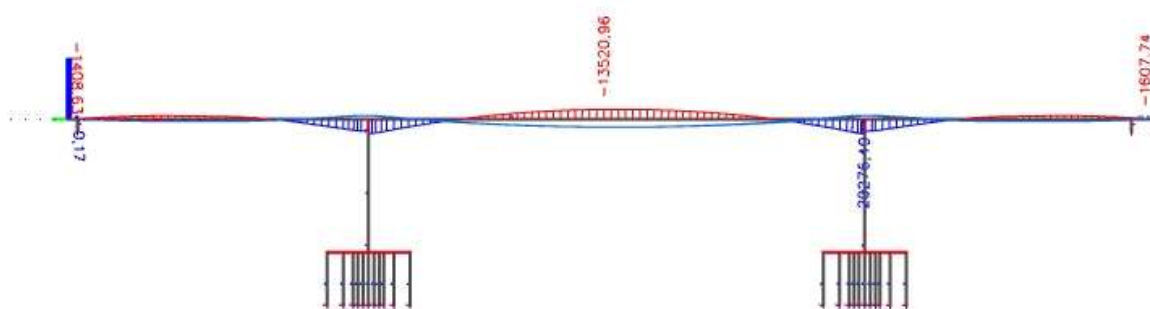


Obr. 37 - Ztráty kabelu

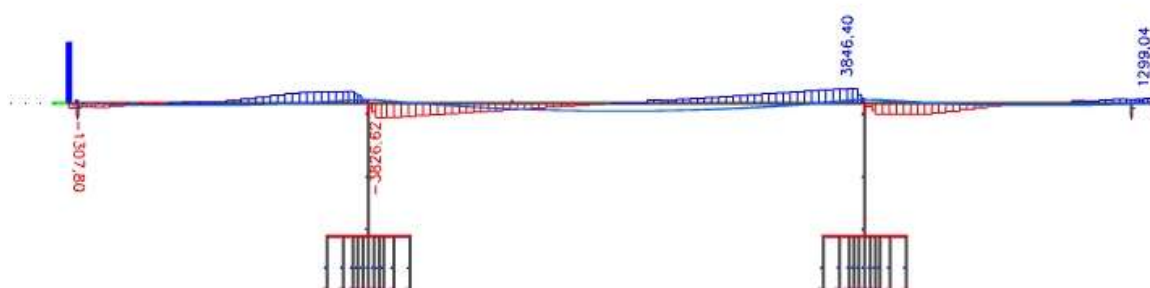
10.2.1.2 Dlouhodobé ztráty

Dlouhodobé ztráty předpětí byly odhadnuty na 10%. V programu Scia Engineer bylo tedy zadáno takové počáteční napětí po jehož snížení o krátkodobé ztráty dostaneme hodnotu napětí nižší právě o 10%. Od toho předpětí poté byly zjištěny vnitřní síly.

10.2.2 Vnitřní síly od předpětí



Obr. 38 - Předpětí M_y



Obr. 39 - Předpětí V_z

11 POSOUZENÍ NA SLS

11.1 Vstupní údaje

11.1.1 Materiálové charakteristiky

11.1.1.1 V čase t_0

$f_{ck}(7)$	37.17 MPa
$f_{ctm}(7)$	3.193 MPa
$E_{cm}(7)$	34.33 GPa

11.1.1.2 V čase t_{00}

f_{ck}	50 MPa
f_{ctm}	4.1 MPa
E_{cm}	37 GPa

11.1.2 Průřezové charakteristiky

	Pole 1	Podpora	Pole 2
$A_c [m^2]$	7.4525	7.0391	7.4525
$I_y [m^4]$	0.8787	0.8251	0.8787
$e_h [m]$	0.473	0.493	0.473
$e_d [m]$	0.727	0.707	0.727
$W_h [m^3]$	1.858	1.674	1.858
$W_d [m^3]$	1.209	1.167	1.209

11.2 Podmínky omezení napětí

11.2.1 V čase t_0

$$|\sigma_c| \leq 0,6f_{ck}(t) = 0,6 * 37,17 = 22.302 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro charakteristickou kombinaci}$$

$$|\sigma_c| \leq 0,45f_{ck}(t) = 0,45 * 37,17 = 16.727 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro kvazistálou kombinaci}$$

$$|\sigma_s| \leq 0,8f_{yk} = 0,8 * 500 = 400 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro betonářskou výztuž}$$

$$|\sigma_p| \leq 0,75f_{pk} = 0,75 * 1860 = 1395 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro předpínací výztuž}$$

11.2.2 V čase t_{00}

$$|\sigma_c| \leq 0,6f_{ck}(t) = 0,6 * 50 = 30 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro charakteristickou kombinaci}$$

$$|\sigma_c| \leq 0,45f_{ck}(t) = 0,45 * 50 = 22,5 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro kvazistálou kombinaci}$$

$$|\sigma_s| \leq 0,8f_{yk} = 0,8 * 500 = 400 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro betonářskou výztuž}$$

$$|\sigma_p| \leq 0,75f_{pk} = 0,75 * 1860 = 1395 \text{ MPa} \quad \dots \text{ pro předpínací výztuž}$$

11.2.3 Pro předpínací výztuž

$$\sigma_{p,0} = 1392,33 \text{ MPa} < 1395 \text{ MPa} \rightarrow \textbf{Vyhovuje}$$

11.3 Posouzení charakteristické kombinace v čase t_0

11.3.1 Vstupní údaje

	$N_{p,0}$ [kN]	$M_{p,0}$ [kNm]	$M_{char,max}$ [kNm]	$M_{char,min}$ [kNm]	A_c [m ²]	W_h [m ³]	W_d [m ³]
Pole 1	49210.64	-5334.82	4800.56	2567.04	7.4525	1.858	1.209
Podpora	49218.22	22361.11	-12171.75	-19303.95	7.0391	1.674	1.167
Pole 2	45825.6	-14923.30	13992.57	8815.89	7.4525	1.858	1.209

11.3.2 Posouzení pro $M_{char,max}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = \frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{char,max}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = \frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{4800,56 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,603 - 2,584 + 2,871 = -6,316 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = \frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = \frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{4800,56 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,603 + 3,971 - 4,413 = -7,045 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = \frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{12171,75 \cdot 10^{-3}}{1,674} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,674} = -6,992 + 7,271 - 13,358 = -13,079 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = \frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{12171,75 \cdot 10^{-3}}{1,167} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,167} = -6,992 - 10,430 + 19,161 = 1,739 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = \frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{char,max}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = \frac{45825,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{13992,57 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,149 - 7,531 + 8,032 = -5,648 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = \frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = \frac{45825,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{13992,57 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,149 + 11,574 - 12,344 = -6,919 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.3.3 Posouzení pro $M_{char,min}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = \frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{char,min}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = \frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{2567,04 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,603 - 1,382 + 2,871 = -5,114 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = \frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = \frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{2567,04 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,603 + 2,123 - 4,413 = -8,893 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = \frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{19303,95 \cdot 10^{-3}}{1,674} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,674} = -6,992 + 11,532 - 13,358 = -8,818 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = \frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{19303,95 \cdot 10^{-3}}{1,167} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,167} = -6,992 - 16,542 + 19,161 = -4,373 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = \frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{char,min}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = \frac{45828,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{8815,89 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,149 - 4,745 + 8,032 = -2,862 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = \frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = \frac{45828,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{8815,89 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,149 + 7,292 - 12,344 = -11,201 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.4 Posouzení kvazistálé kombinace v čase t_0

11.4.1 Vstupní údaje

	$N_{p,0}$ [kNm]	$M_{p,0}$ [kNm]	$M_{kvazi,max}$ [kNm]	$M_{kvazi,min}$ [kNm]	A_c [m ²]	W_h [m ³]	W_d [m ³]
Pole 1	49210.64	-5334.82	4247.62	2896.01	7.4525	1.858	1.209
Podpora	49218.22	22361.11	-13934.52	-18251.26	7.0391	1.674	1.167
Pole 2	45825.6	-14923.30	12553.80	9844.28	7.4525	1.858	1.209

11.4.2 Posouzení pro $M_{kvazi,max}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = \frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,max}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{4247,62 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,603 - 2,286 + 2,871 = -6,018 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = \frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{4247,62 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,603 + 3,513 - 4,413 = -7,503 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{13934,52 \cdot 10^{-3}}{1,674} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,674} = -6,992 + 8,324 - 13,358 = -12,026 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{13934,52 \cdot 10^{-3}}{1,167} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,167} = -6,992 - 11,940 + 19,161 = 0,229 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = \frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,max}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{45825,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{12553,80 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,149 - 6,757 + 8,032 = -4,874 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = \frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{45825,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{12553,80 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,149 + 10,384 - 12,344 = -8,109 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.4.3 Posouzení pro $M_{kvazi,min}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = \frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,min}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{2896,01 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,603 - 1,559 + 2,871 = -5,291 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = \frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{49210,64 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{2896,01 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{5334,82 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,603 + 2,395 - 4,413 = -8,621 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18251,26 \cdot 10^{-3}}{1,674} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,674} = -6,992 + 10,903 - 13,358 = -9,447 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{49218,22 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18251,26 \cdot 10^{-3}}{1,167} - \frac{22361,11 \cdot 10^{-3}}{1,167} = -6,992 - 15,639 + 19,161 = -3,470 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = \frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,min}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{45825,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{9844,28 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -6,149 - 5,298 + 8,032 = -3,415 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = \frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{45825,60 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{9844,28 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{14923,30 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -6,149 + 8,142 - 12,344 = -10,351 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.5 Posouzení charakteristické kombinace v čase t_{00}

11.5.1 Vstupní údaje

	$N_{p,00}$ [kN]	$M_{p,00}$ [kNm]	$M_{char,max}$ [kNm]	$M_{char,min}$ [kNm]	A_c [m ²]	W_h [m ³]	W_d [m ³]
Pole 1	44288.11	-4796.62	11202.00	1717.63	7.4525	1.858	1.209
Podpora	44467.2	20199.42	-16907.82	-32854.92	7.0391	1.674	1.167
Pole 2	41401.56	-13486.39	24834.59	10957.52	7.4525	1.858	1.209

11.5.2 Posouzení pro $M_{char,max}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = -\frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{char,max}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{44288,11 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{11202,00 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{4796,62 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -5,943 - 6,029 + 2,582 = -9,390 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = -\frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{44288,11 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{11202,00 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{4796,62 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -5,943 + 9,266 - 3,967 = -0,644 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{44467,20 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{16907,82 \cdot 10^{-3}}{1,674} - \frac{20199,42 \cdot 10^{-3}}{1,674} = -6,317 + 10,100 - 12,067 = -8,284 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{44467,20 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{16907,82 \cdot 10^{-3}}{1,167} - \frac{20199,42 \cdot 10^{-3}}{1,167} = -6,317 - 14,488 + 17,309 = -3,496 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = -\frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{char,max}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{41401,56 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{24834,59 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{13486,39 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -5,555 - 13,366 + 7,259 = -11,662 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = -\frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{41401,56 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{24834,59 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{13486,39 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -5,555 + 20,541 - 11,155 = 3,831 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.5.3 Posouzení pro $M_{char,min}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = -\frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{char,min}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{44288,11 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{1717,63 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{4796,62 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -5,943 - 0,924 + 2,582 = -4,285 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = -\frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{44288,11 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{1717,63 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{4796,62 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -5,943 + 1,421 - 3,967 = -8,489 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{44467,20 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{32854,92 \cdot 10^{-3}}{1,674} - \frac{20199,42 \cdot 10^{-3}}{1,674} = -6,317 + 19,627 - 12,067 = 1,243 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{44467,20 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{32854,92 \cdot 10^{-3}}{1,167} - \frac{20199,42 \cdot 10^{-3}}{1,167} = -6,317 - 28,153 + 17,309 = -17,161 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = -\frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{char,min}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{41401,56 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{10957,52 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{13486,39 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -5,555 - 5,897 + 7,259 = -4,193 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = -\frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{41401,56 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{10957,52 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{13486,39 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -5,555 + 9,063 - 11,155 = -7,647 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.6 Posouzení kvazistálé kombinace v čase t_{00}

11.6.1 Vstupní údaje

	$N_{p,00}$ [kNm]	$M_{p,00}$ [kNm]	$M_{kvazi,max}$ [kNm]	$M_{kvazi,min}$ [kNm]	A_c [m ²]	W_h [m ³]	W_d [m ³]
Pole 1	44288.11	-4796.62	4989.22	3654.71	7.4525	1.858	1.209
Podpora	44467.2	20199.42	-18413.38	-23188.35	7.0391	1.674	1.167
Pole 2	41401.56	-13486.39	15123.86	12284.30	7.4525	1.858	1.209

11.6.2 Posouzení pro $M_{kvazi,max}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = \frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,max}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = \frac{44288,11 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{4989,22 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{4796,62 \times 10^{-3}}{1,858} = -5,943 - 2,685 + 2,582 = -6,046 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = \frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = \frac{44288,11 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{4989,22 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{4796,62 \times 10^{-3}}{1,209} = -5,943 + 4,127 - 3,967 = -5,783 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = \frac{44467,20 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18413,38 \times 10^{-3}}{1,674} - \frac{20199,42 \times 10^{-3}}{1,674} = 6,317 + 11,000 - 12,067 = -7,384 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = \frac{44467,20 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18413,38 \times 10^{-3}}{1,167} - \frac{20199,42 \times 10^{-3}}{1,167} = 6,317 - 15,778 + 17,309 = -4,786 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = \frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,max}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = \frac{41401,56 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{15123,86 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{13486,39 \times 10^{-3}}{1,858} = -5,555 - 8,140 + 7,259 = -6,436 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = \frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,max}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = \frac{41401,56 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{15123,86 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{13486,39 \times 10^{-3}}{1,209} = -5,555 + 12,509 - 11,155 = -4,201 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.6.3 Posouzení pro $M_{kvazi,min}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = \frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,min}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = \frac{44288,11 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{3654,71 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{4796,62 \times 10^{-3}}{1,858} = -5,943 - 1,967 + 2,582 = -5,328 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = \frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = \frac{44288,11 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{3654,71 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{4796,62 \times 10^{-3}}{1,209} = -5,943 + 3,023 - 3,967 = -6,887 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = \frac{44467,20 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{23188,35 \times 10^{-3}}{1,674} - \frac{20199,42 \times 10^{-3}}{1,674} = 6,317 + 13,852 - 12,067 = -4,532 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = \frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = \frac{44467,20 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{23188,35 \times 10^{-3}}{1,167} - \frac{20199,42 \times 10^{-3}}{1,167} = 6,317 - 19,870 + 17,309 = -8,878 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = \frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{kvazi,min}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = \frac{41401,56 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{12284,30 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{13486,39 \times 10^{-3}}{1,858} = -5,555 - 6,612 + 7,259 = -4,908 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = \frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{kvazi,min}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = \frac{41401,56 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{12284,30 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{13486,39 \times 10^{-3}}{1,209} = -5,555 + 10,161 - 11,155 = -6,549 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.7 Omezení trhlin

11.7.1 Podmínky pro omezení trhlin

11.7.1.1 Omezení v čase t_0

$$|\sigma_c| \leq f_{ctm}(t) = 3.193 \text{ MPa} \dots \text{ pro častou kombinaci}$$

11.7.1.2 Omezení v čase t_{00}

$$|\sigma_c| \leq f_{ctm}(t) = 4.1 \text{ MPa} \dots \text{ pro častou kombinaci}$$

11.7.2 Posouzení v čase t_0

11.7.2.1 Vstupní údaje

	$N_{p,0}$ [kNm]	$M_{p,0}$ [kNm]	$M_{\text{častá,max}}$ [kNm]	$M_{\text{častá,min}}$ [kNm]	A_c [m ²]	W_h [m ³]	W_d [m ³]
Pole 1	49210.64	-5334.82	4358.21	2830.22	7.4525	1.858	1.209
Podpora	49218.22	22361.11	-13581.97	-18461.80	7.0391	1.674	1.167
Pole 2	45825.6	-14923.30	12841.56	9638.60	7.4525	1.858	1.209

11.7.2.2 Posouzení pro $M_{\text{častá,max}}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = -\frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{49210.64 \cdot 10^{-3}}{7.4525} - \frac{4358.21 \cdot 10^{-3}}{1.858} + \frac{5334.82 \cdot 10^{-3}}{1.858} = -6,603 - 2,346 + 2,871 = -6,078 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = -\frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{49210.64 \cdot 10^{-3}}{7.4525} + \frac{4358.21 \cdot 10^{-3}}{1.209} - \frac{5334.82 \cdot 10^{-3}}{1.209} = -6,603 + 3,605 - 4,413 = -7,411 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{49218.22 \cdot 10^{-3}}{7.0391} + \frac{13581.97 \cdot 10^{-3}}{1.674} - \frac{22361.11 \cdot 10^{-3}}{1.674} = -6,992 + 8,113 - 13,358 = -12,237 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{49218.22 \cdot 10^{-3}}{7.0391} + \frac{13581.97 \cdot 10^{-3}}{1.167} - \frac{22361.11 \cdot 10^{-3}}{1.167} = -6,992 - 11,638 + 19,161 = 0,531 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = -\frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{45825.60 \cdot 10^{-3}}{7.4525} - \frac{12841.56 \cdot 10^{-3}}{1.858} + \frac{14923.30 \cdot 10^{-3}}{1.858} = -6,149 - 6,911 + 8,032 = -5,028 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = -\frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{45825.60 \cdot 10^{-3}}{7.4525} + \frac{12841.56 \cdot 10^{-3}}{1.209} - \frac{14923.30 \cdot 10^{-3}}{1.209} = -6,149 + 10,622 - 12,344 = -7,871 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.7.2.3 Posouzení pro $M_{\text{častá,min}}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = -\frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{49210,64 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{2830,22 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{5334,82 \times 10^{-3}}{1,858} = -6,603 - 1,523 + 2,871 = -5,255 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = -\frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{49210,64 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{2830,22 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{5334,82 \times 10^{-3}}{1,209} = -6,603 + 2,341 - 4,413 = -8,675 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{49218,22 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18461,80 \times 10^{-3}}{1,674} - \frac{22361,11 \times 10^{-3}}{1,674} = -6,992 + 11,029 - 13,358 = -9,321 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{49218,22 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18461,80 \times 10^{-3}}{1,167} - \frac{22361,11 \times 10^{-3}}{1,167} = -6,992 - 15,820 + 19,161 = -3,651 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = -\frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{45825,60 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{9638,60 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{14923,30 \times 10^{-3}}{1,858} = -6,149 - 5,188 + 8,032 = -3,305 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = -\frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{45825,60 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{9638,60 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{14923,30 \times 10^{-3}}{1,209} = -6,149 + 7,972 - 12,344 = -10,521 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.7.3 Posouzení v čase t_{00}

11.7.3.1 Vstupní údaje

	$N_{p,00}$ [kNm]	$M_{p,00}$ [kNm]	$M_{\text{častá,max}}$ [kNm]	$M_{\text{častá,min}}$ [kNm]	A_c [m ²]	W_h [m ³]	W_d [m ³]
Pole 1	44288.11	-4796.62	8946.65	2585.90	7.4525	1.858	1.209
Podpora	44467.2	20199.42	-18248.85	-28472.13	7.0391	1.674	1.167
Pole 2	41401.56	-13486.39	20943.28	11654.74	7.4525	1.858	1.209

11.7.3.2 Posouzení pro $M_{\text{častá,max}}$

Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = -\frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{44288,11 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{8946,65 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{4796,62 \times 10^{-3}}{1,858} = -5,943 - 4,815 + 2,582 = -8,176 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = -\frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{44288,11 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{8946,65 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{4796,62 \times 10^{-3}}{1,209} = -5,943 + 7,400 - 3,967 = -2,510 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{44467,20 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18248,85 \times 10^{-3}}{1,674} - \frac{20199,42 \times 10^{-3}}{1,674} = -6,317 + 10,901 - 12,067 = -7,483 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{44467,20 \times 10^{-3}}{7,0391} + \frac{18248,85 \times 10^{-3}}{1,167} - \frac{20199,42 \times 10^{-3}}{1,167} = -6,317 - 15,637 + 17,309 = -4,645 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = -\frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{41401,56 \times 10^{-3}}{7,4525} - \frac{20943,28 \times 10^{-3}}{1,858} + \frac{13486,39 \times 10^{-3}}{1,858} = -5,555 - 11,272 + 7,259 = -9,568 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = -\frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,max}}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{41401,56 \times 10^{-3}}{7,4525} + \frac{20943,28 \times 10^{-3}}{1,209} - \frac{13486,39 \times 10^{-3}}{1,209} = -5,555 + 17,323 - 11,155 = 0,613 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.7.3.3 Posouzení pro $M_{\text{častá,min}}$

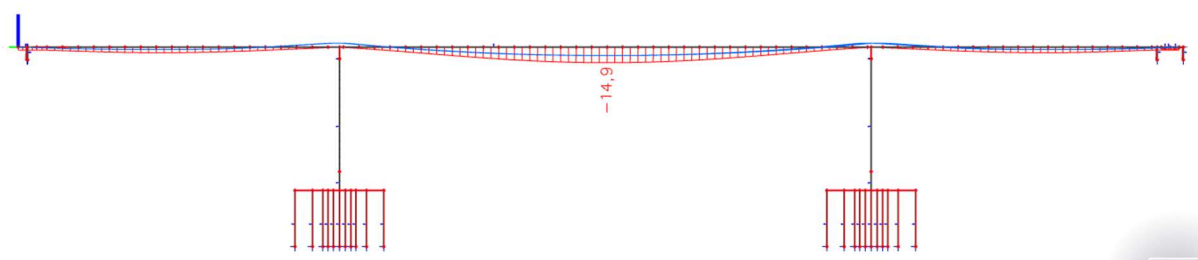
Pole 1	$\sigma_{c,1}^h = -\frac{N_{p,1}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_h} + \frac{M_{p,1}}{W_h} = -\frac{44288,11 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{2585,90 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{4796,62 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -5,943 - 1,392 + 2,582 = -4,753 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,1}^d = -\frac{N_{p,1}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_d} - \frac{M_{p,1}}{W_d} = -\frac{44288,11 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{2585,90 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{4796,62 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -5,943 + 2,139 - 3,967 = -7,771 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Podpora	$\sigma_{c,p}^h = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_h} - \frac{M_{p,p}}{W_h} = -\frac{44467,20 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{28472,13 \cdot 10^{-3}}{1,674} - \frac{20199,42 \cdot 10^{-3}}{1,674} = -6,317 + 17,008 - 12,067 = -1,376 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,p}^d = -\frac{N_{p,p}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_d} - \frac{M_{p,p}}{W_d} = -\frac{44467,20 \cdot 10^{-3}}{7,0391} + \frac{28472,13 \cdot 10^{-3}}{1,167} - \frac{20199,42 \cdot 10^{-3}}{1,167} = -6,317 - 24,398 + 17,309 = -13,406 \text{ MPa}$	Vyhovuje
Pole 2	$\sigma_{c,2}^h = -\frac{N_{p,2}}{A_c} - \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_h} + \frac{M_{p,2}}{W_h} = -\frac{41401,56 \cdot 10^{-3}}{7,4525} - \frac{11654,74 \cdot 10^{-3}}{1,858} + \frac{13486,39 \cdot 10^{-3}}{1,858} = -5,555 - 6,273 + 7,259 = -4,569 \text{ MPa}$	Vyhovuje
	$\sigma_{c,2}^d = -\frac{N_{p,2}}{A_c} + \frac{M_{\text{častá,min}}}{W_d} - \frac{M_{p,2}}{W_d} = -\frac{41401,56 \cdot 10^{-3}}{7,4525} + \frac{11654,74 \cdot 10^{-3}}{1,209} - \frac{13486,39 \cdot 10^{-3}}{1,209} = -5,555 + 9,640 - 11,155 = -7,070 \text{ MPa}$	Vyhovuje

11.8 Omezení přetvoření

Bude navrženo nadvýšení konstrukce, které vyrovná průhyb od stálých zatížení. Hodnota toho průhybu a rovněž nadvýšení konstrukce činí 41,80 mm. V důsledku této úpravy bude posouzen průhyb pouze od časté hodnoty dopravního zatížení, a to uprostřed prostředního pole, kde je deformace největší.

11.8.1 Podmínka pro omezení průhybu

$$v_{\max} = \frac{L}{600} = \frac{37500}{600} = 62,5 \text{ mm}$$



Obr. 40 - Průhyb od časté hodnoty dopravního zatížení

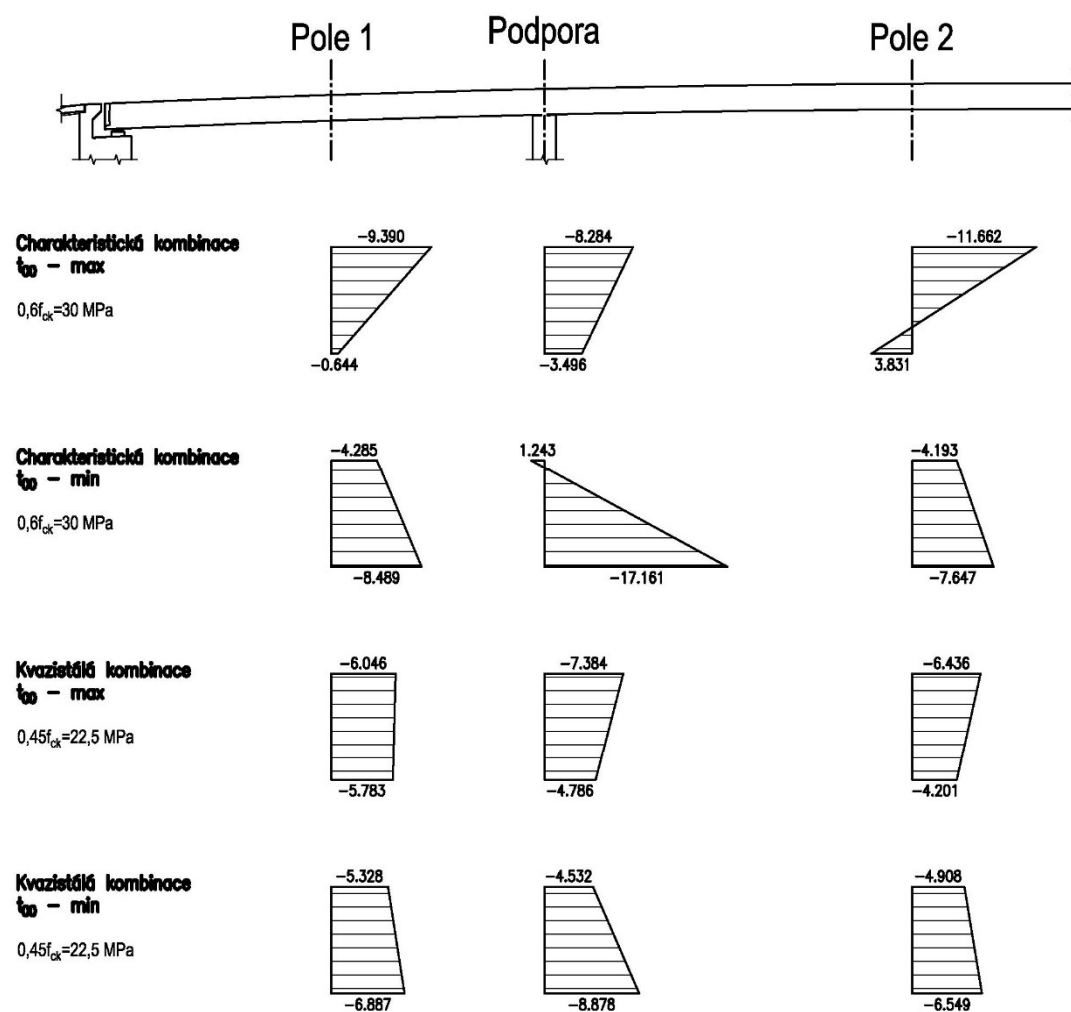
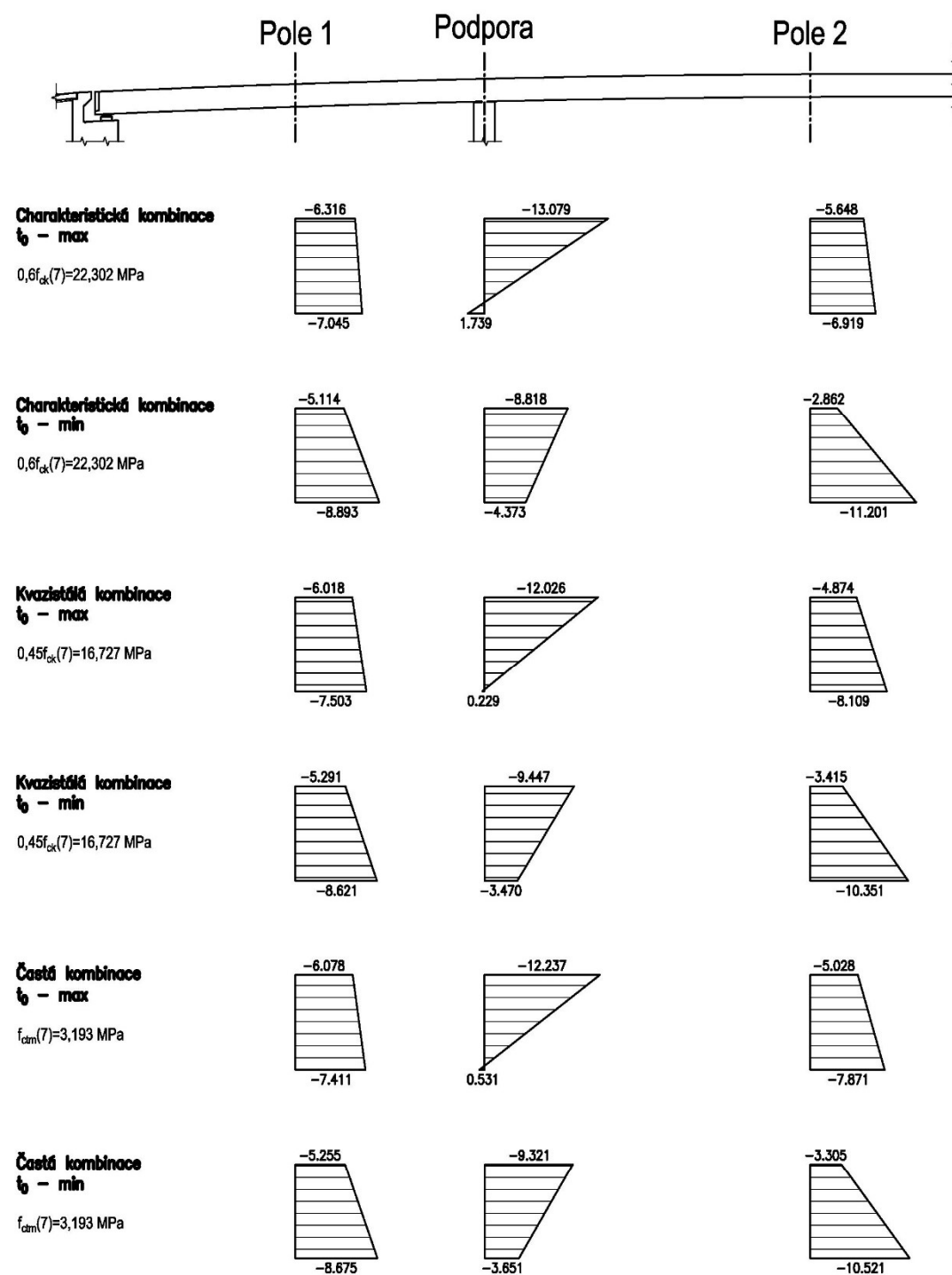
11.8.2 Posouzení průhybu od dopravního zatížení

$$v_{\text{dopr}} = 14,9 \text{ mm} < v_{\max} = 62,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

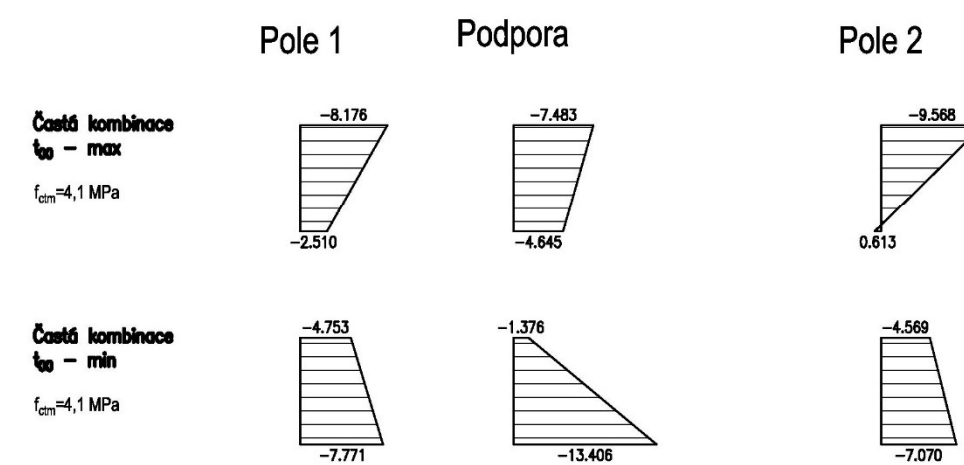
11.9 Závěr

Všechny podmínky mezního stavu použitelnosti byly splněny. Můžeme tedy konstatovat, že navržená konstrukce na mezní stav použitelnosti vyhoví.

OMEZENÍ NAPĚTÍ



OMEZENÍ TRHLIN



12 POSOUZENÍ NA ULS – PODÉLNÝ OHYB

Posouzení je provedeno pro pole 1 a pole 2. Rovněž je posouzeno místo nad pilířem, tedy podpora.

Vždy bylo nejdříve uvažováno s ideální případem porušení průřezu tzn., že k porušení dojde zároveň v betonu i předpínací výztuži. Odtud bylo odvozeno, ve kterém materiálu bude dosaženo mezního namáhání dříve a následně bylo iterováno, dokud nedošlo k rovnováze mezi N_{Ed} a N_{Rd} , následně byl dopočítán moment M_{Rd} a posouzena únosnost průřezu.

12.1 Vstupní údaje

12.1.1 Vlastnosti betonu

f _{ck}	50 Mpa
acc	0.9 -
f _{cd}	30 Mpa

12.1.2 Navržená předpínací výztuž

Plocha 1 lana	150 mm ²
Počet lan v kabelu	19 ks
	22 ks
Počet kabelů 19 lan	8 ks
Počet kabelů 22 lan	4 ks
Plocha kabelů 19 lan	22800 mm ²
Plocha kabelů 22 lan	13200 mm ²

12.2 Posouzení pole 1

12.2.1 Příklad ideálního porušení průřezu

12.2.1.1 Napětí ve výztuži

$\sigma_{p,00}$	1229.37 MPa
σ_{cp}	-4.81 MPa
$\sigma_{p,00}^0$	1254.72 MPa

12.2.1.2 Síla ve výztuži

$\Delta\sigma_p$	334.187 Mpa
F_p	12030.732 kN

12.2.1.3 Síla v betonu

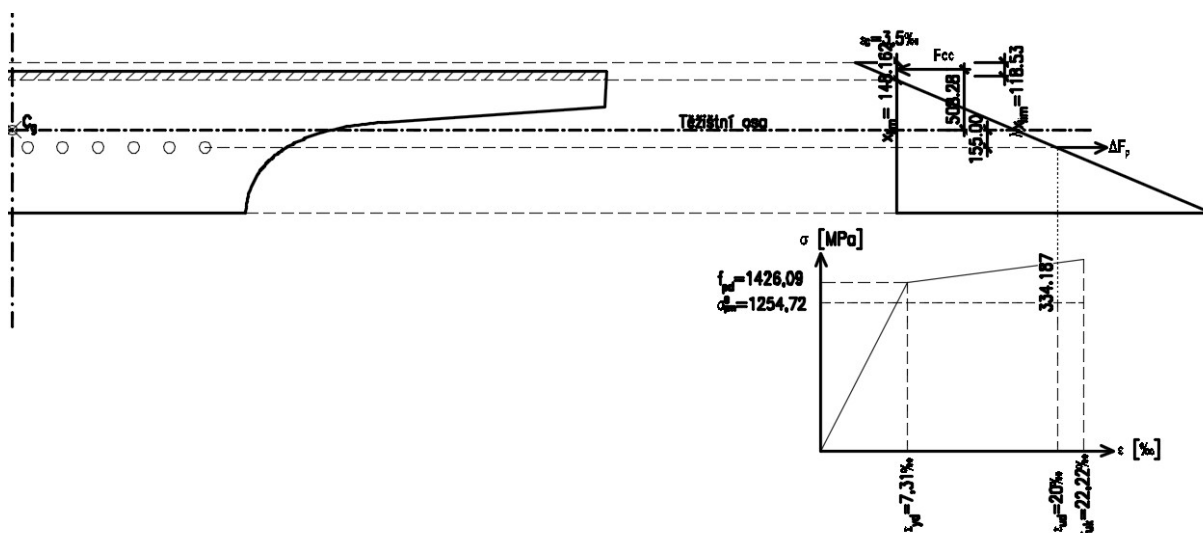
x_{lim}	148.162 mm
λ	0.8 -
λx_{lim}	118.53 mm
A_{cc}	0.464 m ²
F_{cc}	13923.839 kN

12.2.1.4 Porovnání N_{Ed} vs N_{Rd}

N_{Ed}	44288.11 kN
$N_{Rd,lim}$	1893.107 kN

Zvětšit F_{cc}

Rozdíl	-42395 kN
--------	-----------



Obr. 41 - Příklad ideálního porušení pole 1

12.2.2 Výsledná iterace

12.2.2.1 Síla ve výztuži

$\Delta\sigma_{p,1}$	220.644 Mpa
F_p	7943.184 kN

12.2.2.2 Síla v betonu

x	307.695 mm
λ	0.8 -
λx	246.16 mm
A_{cc}	1.7410661 m ²
F_{cc}	52231.983 kN

12.2.2.3 Porovnání N_{Ed} vs N_{Rd}

N_{Ed}	44288.11 kN
N_{Rd}	44288.799 kN

$N_{Ed} \approx N_{Rd}$

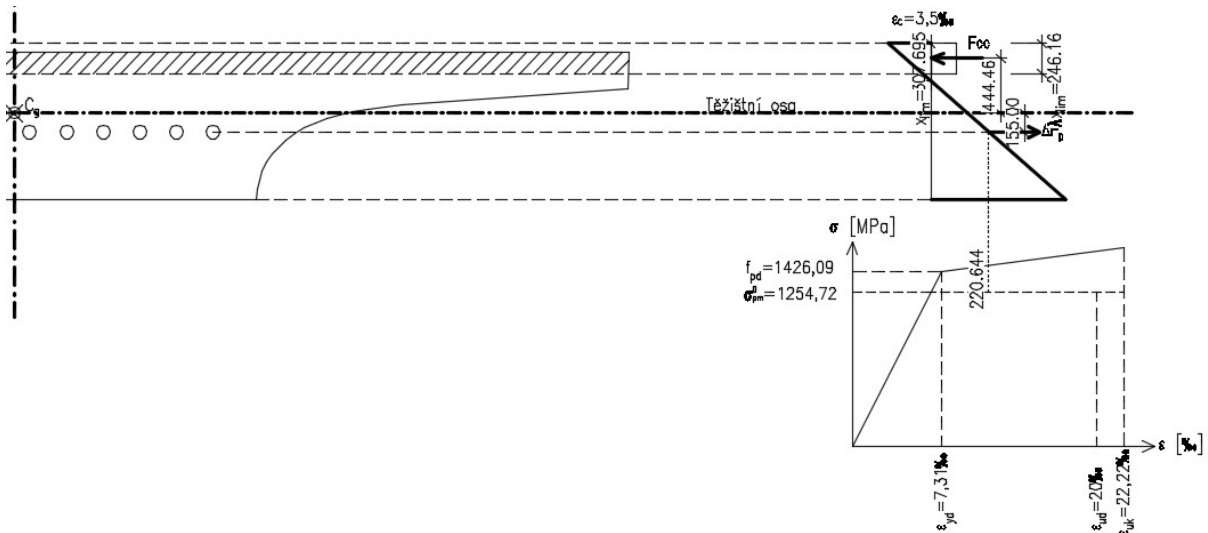
Rozdíl	0.689 kN
--------	----------

12.2.2.4 Posouzení momentové únosnosti

Rameno beton	444.46 mm
Rameno předpínací	155 mm

M_{Ed}	9377.99 kNm
M_{Rd}	24446.221 kNm
Rozdíl	15068.23 kNm

!VYHOVUJE!



Obr. 42 – Výsledná iterace porušení pole 1

12.3 Posouzení podpory

12.3.1 Příklad ideálního porušení průřezu

12.3.1.1 Napětí ve výztuži

$\sigma_{p,00}$	1229.55 MPa
σ_{cp}	-0.47 MPa
$\sigma_{p,00}^0$	1232.03 MPa

12.3.1.2 Síla ve výztuži

$\Delta\sigma_p$	357.727 Mpa
F_p	12878.172 kN

12.3.1.3 Síla v betonu

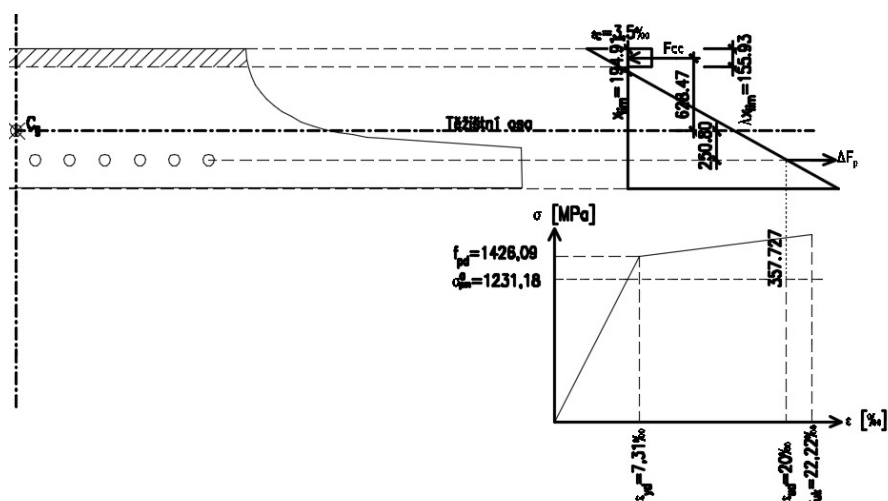
x_{lim}	194.91 mm
λ	0.8 -
λx_{lim}	155.93 mm
A_{cc}	0.626 m ²
F_{cc}	18780 kN

12.3.1.4 Porovnání N_{Ed} vs N_{Rd}

N_{Ed}	44467.2 kN
$N_{Rd,lim}$	5901.828 kN

Zvětšit F_{cc}

Rozdíl	-38565.37 kN
--------	--------------



Obr. 43 - Příklad ideálního porušení podpora

12.3.2 Výsledná iterace

12.3.2.1 Síla ve výztuži

$\Delta\sigma_{p,1}$	218.13 MPa
F_p	7852.68 kN

12.3.2.2 Síla v betonu

x	531.055 mm
λ	0.8 -
λx	424.84 mm
A_{cc}	1.744 m ²
F_{cc}	52320 kN

12.3.2.3 Porovnání N_{Ed} vs N_{Rd}

N_{Ed}	44467.2 kN
N_{Rd}	44467.32 kN

$N_{Ed} \approx N_{Rd}$

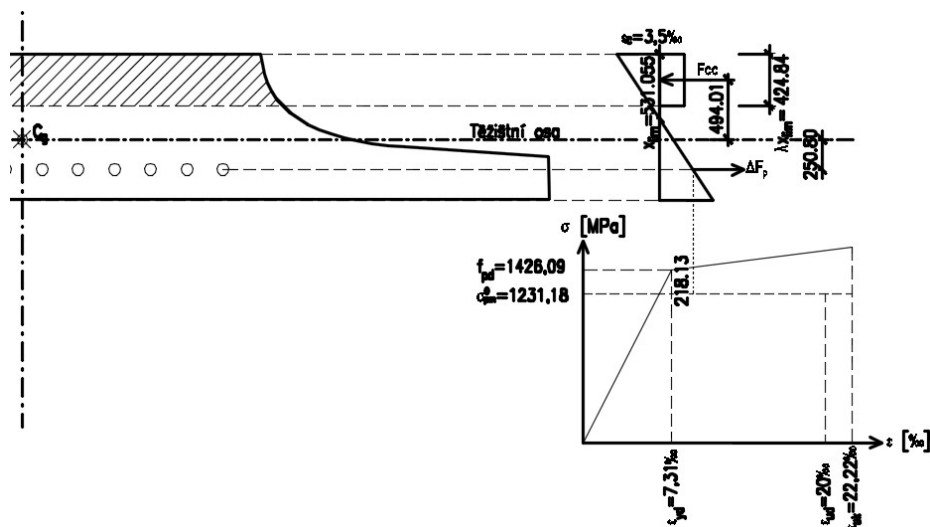
Rozdíl	0.12 kN
--------	---------

12.3.2.4 Posouzení momentové únosnosti

Rameno beton	494.01 mm
Rameno předpínací	250.8 mm

M_{Ed}	19233.56 kNm
M_{Rd}	27816.055 kNm
Rozdíl	8582.4922 kNm

!VYHOVUJE!



Obr. 44 - Výsledná iterace porušení podpora

12.4 Posouzení pole 2

12.4.1 Příklad ideálního porušení

12.4.1.1 Napětí ve výztuži

$\sigma_{p,00}$	1169.93 MPa
σ_{cp}	1.82 MPa
$\sigma_{p,00}^0$	1160.34 MPa

12.4.1.2 Síla ve výztuži

$\Delta\sigma_p$	428.567 Mpa
F_p	15428.412 kN

12.4.1.3 Síla v betonu

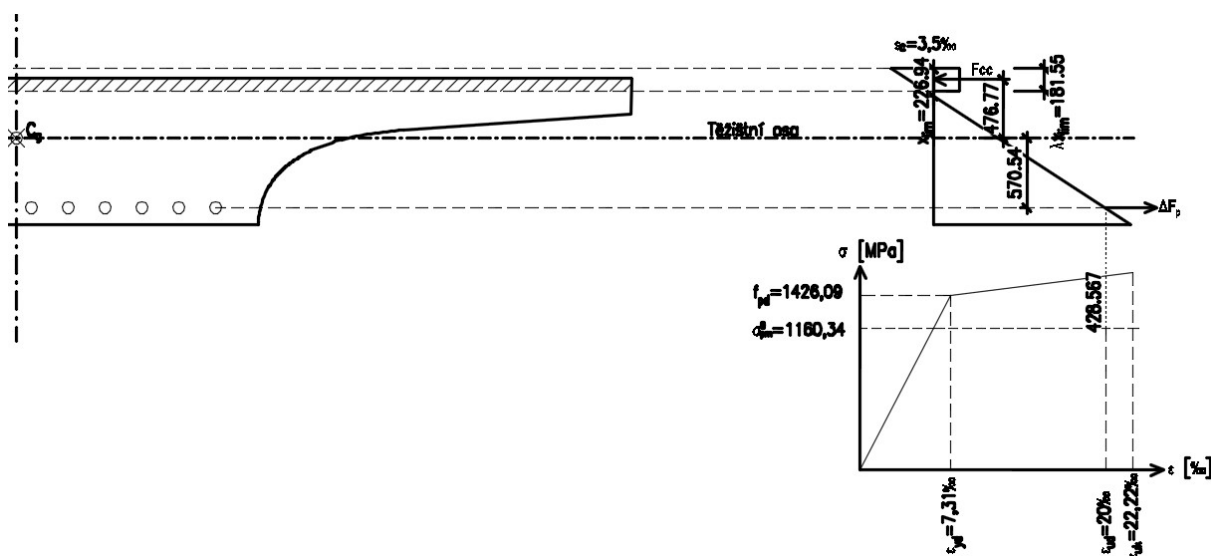
x_{lim}	226.94 mm
λ	0.8 -
λx_{lim}	181.55 mm
A_{cc}	1.095 m ²
F_{cc}	32839.292 kN

12.4.1.4 Porovnání N_{Ed} vs N_{Rd}

N_{Ed}	41401.56 kN
$N_{Rd,lim}$	17410.88 kN

Zvětšit F_{cc}

Rozdíl	-23990.68 kN
--------	--------------



Obr. 45 - Příklad ideálního porušení pole 2

12.4.2 Výsledná iterace

12.4.2.1 Síla ve výztuži

$\Delta\sigma_{p,1}$	364.463 MPa
F_p	13120.668 kN

12.4.2.2 Síla v betonu

x	317.243 mm
λ	0.8 -
λx	253.79 mm
A_{cc}	1.8174043 m ²
F_{cc}	54522.128 kN

12.4.2.3 Porovnání N_{Ed} vs N_{Rd}

N_{Ed}	41401.56 kN
N_{Rd}	41401.46 kN

$N_{Ed} \approx N_{Rd}$

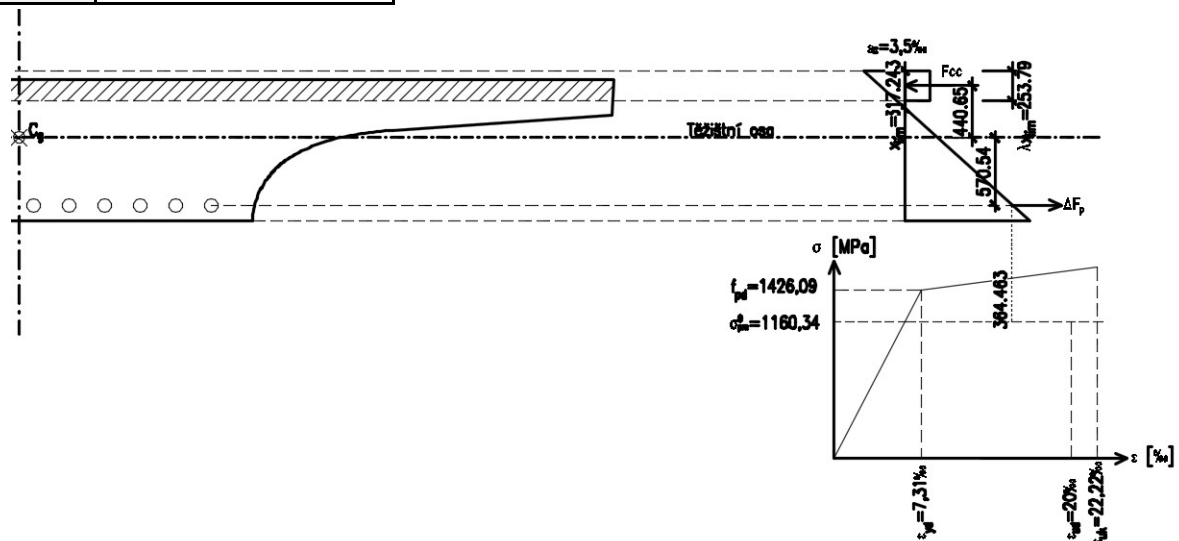
Rozdíl	-0.1 kN
--------	---------

12.4.2.4 Posouzení momentové únosnosti

Rameno beton	440.65 mm
Rameno předpínací	570.54 mm

M_{Ed}	17218.95 kNm
M_{Rd}	31511.042 kNm
Rozdíl	14292.093 kNm

!VYHOVUJE!



Obr. 46 - Výsledná iterace porušení pole 2

13 POSOUZENÍ NA ULS – SMYK A KROUCENÍ

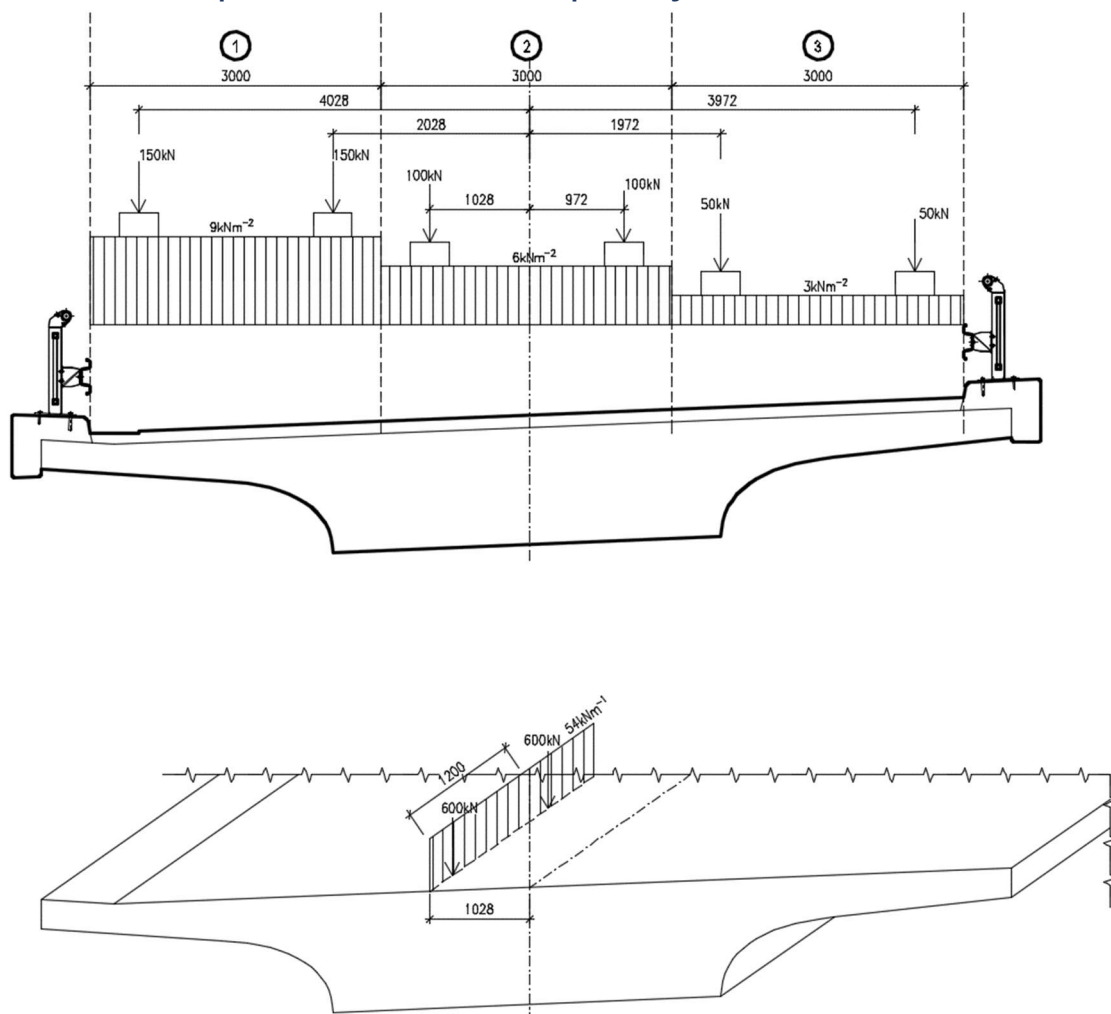
Posouzení konstrukce na smyk a kroucení bude provedeno nad první podporou. Jsou uvedeny vnitřní síly odečtené v úrovni hrany pilíře, což odpovídá 0,50 m od místa teoretické podpory. Síly jsou odečteny jak vlevo tak vpravo, přičemž předpoklad větších účinků je vpravo od podpory. Toto místo se nachází u prostředního pole, které má největší rozpětí.

Kroutící moment v konstrukci vzniká i od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení vzhledem k půdorysnému oblouku konstrukce, bude tedy uvažováno se všemi zatíženími.

Postavení zatížení dopravou bylo provedeno ve dvou variantách a sice pro vyvození maximální posouvající síly a tomu odpovídajícího kroutícího momentu, a naopak pro vyvození maximálního kroutícího momentu a tomu odpovídající posouvající síly.

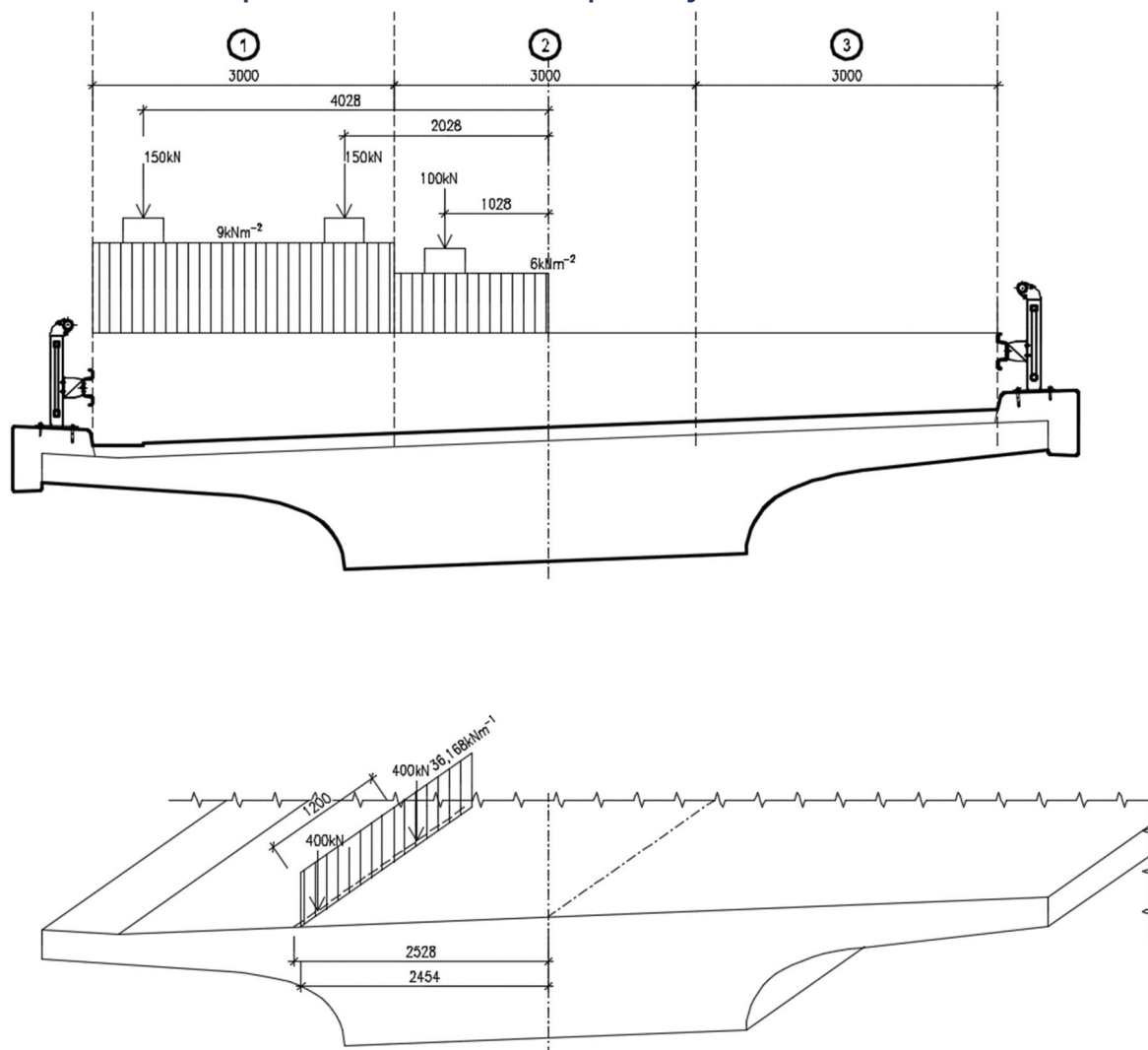
13.1 Přehled umístění zatížení dopravou

13.1.1 Umístění pro maximální V_{Ed} a odpovídající T_{Ed}



Obr. 47 - Postavení dopravy pro maximální posouvající sílu a odpovídající kroutící moment

13.1.2 Postavení pro maximální T_{Ed} a odpovídající V_{Ed}

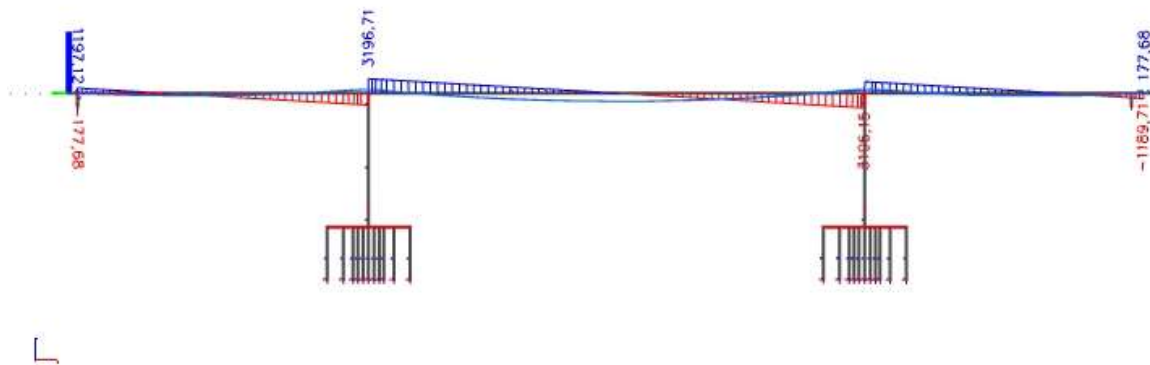


Obr. 48 - Postavení dopravy pro maximální kroučící moment a odpovídající posouvající sílu

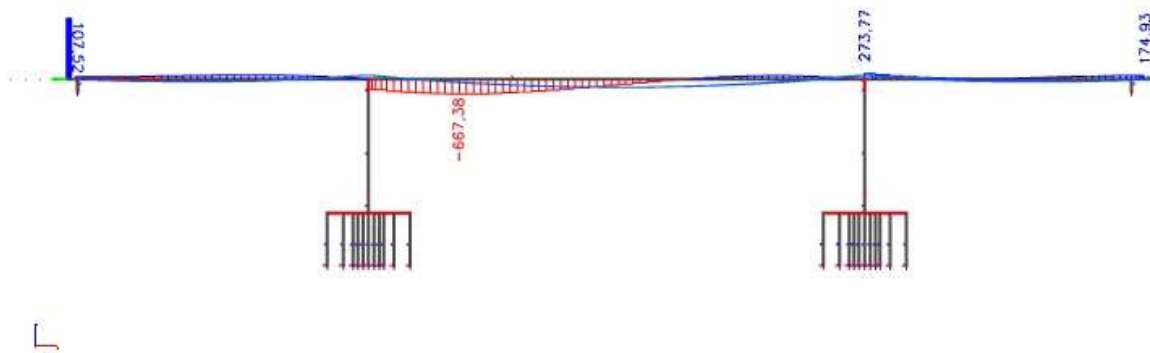
13.2 Získané vnitřní síly na konstrukci

13.2.1 Stálá zatížení

13.2.1.1 Vlastní tíha

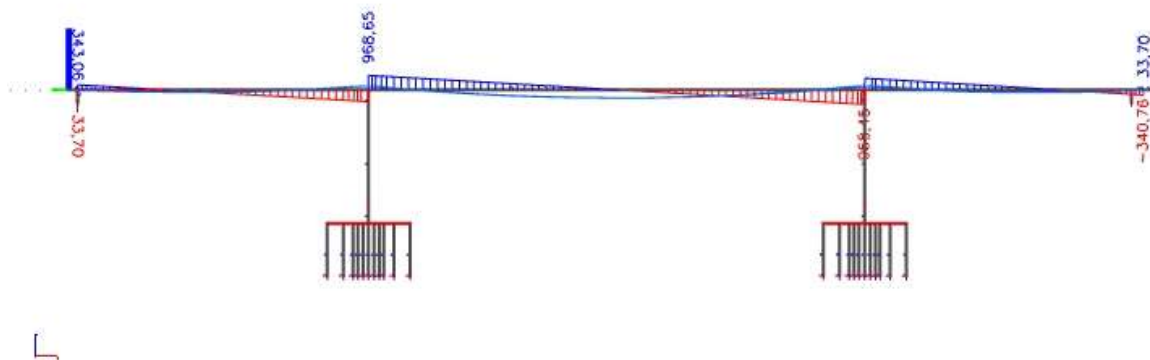


Obr. 49 - Vlastní tíha Vz

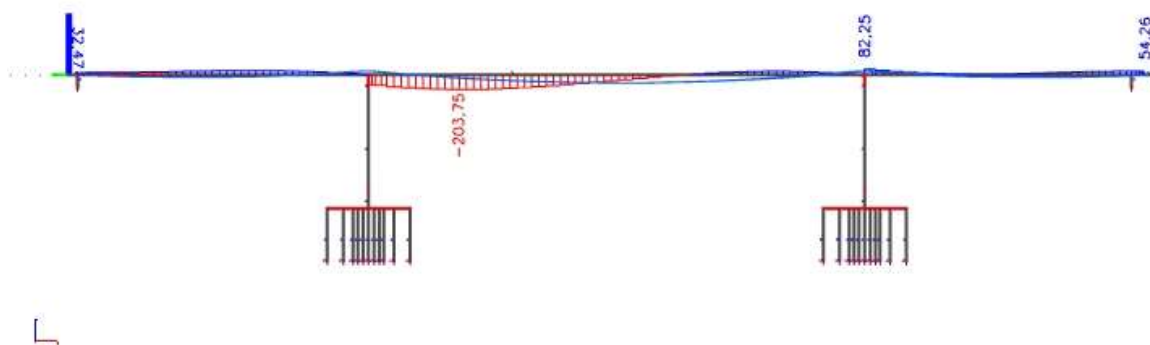


Obr. 50 - Vlastní tíha Mx

13.2.1.2 Ostatní stálé zatížení

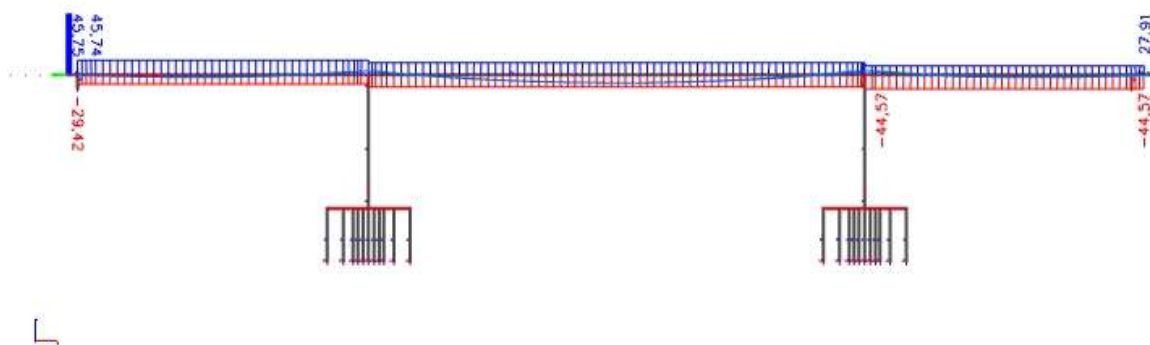


Obr. 51 - Ostatní stálé Vz

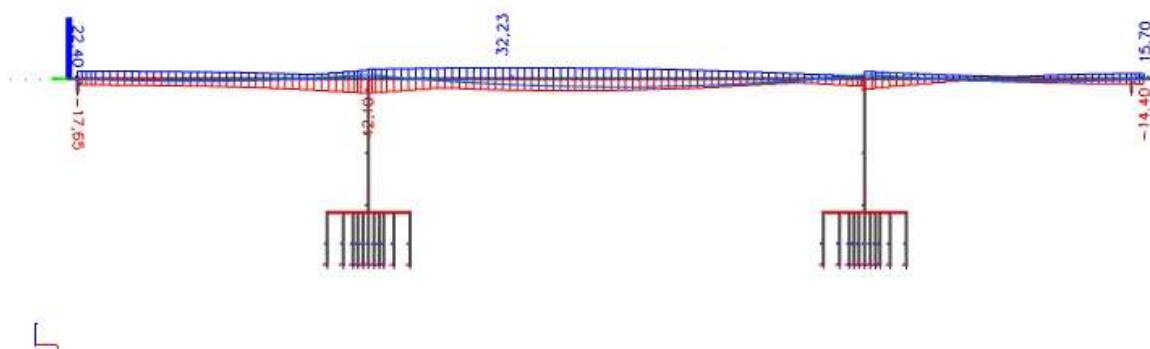


Obr. 52 - Ostatní stálé Mx

13.2.1.3 Sedání

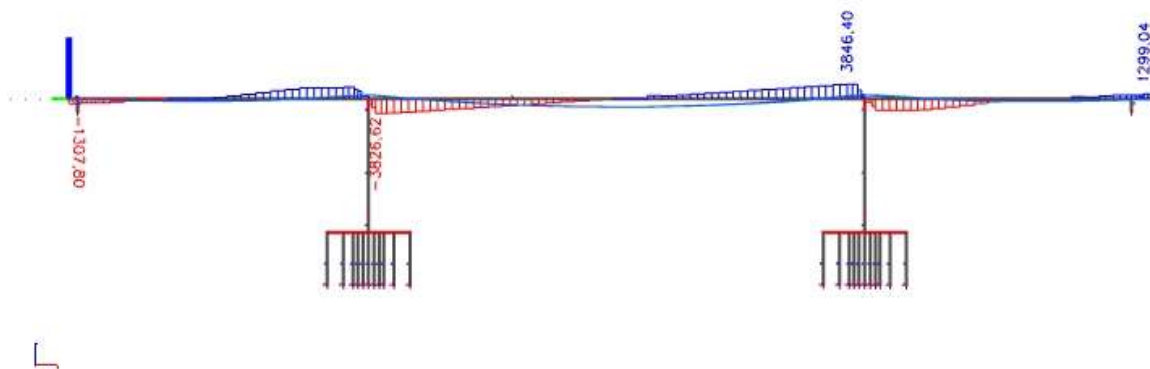


Obr. 53 - Sedání Vz

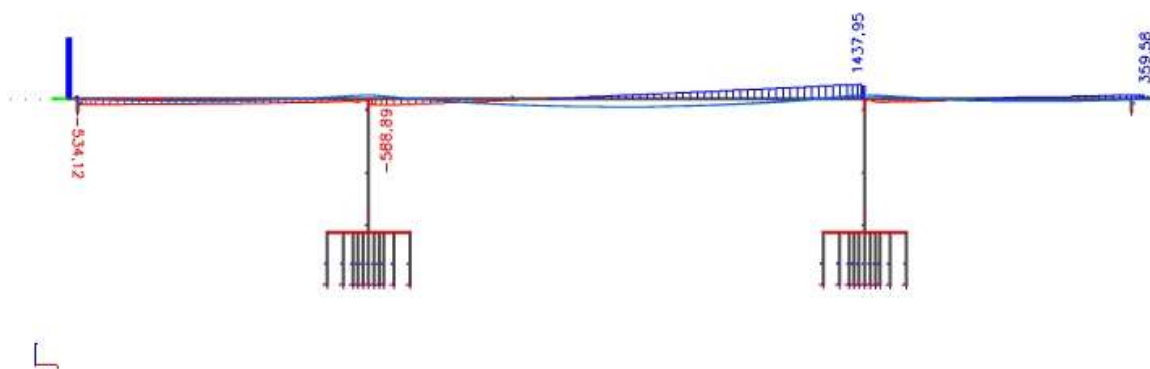


Obr. 54 - Sedání Mx

13.2.1.4 Předpětí

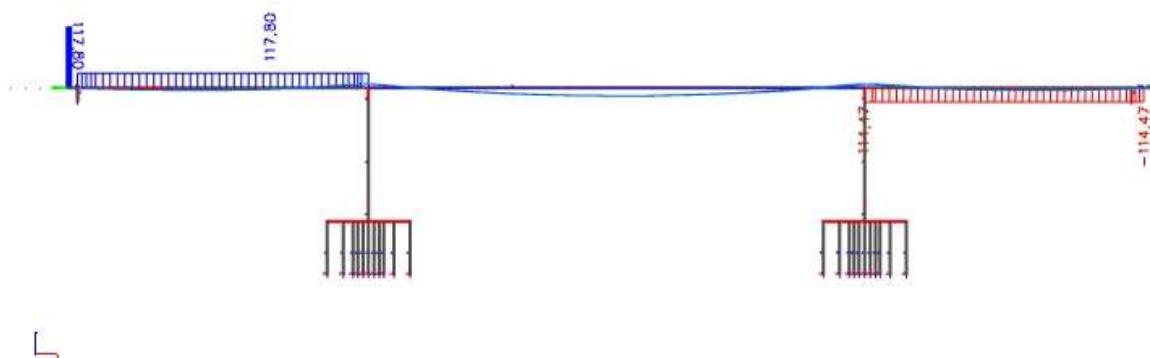


Obr. 55 - Předpětí Vz

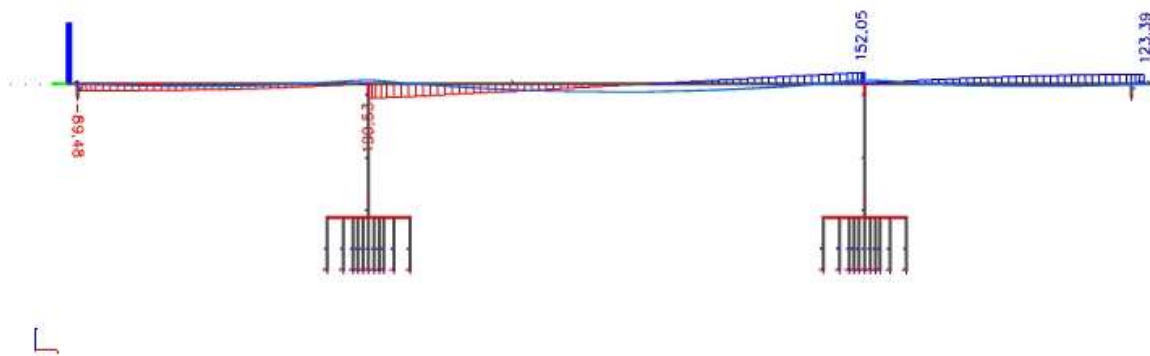


Obr. 56 - Předpětí Mx

13.2.1.5 Zatížení teplotou – horní povrch teplejší

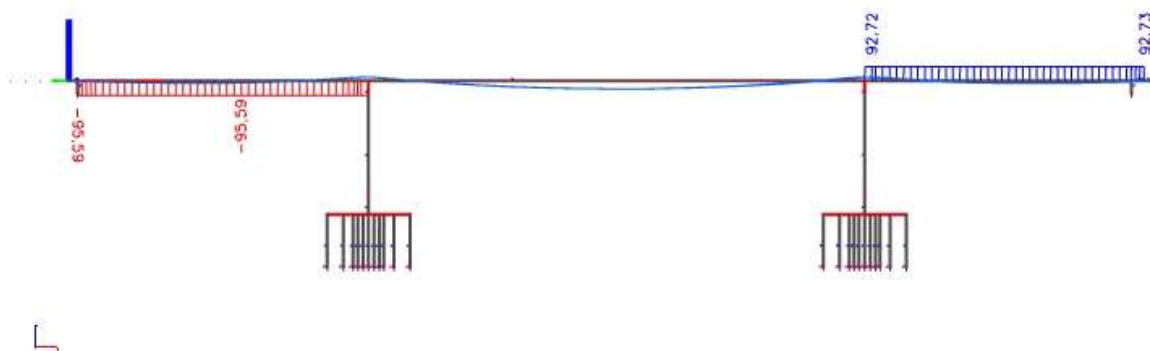


Obr. 57 - Horní povrch teplejší Vz

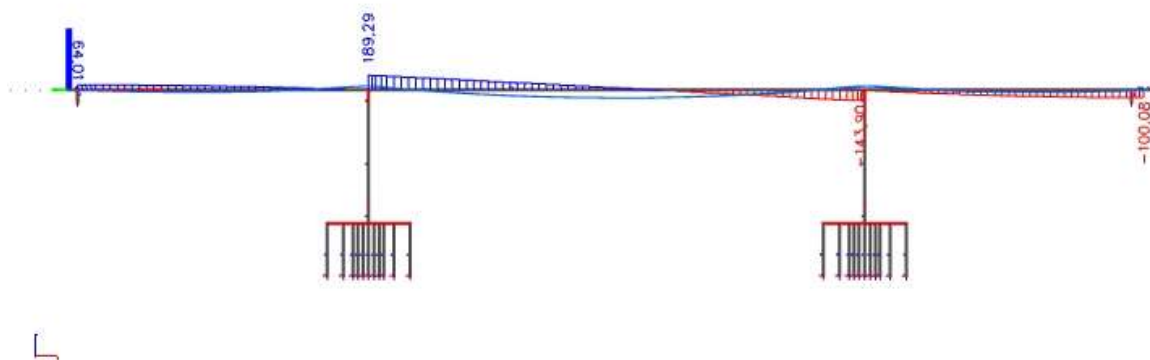


Obr. 58 - Horní povrch teplejší Mx

13.2.1.6 Zatížení teplotou – dolní povrch teplejší

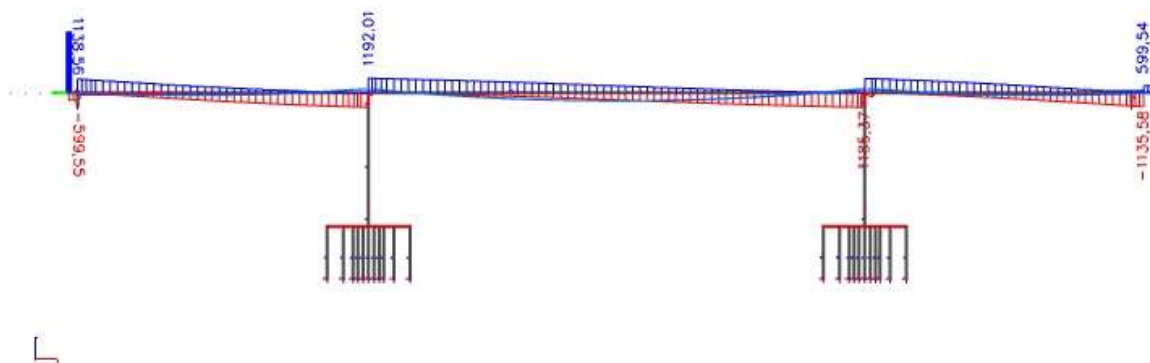


Obr. 59 - Dolní povrch teplejší Vz

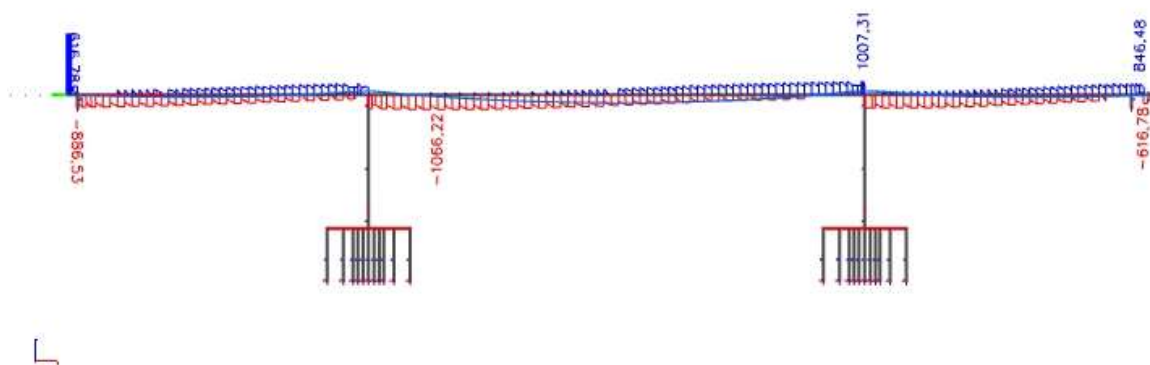


Obr. 60 - Dolní povrch teplejší Mx

13.2.1.7 Zatížení dopravou – TS – maximální posouvající síla

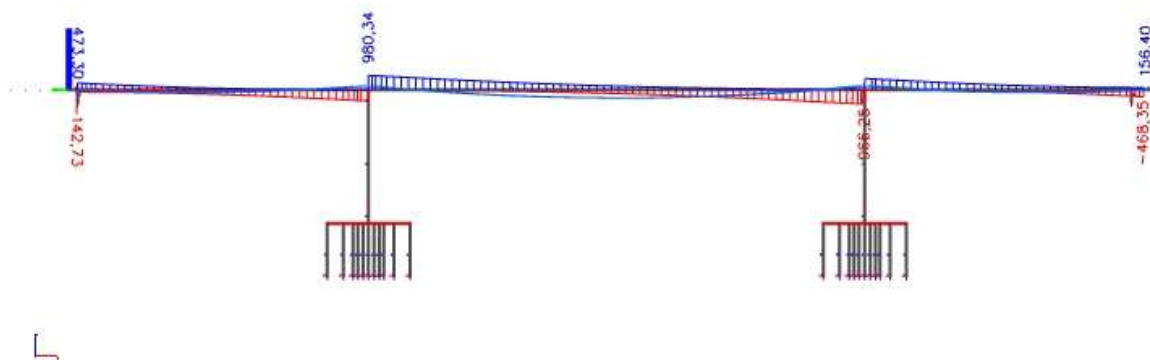


Obr. 61 - TS maximální posouvající síla V_z

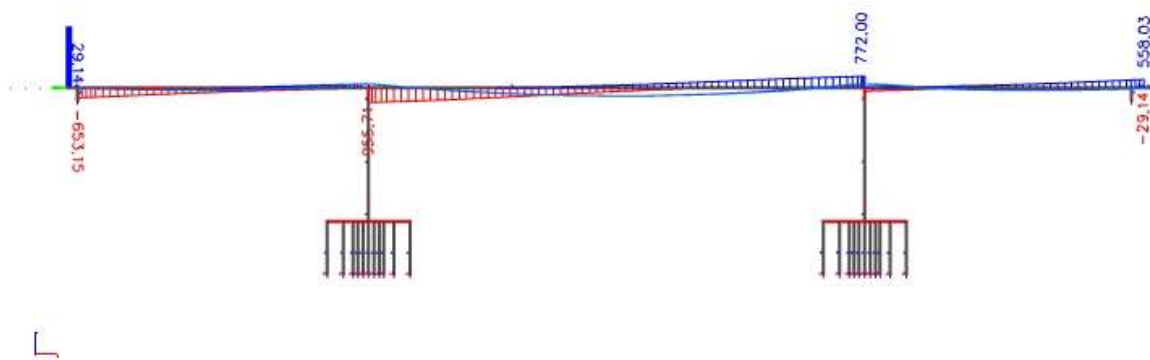


Obr. 62 - TS maximální posouvající síla M_x

13.2.1.8 Zatížení dopravou – UDL – maximální posouvající síla

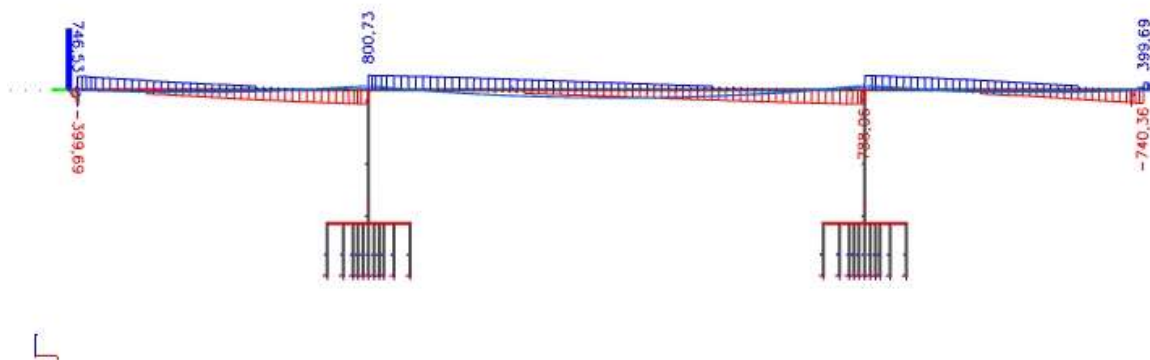


Obr. 63 - UDL maximální posouvající síla V_z

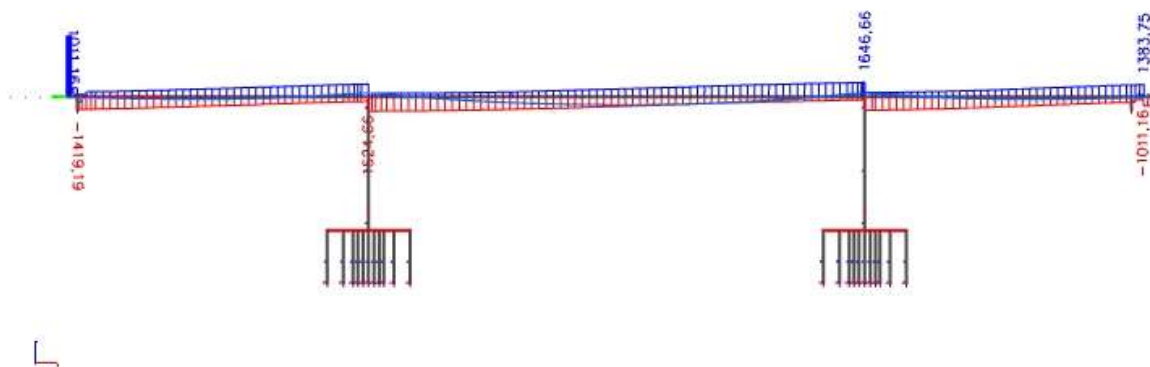


Obr. 64 - UDL maximální posouvající síla M_x

13.2.1.9 Zatížení dopravou – TS – maximální kroutící moment

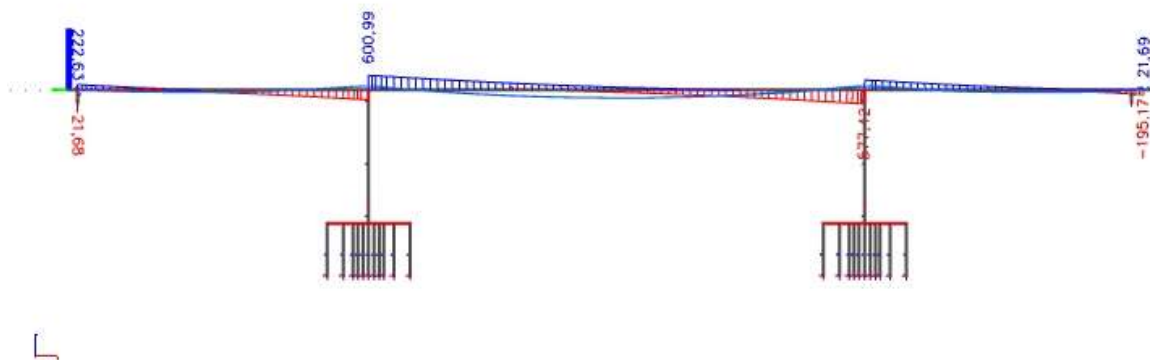


Obr. 65 - TS maximální kroutící moment V_z

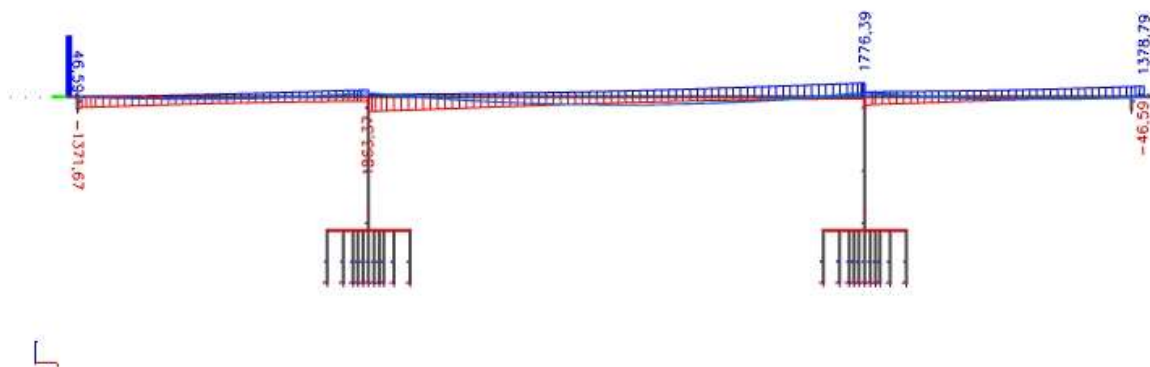


Obr. 66 - TS maximální kroutící moment M_x

13.2.1.10 Zatížení dopravou – UDL maximální kroutící moment



Obr. 67 - UDL maximální kroutící moment V_z



Obr. 68 - UDL maximální kroutící moment M_x

13.3 Přehled získaných vnitřních sil

	Zatěžovací stav [kN]	Vnitřní síla	Místo		Ohybový moment M_y vpravo [kNm]
			Vlevo	Vpravo	
Stálé	Vlastní tíha [kN]	Ved [kN]	-2485.24	3104.75	-15047.66
		Ted [kNm]	0.97	-481.90	
	Ostatní stálé [kN]	Ved [kN]	-752.28	940.58	-4555.04
		Ted [kNm]	0.72	-147.83	
	Sedání [kN]	Ved [kN]	-29.42	38.34	-523.38
		Ted [kNm]	25.07	-39.82	
Prom.	Teplota - horní teplejší [kN]	Ved [kN]	117.80	1.23	1886.18
		Ted [kNm]	1.22	-184.91	
	Teplota - dolní teplejší [kN]	Ved [kN]	-95.59	-1.31	-1838.76
		Ted [kNm]	-9.57	183.81	
	Předpětí [kN]	Ved [kN]	2051.11	-3826.74	19267.97
		Ted [kNm]	-307.96	-583.11	
$V_{Ed,max}$	Tandem systém	Ved,max [kN]	-1161.26	1187.10	-274.62
		Ted,odp [kNm]	580.39	-703.68	
	UDL	Ved,max [kN]	-728.69	970.37	-5003.42
		Ted,odp [kNm]	247.35	-952.74	
$T_{Ed,max}$	TS	Ted,max [kNm]	1445.14	-1619.52	-334.62
		Ved,odp [kN]	-766.63	794.06	
	UDL	Ted,max [kNm]	884.41	-1846.65	-2519.1
		Ved,odp [kN]	-391.61	593.73	

13.4 Kombinační součinitelé

13.4.1 Kombinační součinitelé pro ULS

Součinitelé kombinace			
Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
TS	0.75	0.75	0.00
UDL	0.40	0.40	0.00
Teplota	0.60	0.60	0.50

13.4.2 Součinitelé zatížení pro ULS

Součinitelé zatížení	
Zatížení	γ
Stálé zatížení	1.35
Sedání	1.20
Doprava	1.35
Teplota	1.50

13.4.3 Redukční součinitelé pro zatížení teplotou

Součinitel k_{sur} pro zatížení teplotou		
Vlákna	Horní teplejší	Dolní teplejší
Provoz	0.7	1

13.4.4 Kombinace zatížení pro posouzení

Vzhledem k tomu, že vlevo od podpory jsou výrazně menší hodnoty jak posouvajících sil tak kroutících i ohybových momentů, jsou níže uvedeny hodnoty odpovídajících ohybových momentů pouze vpravo.

			Zleva	Zprava
$V_{Ed,max}$	$V_{Ed,max}$	6.10a	-4010.15	3407.18
		6.10b	-4331.42	3767.74
	$T_{Ed,odp}$	6.10a	437.01	-2824.48
		6.10b	828.39	-3699.00
	$M_{Ed,odp}$	6.10a	-	-9615.34
		6.10b		-9697.04
$T_{Ed,max}$	$T_{Ed,max}$	6.10a	1665.96	-4234.48
		6.10b	2865.21	-6142.16
	$V_{Ed,odp}$	6.10a	-3268.31	2805.84
		6.10b	-3183.36	2728.67
	$M_{Ed,odp}$	6.10a	-	-8334.55
		6.10b		-6424.20

13.5 Rozhodnutí o potrhání průřezu

13.5.1 Vlastnosti betonu

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}$$

$\alpha_{ct} =$	1 -
$f_{ctk,0,05} =$	2.9 MPa
$\gamma_c =$	1.5 -

$$f_{ctd} = 1.93 \text{ MPa}$$

13.5.2 Průřezové charakteristiky

$A_c \text{ [m}^2\text{]}$	$I_y \text{ [m}^4\text{]}$	$e_h \text{ [m]}$	$e_d \text{ [m]}$	$W_h \text{ [m}^3\text{]}$	$W_d \text{ [m}^3\text{]}$
7.0391	0.8251	0.493	0.707	1.674	1.167

13.5.3 Výpočet napětí

$$\sigma_c^h = -\frac{N_{Ed}}{A_c} + \frac{M_{Ed}}{W_h} = -\frac{43281,60 * 10^{-3}}{7,0391} + \frac{9697,04 * 10^{-3}}{1,674} = -0.36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = -\frac{N_{Ed}}{A_c} - \frac{M_{Ed}}{W_d} = -\frac{43281,60 * 10^{-3}}{7,0391} - \frac{9697,40 * 10^{-3}}{1,167} = -14.46 \text{ MPa}$$

13.5.4 Posouzení

$$\sigma_c^h = -0,36 \text{ MPa} > f_{ctd} = 1,93 \text{ MPa}$$

13.5.5 Závěr

Hodnota normálového napětí v posuzovaném místě nepřekročí návrhovou hodnotu pevnosti betonu v tahu. Z toho plyne, že dále bude postupováno dle pružnosti.

13.6 Výpočet únosnosti ve smyku nevyztuženého průřezu

$$V_{Rd,c} = \frac{I * b_w}{S} * \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l * \sigma_{cp} * f_{ctd}}$$

$$I = 0.8251 \text{ m}^4$$

$$\phi = 110 \text{ mm} < b_w/8 = 4003/8 = 500,375 \text{ mm} \rightarrow b_{wnom} = b_w = 4.003 \text{ m}$$

$$S = A * u_z = 4,3689 * 0,27 = 1.18 \text{ m}^3$$

$$f_{ctd} = 1.93 \text{ MPa}$$

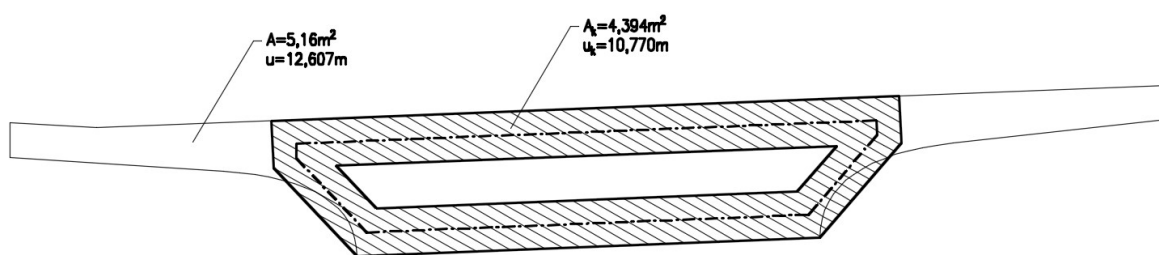
$$\alpha_l = 1$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{44467,2 * 10^{-3}}{7,0391} = 6.32 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{0,8251 * 4,003}{1,18} * \sqrt{(1,93 * 10^3)^2 + 1 * 6,32 * 10^3 * 1,93 * 10^3} = 11169 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 11169,04 \text{ kN} > V_{Ed} = 3767,64 \text{ kN} \quad \dots \text{Vyhovuje}$$

13.7 Výpočet únosnosti v kroucení



Obr. 69 - Průřez v kroucení

13.7.1 Parametry průřezu v kroucení

A =	5.16 m ²
u =	12.607 m
t _{eff} =A/u=	0.409 m
A _k =	4.394 m ²
u _k =	10.77 m

13.7.2 Posouzení

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} * t_{eff} * 2 * A_k = 1,93 * 10^3 * 0,409 * 2 * 4,394 = 6936.98 \text{ kN}$$

$$T_{Rd,c} = 6936,98 \text{ kN} \geq T_{Ed} = 6142,16 \text{ kN} \quad \dots \text{Vyhovuje}$$

13.8 Posouzení interakce smyku a kroucení

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed,odp}}{T_{Rd,c}} = \frac{3767,64}{11169,04} + \frac{3966}{6936,98} = 0.87 < 1,0 \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{V_{Ed,odp}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed,max}}{T_{Rd,c}} = \frac{2728,67}{11169,04} + \frac{6142,16}{6936,98} = 1.13 > 1,0 \dots \text{Nevyhovuje}$$

Nutno navrhnout smykovou výztuž

13.8.1 Ověření kapacity průřezu pro přenos zatížení

13.8.1.1 Únosnost tlačené diagonály ve smyku

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * v_1 * f_{cd} * b_w * z}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{6,32}{30} = 1.211 \quad \text{pro } 0 \leq \sigma_{cp} = 6,32 \text{ MPa} \leq 0,25 * f_{cd} = 7,50 \text{ MPa}$$

$$v_1 = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{50}{250}\right) = 0.48$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 1,14 = 1,026 \quad \text{m}$$

$$\theta = 40^\circ \quad \dots \text{úhel tlačené diagonály (optimálně } 35^\circ \sim 40^\circ)$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,211 * 0,48 * 30 * 10^3 * 4,003 * 1,026}{\cot 40^\circ + \tan 40^\circ} = 35266,39 \quad \text{kN}$$

13.8.1.2 Únosnost tlačené diagonály v kroucení

$$T_{Rd,max} = 2 * v * \alpha_{cw} * f_{cd} * A_k * t_{eff} * \sin \theta * \cos \theta$$

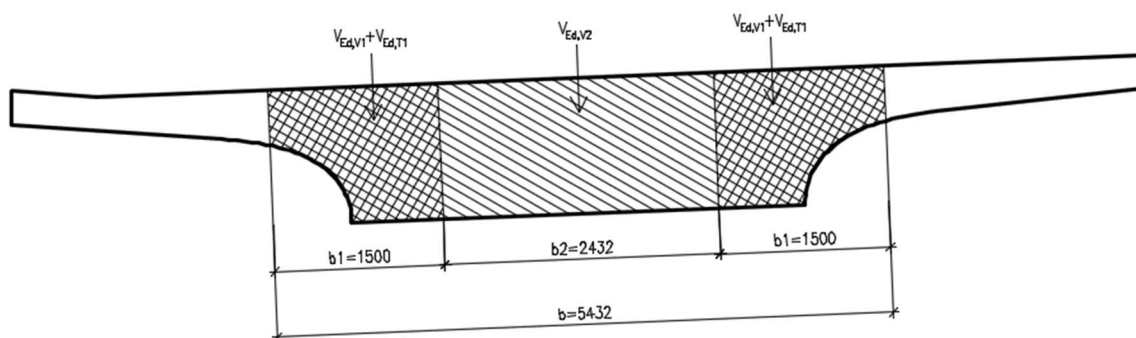
$$T_{Rd,max} = 2 * 0,48 * 1,211 * 30 * 10^3 * 4,394 * 0,409 * \sin 40^\circ * \cos 40^\circ = 30863,2 \quad \text{kNm}$$

13.8.1.3 Posouzení

$$\frac{V_{Ed,odp}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed,max}}{T_{Rd,max}} = \frac{2728,67}{35266,39} + \frac{6142,16}{30863,24} = 0,28 < 1,0 \dots \text{Vyhovuje}$$

Průřez má dostatečnou kapacitu pro přenos zatížení

13.8.2 Rozdělení posouvající síly na průřezu



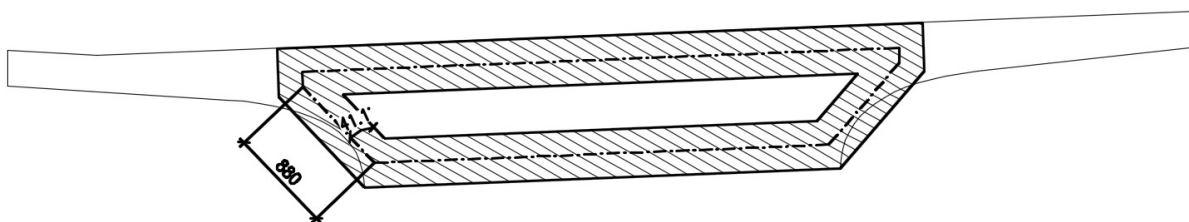
Obr. 70 - Rozdělení posouvající síly na průřezu

celková šířka průřezu přenášející smyk :	b =	5.432 m
oblast 1 - přenos smyku a kroucení :	b ₁ =	1.5 m
oblast 2 - přenos posouvající síly :	b ₂ =	2.432 m

$$\text{pro } T_{Ed,max}: V_{Ed,V1} = \frac{V_{Ed,odp}}{b} * b_1 = \frac{3268,31}{5,432} * 1,5 = 902.52 \quad \text{kN}$$

$$\text{pro } T_{Ed,max}: V_{Ed,V2} = \frac{V_{Ed,odp}}{b} * b_2 = \frac{3268,31}{5,432} * 2,432 = 1463.28 \quad \text{kN}$$

13.8.3 Převedení kroutícího momentu na posouvající sílu



Obr. 71 - Parametry průřezu v kroucení pro převedení na posouvající sílu

$$\text{pro } T_{Ed,max}: V_{Ed,T1} = \frac{T_{Ed,max}}{2 * A_k} * l_i = \frac{6142,16}{2 * 4,394} * 0,88 = 615.06 \quad \text{kN}$$

$$\text{pro } T_{Ed,max}: V_{Ed,T\alpha} = \frac{V_{Ed,T1}}{\cos \alpha} = \frac{615,06}{\cos 41,1^\circ} = 816.2 \quad \text{kN}$$

$$V_{Ed,1} = V_{Ed,V1} + V_{Ed,T\alpha} = 902,52 + 615,06 = 1517.58 \quad \text{kN}$$

$$V_{Ed,2} = 1463.28 \quad \text{kN}$$

13.8.4 Návrh smykové výztuže – oblast 1

Navržený profil lemovací výztuže \varnothing_l	14 mm
Počet stříhů n_l	1 -
Plocha prutu	1.539E-04 m ²
Celková plocha lemovací výztuže $A_{sw,l}$	1.539E-04 m ²
Navržený profil \varnothing	10 mm
Počet stříhů n	4 -
Vzdálenost v podélném směru s_l	150 mm
Plocha 1 třmínku $A_{sw,1}$	7.850E-05 m ²
Celková plocha spon $A_{sw,s}$	3.140E-04 m ²
Celková plocha smykové výztuže A_{sw}	4.679E-04
Pevnost třmínků f_{ywd}	434.78 MPa
Sklon tlačené diagonály θ	40 °
Sklon třmínků α	90 °
Rameno vnitřních sil z	1.026 m

13.8.4.1 Posouzení

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_l} * z * f_{ywd} * \cot \theta = \frac{4,679 * 10^{-4}}{0,150} * 1,026 * 434,78 * 10^3 * \cot 40^\circ = 1658.31 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 1658.31 \text{ kN} > V_{Ed,1} = 1517.58 \text{ kN} \dots \text{Vyhovuje}$$

13.8.5 Návrh smykové výztuže – oblast 2

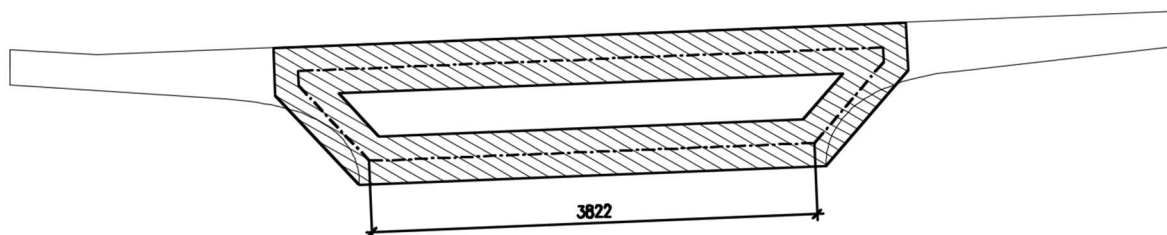
Navržený profil Ø	10 mm
Počet stříhů n	6 -
Vzdálenost v podélném směru s _l	150 mm
Plocha 1 třmínku A _{sw,1}	7.850E-05 m ²
Celková plocha spon A _{sw}	4.710E-04 m ²
Pevnost třmínků f _{ywd}	434.78 MPa
Sklon tlačené diagonály θ	40 °
Sklon třmínků α	90 °
Rameno vnitřních sil z	1.026 m

13.8.5.1 Posouzení

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_l} * z * f_{ywd} * \cot \theta = \frac{4,471 * 10^{-4}}{0,150} * 1,026 * 434,78 * 10^3 * \cot 40^\circ = 1669.29 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 1669.29 \text{ kN} > V_{Ed,2} = 1463.28 \text{ kN} \dots \text{Vyhovuje}$$

13.8.6 Posouzení dolního povrchu na kroucení



Obr. 72 - Parametry dolní části průřezu pro kroucení

$$\text{pro } T_{Ed,max}: V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,max}}{2 * A_k} * l_i = \frac{6142,16}{2 * 4,394} * 3,822 = 2671.3 \text{ kN}$$

13.8.6.1 Navržená výztuž

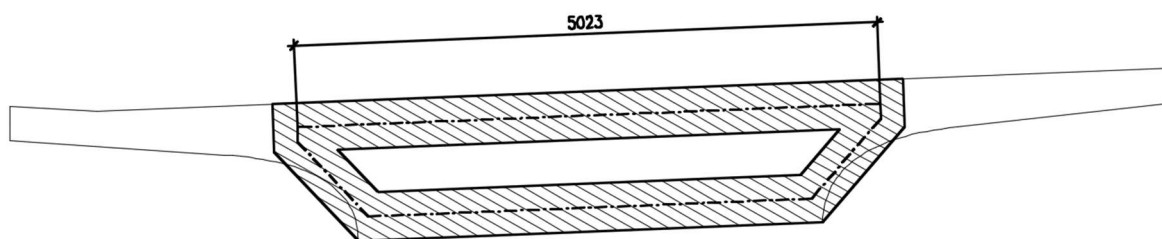
Navržený profil lemovací výztuže \varnothing_l	14 mm
Počet stříhů n_l	1 -
Plocha prutu	1.539E-04 m ²
Celková plocha lemovací výztuže $A_{sw,l}$	1.539E-04 m ²
Navržený profil \varnothing	10 mm
Počet stříhů n	1 -
Vzdálenost v podélném směru s_l	150 mm
Plocha 1 třmínku $A_{sw,1}$	7.850E-05 m ²
Celková plocha spon $A_{sw,s}$	7.850E-05 m ²
Celková plocha smykové výztuže A_{sw}	2.324E-04
Pevnost třmínků f_{ywd}	434.78 MPa
Sklon tlačené diagonály θ	40 °
Sklon třmínků α	90 °

13.8.6.2 Posouzení

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_l} * l_i * f_{ywd} * \cot \theta = \frac{7,850 * 10^{-5}}{0,150} * 3,822 * 434,78 * 10^3 * \cot 40^\circ = 3068.26 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 3068.26 \text{ kN} > V_{Ed,1} = 2671.3 \text{ kN} \quad \dots \text{Vyhovuje}$$

13.8.7 Posouzení horního povrchu na kroucení



Obr. 73 - Parametry horní části průřezu pro kroucení

$$\text{pro } T_{Ed,max}: V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed,max}}{2 * A_k} * l_i = \frac{6142,16}{2 * 4,394} * 5,023 = 3510.71 \text{ kN}$$

13.8.7.1 Parametry smykové výztuže

Vzdálenost v podélném směru s_l	150 mm
Pevnost třmínků f_{ywd}	434.78 MPa
Sklon tlačené diagonály θ	40 °
Sklon třmínků α	90 °

13.8.7.2 Výpočet minimální potřebné plochy smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_l} * l_i * f_{ywd} * \cot \theta \rightarrow A_{sw,min} = \frac{V_{Ed,T} * s_l}{l_i * f_{ywd} * \cot \theta} = \frac{3510,71 * 0,150}{5,023 * 434,78 * 10^3 * \cot 40^\circ}$$

$A_{sw,min} =$	2.023E-04 m ²
----------------	--------------------------

-> Plocha $A_{sw,min}$ bude přidána k výztuži na příčný ohyb

13.9 Posouzení konstrukčních zásad

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_l * b_w * \sin \alpha} = \frac{13,736 * 10^{-4}}{0,150 * 5,432 * \sin 90^\circ} = 0.0017$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{ywk}} = \frac{0,08 * \sqrt{35}}{500} = 0.00095$$

$$\rho_w = 0,0017 > \rho_{w,min} = 0,00095 \dots \text{Vyhovuje}$$

$$s_l = 0,150 \text{ m} < s_{l,max} = 0,75 * d = 0,75 * 1,026 = 0,77 \text{ m} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$s_{t,max} = \min(0,7 * d; 600 \text{ mm}) = \min(0,7 * 1026 = 718; 600 \text{ mm}) = 0,600 \text{ m}$$

13.10 Návrh podélné smykové výztuže

13.10.1 Výpočet vodorovné síly H_{Ed}

13.10.1.1 Pro $V_{Ed,max}$ a $T_{Ed,odp}$

$$H_{Ed,V_{Ed,max}} = \left(V_{Ed,max} + \frac{T_{Ed,odp}}{2 * A_k} * u_k \right) * \cot \theta = \left(3767,74 + \frac{3699}{2 * 4,394} * 10,77 \right) * \cot 40^\circ$$

$$H_{Ed,V_{Ed,max}} = 9892.74 \text{ kN}$$

13.10.1.2 Pro $T_{Ed,max}$ a $V_{Ed,odp}$

$$H_{Ed,T_{Ed,max}} = \left(V_{Ed,odp} + \frac{T_{Ed,max}}{2 * A_k} * u_k \right) * \cot \theta = \left(2728,67 + \frac{6142,16}{2 * 4,394} * 10,77 \right) * \cot 40^\circ$$

$$H_{Ed,T_{Ed,max}} = 12222.76 \text{ kN}$$

Maximální horizontální síla, tedy $H_{Ed,T_{Ed,max}} = 12222,76 \text{ kN}$ bude zahrnuta do rezervy v ULS podélného směru. Bude proveden přepočít únosnosti v podélném směru.

13.10.2 Přepočít únosnosti v podélném směru

13.10.2.1 Síla ve výztuži

$\Delta\sigma_{p,1}$	247.674 Mpa
1. řada	8916.264 kN

13.10.2.2 Síla v betonu

x	421.75 mm
λ	0.8 -
λx	337.4 mm
A_{cc}	1.372 m ²
F_{cc}	41160 kN

13.10.2.3 Porovnání N_{Ed} vs N_{Rd}

N_{Ed}	32244.44 kN
N_{Rd}	32243.74 kN

$N_{Ed} \approx N_{Rd}$

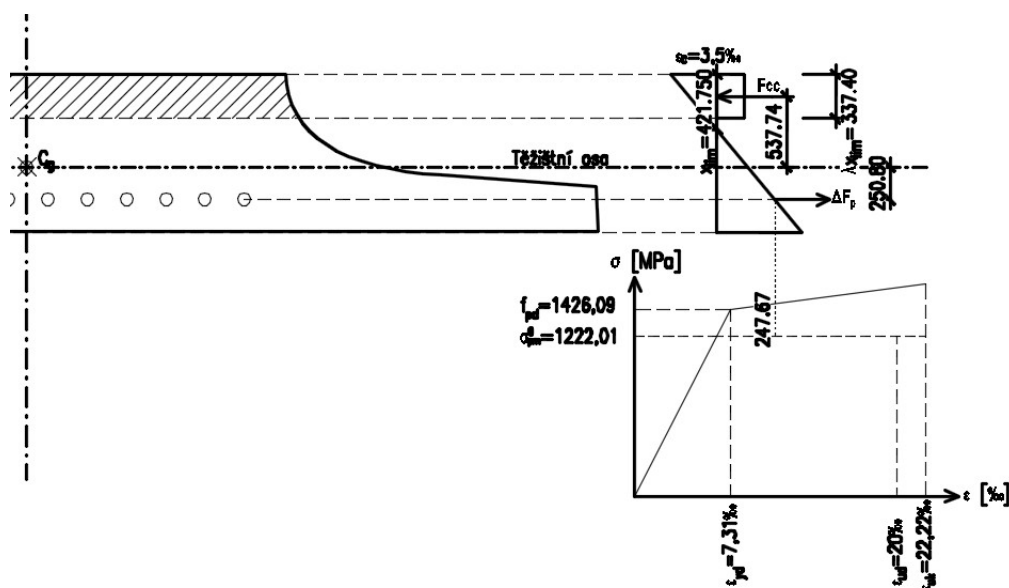
Rozdíl	-0.704 kN
--------	-----------

13.10.2.4 Posouzení momentové únosnosti

Rameno beton	537.74 mm
Rameno předpínací	250.8 mm

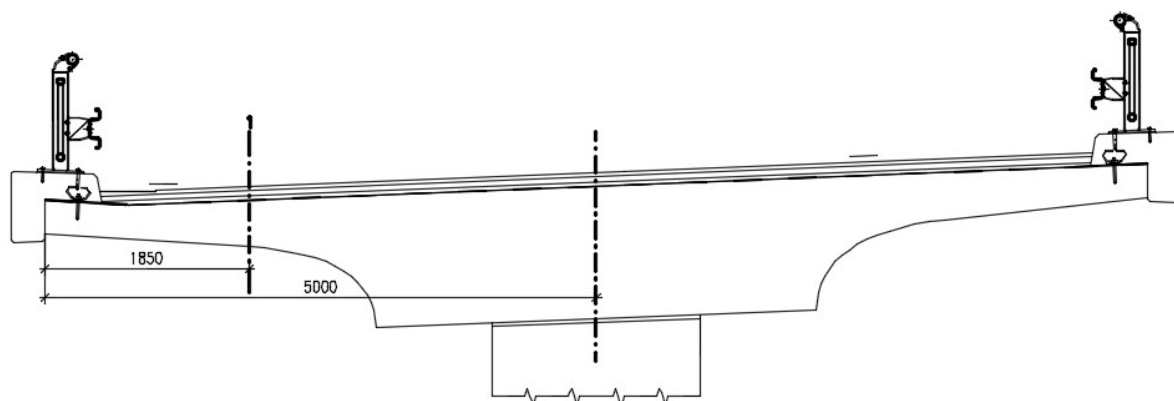
M_{Ed}	19233.56 kNm
M_{Rd}	24369.58 kNm
Rozdíl	5136.014 kNm

!VYHOVUJE!



Obr. 74 - Výsledek přepočtu ULS

13.11 Podélný smyk horní desky



Obr. 75 - Posuzovaný řez podélného smyku horní desky

13.11.1 Výpočet napětí v posuzovaném řezu

$$v_{Ed,V} = \frac{0,5 * \Delta F_d}{\Delta x * h_f}$$

kde:

ΔF_d ... změna normálové síly na délce Δx

Δx ... zjednodušeně uvažujeme 1,0 m (obecně až $a/2$)

h_f ... výška příruby v místě řezu

$$\Delta M_{Ed} = 10895.34 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{cc} = \Delta F_{st} = \frac{\Delta M_{Ed}}{z} = \frac{10895.34}{0.78854} = 13817.11 \text{ kN}$$

$$\Delta F_d = \Delta F_{cc} * \frac{A_{cc,eff,i}}{A_{cc}} = \Delta F_{cc} * \frac{b_{eff,i}}{b_{eff}} \dots \text{pro tlačnou desku}$$

$$\Delta F_d = \Delta F_{st} * \frac{A_{st,i}}{A_{st}} = \Delta F_{st} * \frac{b_{eff,i}}{b_{eff}} \dots \text{pro taženou desku}$$

$$\theta_f = 45^\circ$$

$$s_f = 0.150 \text{ m}$$

$$h_f = 0.419 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 1.850 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 5.000 \text{ m}$$

$$\Delta F_d = 13817.11 * \frac{1.850}{5.000} = 5112.33 \text{ kN} \quad f_{ctd} = 1.93 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,V} = \frac{0,5 * \Delta F_d}{\Delta x * h_f} = \frac{0,5 * 5112.33}{1 * 0.419} = 6100.6 \text{ kPa}$$

$$v_{Ed,T} = \frac{T_{Ed}}{2 * A_k * h_f} = 0 \dots \text{na konzolové části nevzniká napětí od kroucení}$$

13.11.1.1 Celkové napětí

$$v_{Ed} = v_{Ed,V} + v_{Ed,T} = 6100.6 + 0 = 6.10 \text{ MPa} \quad \geq 0.4 * f_{ctd} = 0.77 \text{ MPa}$$

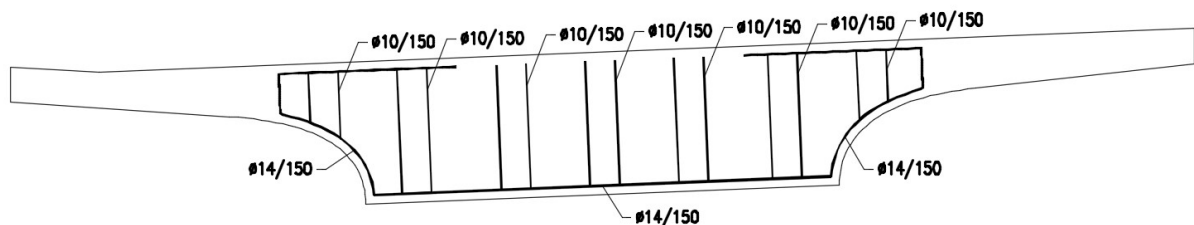
13.11.2 Návrh smykové výztuže

$$A_{sf} = A_{s,req}$$

$$v_{Rd,s} = \frac{\frac{A_{s,req}}{s_f} * f_{yd} * \cot \theta}{h_f} \geq v_{Ed} \quad \rightarrow \quad \frac{A_{s,req}}{s_f} = \frac{v_{Ed} * h_f}{f_{yd} * \cot \theta}$$

$$\frac{A_{s,req}}{s_f} = \frac{v_{Ed} * h_f}{f_{yd} * \cot \theta} = \frac{6,10 * 10^3 * 0,419}{434,78 * 10^3 * \cot 45} = \mathbf{5.8786E-03 \text{ m}^2/\text{m}}$$

Vypočtená potřebná plocha výztuže bude přičtena k ploše výztuže stanovené při posouzení příčného směru.

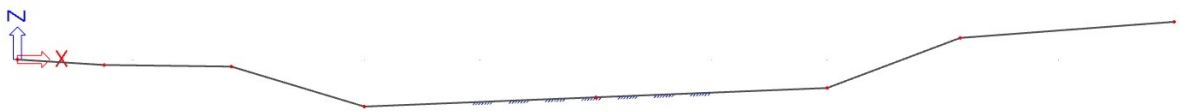


Obr. 76 - Schéma navržené výztuže

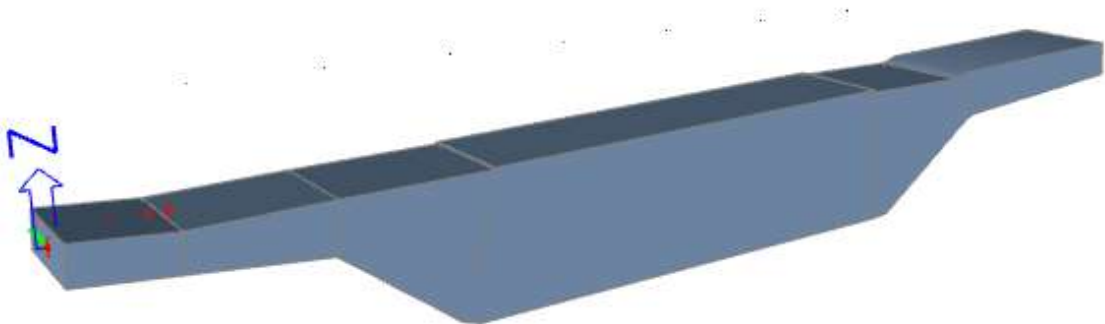
14 PŘÍČNÝ SMĚR

Model pro řešení příčného směru mostu byl vytvořen jako rám v rovině XZ. Model byl uvažován šířky 1 m. Podepření bylo modelováno jako vetknutí po celé délce vrubového kloubu, což odpovídá působení vrubového kloubu v příčném směru.

Vzhledem k tomu, že proměnné zatížení se vždy nachází na konzolové části nosníku, nebylo potřeba řešit pojezd v příčném směru pro určení příčinkových čar pro vyvození maximálního účinku. Zatížení bylo uvažováno vždy od kraje nosníku až po vyšetřovaný řez.



Obr. 77 - Model pro řešení příčného směru - prutové zobrazení



Obr. 78 - Model pro řešení příčného směru - renderované zobrazení

14.1 Zatížení

14.1.1 Stálá zatížení

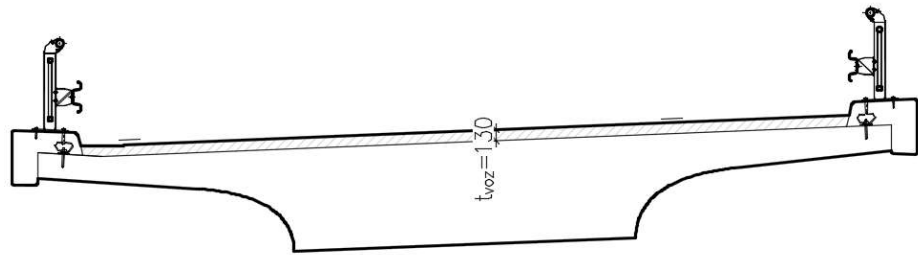
14.1.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha je programem Scia Engineer počítána automaticky, přičemž uvažuje s objemovou hmotností 25 kN/m^3 a gravitačním zrychlením $9,81 \text{ m/s}^2$.

14.1.1.2 Ostatní stálé zatížení

14.1.1.2.1 Vozovka

Tloušťka vozovky:	t_{voz}	0,130 m
Objemová tíha vozovky:	γ_{voz}	24 kN/m ³
Liniové zatížení vozovkou:	$g_{1k,voz} = t_{voz} * \gamma_{voz} * b$	3,12 kN/m
Supremum (+40%):	$g_{1k,voz,sup} = 1,4 * g_{k,voz}$	4,33 kN/m
Infinum (-20%):	$g_{1k,voz,inf} = 0,8 * g_{k,voz}$	2,47 kN/m



Obr. 79 - Tloušťka vozovky

14.1.1.2.2 Římsy

14.1.1.2.2.1 Levá římsa

Plocha římsy:	$A_{r,l}$	0,318 m ²
Objemová tíha:	γ_r	25 kN/m ³
Dosedací délka:	l_{dos}	0,521 m
Svislé liniové zatížení:	$g_{1k,r,l} = (A_{r,l} * \gamma_r * b) / l_{dos}$	15,29 kN/m

14.1.1.2.2.2 Pravá římsa

Plocha římsy:	$A_{r,p}$	0,333 m ²
Objemová tíha:	γ_r	25 kN/m ³
Dosedací délka:	l_{dos}	0,526 m
Svislé liniové zatížení:	$g_{1k,r,p} = (A_{r,p} * \gamma_r * b) / l_{dos}$	15,86 kN/m



Obr. 80 - Průřezové plochy a dosedací délky říms

14.1.1.2.3 Svodidla

Objemová tíha 1 svodila:	γ_{sv}	0,50 kN/m
--------------------------	---------------	-----------

14.1.2 Proměnná zatížení

Vzhledem k tomu, že vozidlo LM3 se pohybuje v ideální stopě, tedy v ose mostu $\pm 0,50$ m není s tímto modelem uvažováno.

Je uvažováno se sestavou zatížení gr1a dle zásad uvedených v ČSN EN 1991-2 *Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Zatížení dvojnápravou je v příčném směru rozneseno do střednice nosníku a v podélném směru je uvažováno spolupůsobení.

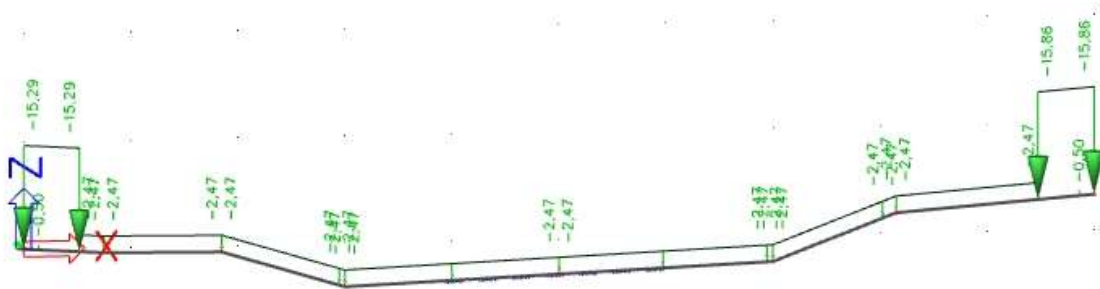
Vzhledem k tomu, že zatížení je vždy umístěno na konzolové části průřezu, není nutno řešit příčný pojezd jednotkovým zatížením pro získání příčinkových čar dle kterých by následně bylo umístěno proměnné zatížení tak, aby vyvodilo maximální účinek.

14.1.3 Přehled zatížení zadaných do výpočetního programu

14.1.3.1 Ostatní stálé zatížení



Obr. 81 - Ostatní stálé zatížení - supremum

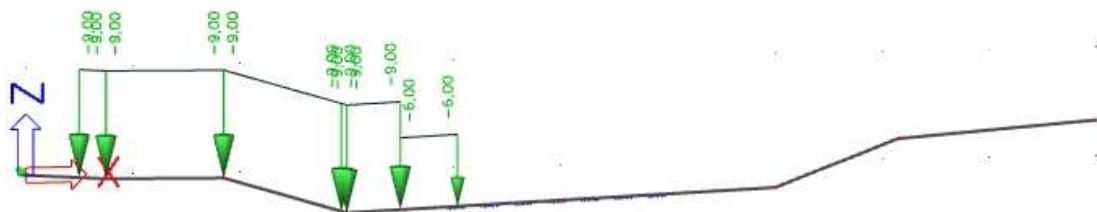


Obr. 82 - Ostatní stálé zatížení - infimum

14.1.3.2 Proměnné zatížení

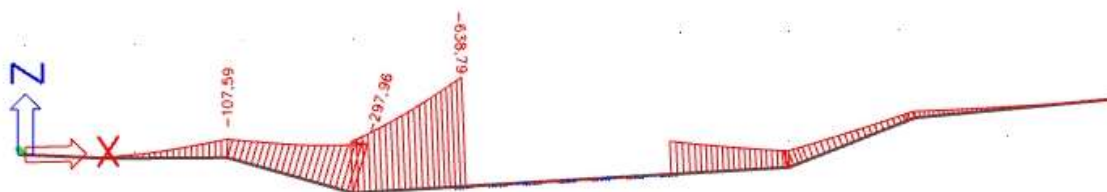


Obr. 83 - gr1a - Tandem systém

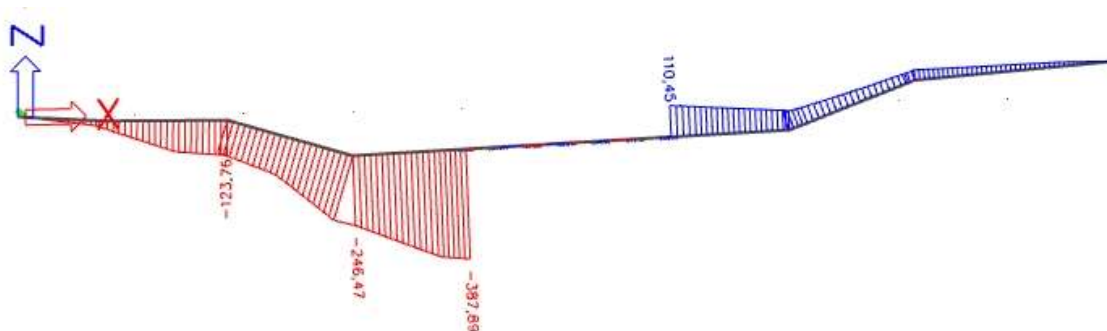


Obr. 84 - gr1a - UDL

14.2 Získané vnitřní síly



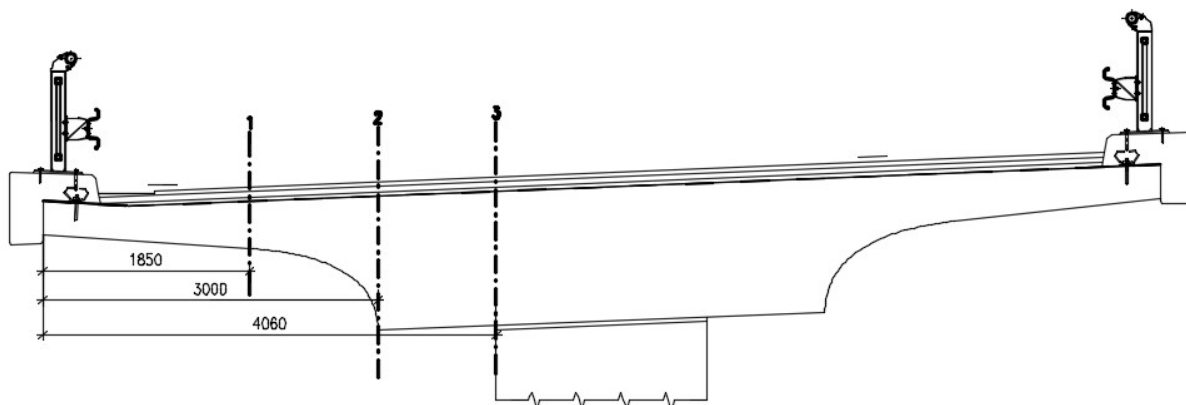
Obr. 85 - Maximální hodnota M_y



Obr. 86 - Maximální hodnota V_z

14.3 Posouzení jednotlivých řezů na ohyb

14.3.1 Přehled posuzovaných řezů



Obr. 87 - Posuzované řezy

14.3.2 Postup výpočtu

$$A_{s,req} = \frac{b * d * f_{cd}}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{st} \geq A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{st} \leq A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\phi}{2}$$

14.3.3 Přehled potřebných ploch výztuže v jednotlivých řezech

Řez	1	2	3
M_{Ed} [kNm]	107.59	297.96	638.79
f_{cd} [MPa]	30		
f_{ctm} [MPa]	4.1		
f_{yd} [MPa]	434.78		
ϕ [mm]	25	25	25
c_{nom} [mm]	50		
h [mm]	419	1200	1200
d [mm]	356.5	1137.5	1137.5
b [mm]	1000		
$A_{s,req}$ [m²]	6.94E-04	6.02E-04	10.33E-04

14.3.4 Interakce s podélným smykem

Pro posuzované řezy platí:

$$\text{Horní výztuž} \quad \max \begin{cases} 0,25A_{sf} + 1,0A_{st}^h + 0,1A_{st}^h \\ 0,5A_{sf} \end{cases}$$

$$\text{Dolní výztuž} \quad \max \begin{cases} 0,25A_{sf} + 0,2A_{st}^h + 1,0A_{st}^d \\ 0,5A_{sf} \end{cases}$$

Řez	1	2	3
A_{st}^h	6.94E-04	6.02E-04	10.33E-04
A_{st}^d	0.00E+00	6.02E-04	10.33E-04
A_{sf}	58.79E-04	58.79E-04	58.79E-04
$A_{st,celk}^h$	29.39E-04	29.39E-04	29.39E-04
$A_{st,celk}^d$	29.39E-04	29.39E-04	29.39E-04

14.3.5 Přehled navržené výztuže v jednotlivých řezech

Řez	Povrch	$A_{st,celk}$	\emptyset_{prov}	S_{\emptyset}	$A_{s,prov}$	
1	horní	31.42E-04	25	150	32.72E-04	OK
	dolní	29.39E-04	25	150	32.72E-04	OK
2	horní	31.42E-04	25	150	32.72E-04	OK
	dolní	29.39E-04	25	150	32.72E-04	OK
3	horní	31.42E-04	25	150	32.72E-04	OK
	dolní	29.39E-04	25	150	32.72E-04	OK

14.4 Posouzení jednotlivých řezů na smyk

14.4.1 Posouzení v řezu 1

Návrhová posouvající síla $V_{Ed} = 123.76 \text{ kN}$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right] * b_w * d \geq \min V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0.12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{356,5}} = 1.75 \leq 2.0$$

$$d = 356.5 \text{ mm}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02 \quad A_{sl} = 65.45 \text{E-04 m}^2 \quad \dots \text{ horní + dolní výztuž}$$

$$b_w = 1 \text{ m}$$

$$\rho_l = \frac{0,006545}{1,0 * 0,356,5} = 0.0184 \leq 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,75^{\frac{3}{2}} * 50^{\frac{1}{2}} = 0.573 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 * 1,75 * (100 * 0,0184 * 50)^{\frac{1}{3}} \right] * 1000 * 356,5 = 337.97 \text{ kN}$$

$$\min V_{Rd,c} = v_{min} * b_w * d = 0,573 * 10^3 * 1,0 * 0,3565 = 204.27 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 337,97 \text{ kN} \geq \min V_{Rd,c} = 204,27 \text{ kN} \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

$$V_{Rd,c} = 337,97 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 123,76 \text{ kN} \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

Smyková výztuž dle konstrukčních zásad

$$\text{Návrh spon } \varnothing 10 \text{ mm; sl}=150 \text{ mm, st}=250 \text{ mm} \rightarrow A_{sw} = 20.94 \text{E-04 m}^2$$

14.4.1.1 Posouzení konstrukčních zásad

14.4.1.1.1 Maximální podélná osová vzdálenost sestav třmínků

$$s_l < s_{l,max} = \min\{0,75 * d; 400\} = \min\{0,75 * 356,5; 400\} = \min\{267; 400\} = 267 \text{ mm}$$

$$s_l = 150 \text{ mm} < s_{l,max} = 267 \text{ mm} \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.1.1.2 Maximální příčná osová vzdálenost větví třmínků

$$s_t < s_{t,max} = \min\{0,75 * d; 600\} = \min\{0,75 * 356,5; 600\} = \min\{267; 600\} = 267 \text{ mm}$$

$$s_t = 250 \text{ mm} < s_{t,max} = 267 \text{ mm} \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.1.1.3 Stupeň vyztužení

$$\rho_{w,max} = 0,5 * v_1 * \frac{f_{cd}}{250} = 0,5 * 0,48 * \frac{30}{250} = 288.00E-04$$

$$v_1 = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 * \left[1 - \frac{50}{250}\right] = 0.48$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 * \frac{\sqrt{50}}{500} = 1.13E-03$$

$$\rho_w = \frac{A'_{sw}}{b_w * s} = \frac{20,94 * 10^{-4}}{1 * 0,15} = 1.40E-02$$

$$\rho_{w,min} = 1.13E-03 < \rho_w = 1.40E-02 < \rho_{w,max} = 288.00E-04 \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.2 Posouzení v řezu 2

Návrhová posouvající síla $V_{Ed} = 246.47 \text{ kN}$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right] * b_w * d \geq \min V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1137,5}} = 1,42 \leq 2,0$$

$$d = 1137,5 \text{ mm}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02 \quad A_{sl} = 65.45 \text{E-04 m}^2 \quad \dots \text{ horní + dolní výztuž}$$

$$b_w = 1 \text{ m}$$

$$\rho_l = \frac{0,006545}{1,0 * 1,1375} = 0,0058 \leq 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,42^{\frac{3}{2}} * 50^{\frac{1}{2}} = 0,419 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 * 1,42 * (100 * 0,0058 * 50)^{\frac{1}{3}} \right] * 1000 * 1137,5 = 595,51 \text{ kN}$$

$$\min V_{Rd,c} = v_{min} * b_w * d = 0,419 * 10^3 * 1,0 * 1,1375 = 476,61 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 595,51 \text{ kN} \geq \min V_{Rd,c} = 476,61 \text{ kN} \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

$$V_{Rd,c} = 595,51 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 246,47 \text{ kN} \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

Smyková výztuž dle konstrukčních zásad

$$\text{Návrh spon } \varnothing 10 \text{ mm; sl}=300 \text{ mm, st} = 500 \text{ mm} \rightarrow A_{sw} = 5.24 \text{E-04 m}^2$$

14.4.2.1 Posouzení konstrukčních zásad

14.4.2.1.1 Maximální podélná osová vzdálenost sestav třmínků

$$s_l < s_{l,max} = \min\{0,75 * d; 400\} = \min\{0,75 * 1137,5; 400\} = \min \{ 853 ; 400 \} = 400 \text{ mm}$$

$$s_l = 300 \text{ mm} < s_{l,max} = 400 \text{ mm} \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.2.1.2 Maximální příčná osová vzdálenost větví třmínků

$$s_t < s_{t,max} = \min\{0,75 * d; 600\} = \min\{0,75 * 1137,5; 600\} = \min \{ 853 ; 600 \} = 600 \text{ mm}$$

$$s_t = 500 \text{ mm} < s_{t,max} = 600 \text{ mm} \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.2.1.3 Stupeň vyztužení

$$\rho_{w,max} = 0,5 * v_1 * \frac{f_{cd}}{250} = 0,5 * 0,48 * \frac{30}{250} = 288.00E-04$$

$$v_1 = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 * \left[1 - \frac{50}{250} \right] = 0.48$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 * \frac{\sqrt{50}}{500} = 1.13E-03$$

$$\rho_w = \frac{A'_{sw}}{b_w * s} = \frac{5,24 * 10^{-4}}{1 * 0,3} = 17.45E-04$$

$$\rho_{w,min} = 11.3E-04 < \rho_w = 17.450E-04 < \rho_{w,max} = 288.00E-04 \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.3 Posouzení v řezu 3

Návrhová posouvající síla $V_{Ed} = 387.89 \text{ kN}$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right] * b_w * d \geq \min V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1137,5}} = 1,42 \leq 2,0$$

$$d = 1137,5 \text{ mm}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02 \quad A_{sl} = 65.45E-04 \text{ m}^2 \quad \dots \text{ horní + dolní výztuž}$$

$$b_w = 1 \text{ m}$$

$$\rho_l = \frac{0,006545}{1,0 * 1,1375} = 0,0058 \leq 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,42^{\frac{3}{2}} * 50^{\frac{1}{2}} = 0,419 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 * 1,42 * (100 * 0,0058 * 50)^{\frac{1}{3}} \right] * 1000 * 1137,5 = 595.51 \text{ kN}$$

$$\min V_{Rd,c} = v_{min} * b_w * d = 0,419 * 10^3 * 1,0 * 1,1375 = 476.61 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 595,51 \text{ kN} \geq \min V_{Rd,c} = 476,61 \text{ kN} \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

$$V_{Rd,c} = 595,51 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 387,89 \text{ kN} \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

Smyková výztuž dle konstrukčních zásad

$$\text{Návrh spon } \varnothing 10 \text{ mm; sl}=300 \text{ mm, st} = 500 \text{ mm} \rightarrow A_{sw} = 5.24E-04 \text{ m}^2$$

14.4.3.1 Posouzení konstrukčních zásad

14.4.3.1.1 Maximální podélná osová vzdálenost sestav třmínků

$$s_l < s_{l,max} = \min\{0,75 * d; 400\} = \min\{0,75 * 1137,5; 400\} = \min \{ 853 ; 400 \} = 400 \text{ mm}$$

$$s_l = 300 \text{ mm} < s_{l,max} = 400 \text{ mm} \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.3.1.2 Maximální příčná osová vzdálenost větví třmínků

$$s_t < s_{t,max} = \min\{0,75 * d; 600\} = \min\{0,75 * 1137,5; 600\} = \min \{ 853 ; 600 \} = 600 \text{ mm}$$

$$s_t = 500 \text{ mm} < s_{t,max} = 600 \text{ mm} \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.4.3.1.3 Stupeň vyztužení

$$\rho_{w,max} = 0,5 * v_1 * \frac{f_{cd}}{250} = 0,5 * 0,48 * \frac{30}{250} = 288.00E-04$$

$$v_1 = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 * \left[1 - \frac{50}{250} \right] = 0.48$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 * \frac{\sqrt{50}}{500} = 1.13E-03$$

$$\rho_w = \frac{A'_{sw}}{b_w * s} = \frac{5,24 * 10^{-4}}{1 * 0,3} = 17.45E-04$$

$$\rho_{w,min} = 11.3E-04 < \rho_w = 17.450E-04 < \rho_{w,max} = 288.00E-04 \quad \dots \textbf{Vyhovuje}$$

14.5 Návrh výztuže proti vytržení kabelů

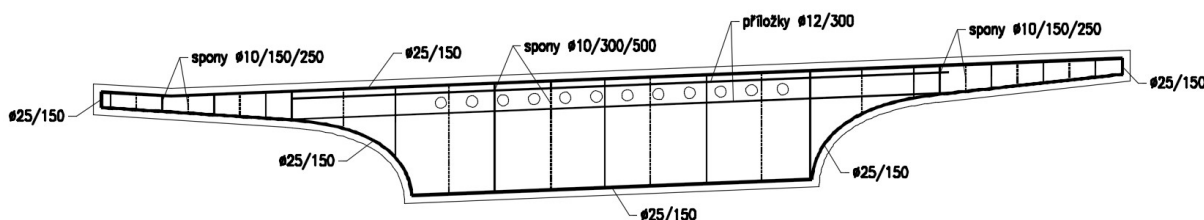
Poloměr zakřivení nosné konstrukce $R = 190,750 \text{ m}$

$$P_{Ed} = 45825,60 \text{ kN}$$

$$p_h = \frac{P_{Ed}}{R * 2} = \frac{45825,60}{190,750 * 2} = 120,12 \text{ kN/m}$$

$$A_{req} = \frac{p_h}{f_{yd}} = \frac{120,12}{434,8 * 10^3} = 2,76 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

Navrhuji dvoustřížné příločky Ø12 mm po 0,300 m čemuž odpovídá plocha $A_s = 6,79 * 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{m}$.



Obr. 88 - Schéma navržené výztuže

15 NÁVRH VRUBOVÉHO KLOUBU

15.1 Kombinace reakcí

Zatěžovací stav	Vz [kN]	Vx [kN]	Kombinační součinitelé pro SLS			
Vlastní tíha	5773.25	121.78	Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Ostatní stálé - sup	1749.01	37.18	TS	0.75	0.75	0.00
Sedání - max	7521.37	158.96	UDL	0.40	0.40	0.00
Předpětí	-1978.7	-237.37	Teplota	0.60	0.60	0.50
Teplota - horní teplejší	-117.8	32.69	Kombinační součinitelé pro ULS			
Teplota - dolní teplejší	95.59	5.75	Zatížení	γ		
TS - max	1185.44	72.93	Stálé zatížení	1.35		
UDL - max	970.63	75.91	Sedání	1.20		
Kombinace	6.10a	19012.42	312.23	Doprava	1.35	
	6.10b	17321.62	337.53	Teplota	1.50	

15.2 Posouzení na soustředěný tlak

$$A_{c0} = b_1 * d_1 = 1,80 * 0,25 = 0,45$$

$$A_{c1} = b_2 * d_2 = 1,80 * 0,80 = 1,44$$

$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,45 * 30 * 10^3 * \sqrt{\frac{1,44}{0,45}} = 24149.53 \text{ kN}$$

$$F_{Rdu,max} = 3 * f_{cd} * A_{c0} = 3 * 30 * 10^3 * 0,45 = 40500 \text{ kN}$$

$$F_{Rdu} = 24149.53 \text{ kN} > R_{Ed} = 19012.42 \text{ kN} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$F_{Rdu} = 24149.53 \text{ kN} < F_{Rdu,max} = 40500 \text{ kN} \dots \text{Vyhovuje}$$

15.3 Návrh výztuže vrubového kloubu

15.3.1 Vodorovné třmínky

$$H_{Ed} = \frac{1}{3} * R_{Ed} * \frac{h_s - d_1}{h_s} + H_{Ed,1} = \frac{1}{3} * 19012,42 * \frac{1 - 0,25}{1} + 337,53 = 5090.6 \text{ kN}$$

$$A_{sw,H,req} = \frac{H_{Ed}}{f_{ywd}} = \frac{5090,64}{434,8} = 1.171\text{E-}02 \text{ m}^2$$

Navržený profil vodorovných třmínků Ø	20 mm
Navržený počet vodorovných třmínků	20
Počet střižů n_l	40 -
Plocha prutu	3.142E-04 m ²
Celková plocha vodorovných třmínků $A_{sw,H}$	1.257E-02 m ²
Kontrola	Vyhovuje

15.3.2 Šikmá výztuž

$$\alpha = 45^\circ$$

$$N_{Ed} = \frac{R_{Ed}}{2 * \sin \alpha} = \frac{19012,42}{2 * \sin 45^\circ} = 13443,81 \text{ kN}$$

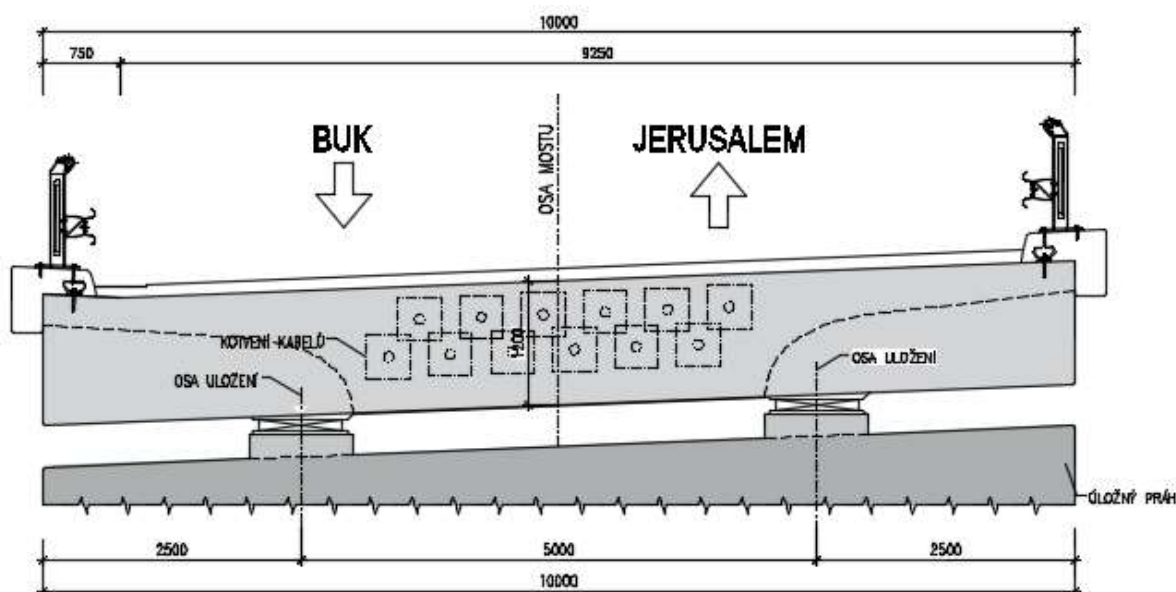
$$A_{sw,N,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{ywd}} = \frac{14789,04}{434,8} = 3,092 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Navržený profil šikmé výztuže Ø	32 mm
Počet stříhů n_l	40 -
Plocha prutu	8,042E-04 m ²
Celková plocha lemovací výztuže $A_{sw,N}$	3,217E-02 m ²
Kontrola	Vyhovuje

16 KONCOVÝ PŘÍČNÍK

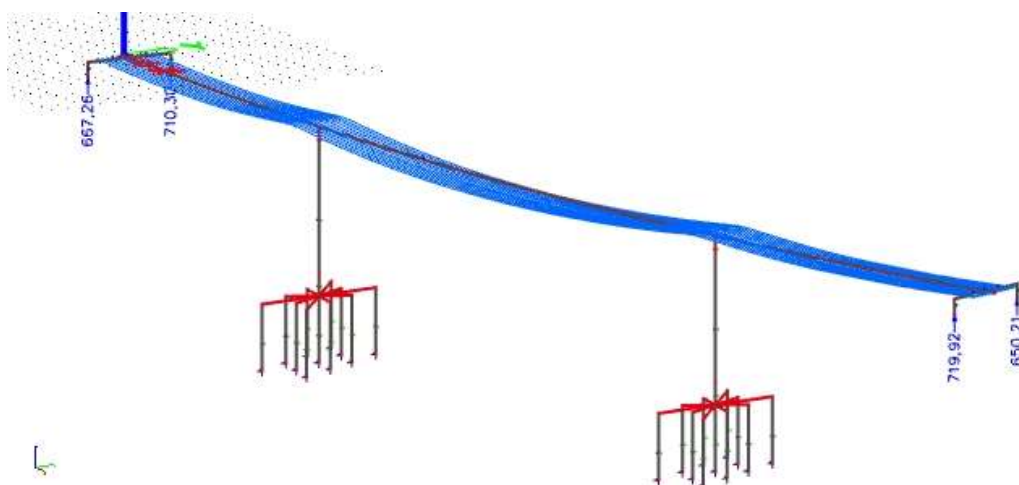
Pro řešení koncového příčnicku bylo využito metody S&T neboli příhradové analogie, kdy je v prvku utvořena soustava vzpěr a táhel a tyto jsou následně dimenzovány. Celkem byly vytvořeny 3 modely. Jeden pro návrh závěsu v příčnicku, druhý pro zjištění vnitřních sil na příhradovém modelu a třetí pro vyřešení kroucení.

Bylo uvažováno s reakcemi jak na začátku, tak na konci mostu a prvky S&T modelu byly navrženy na maximální osové síly ať už z modelu 1 či 2.

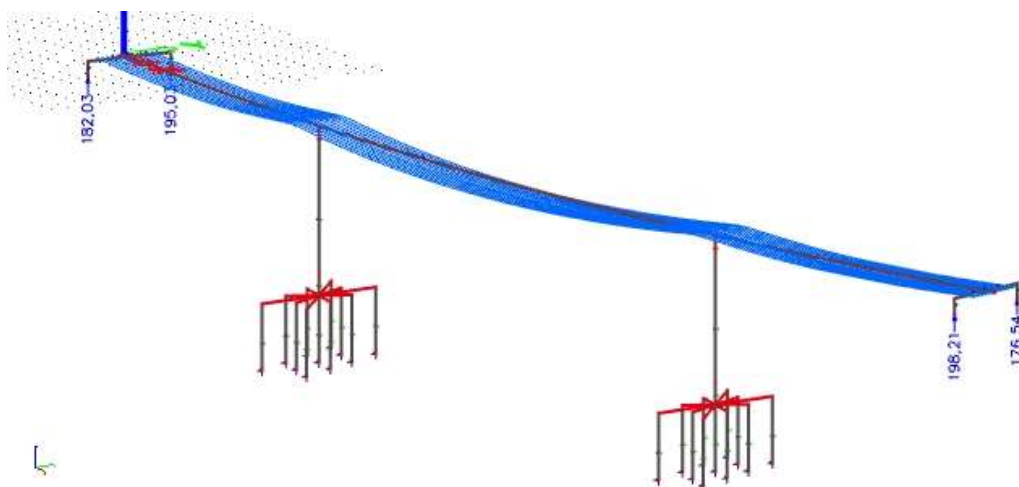


Obr. 89 - Koncový příčník

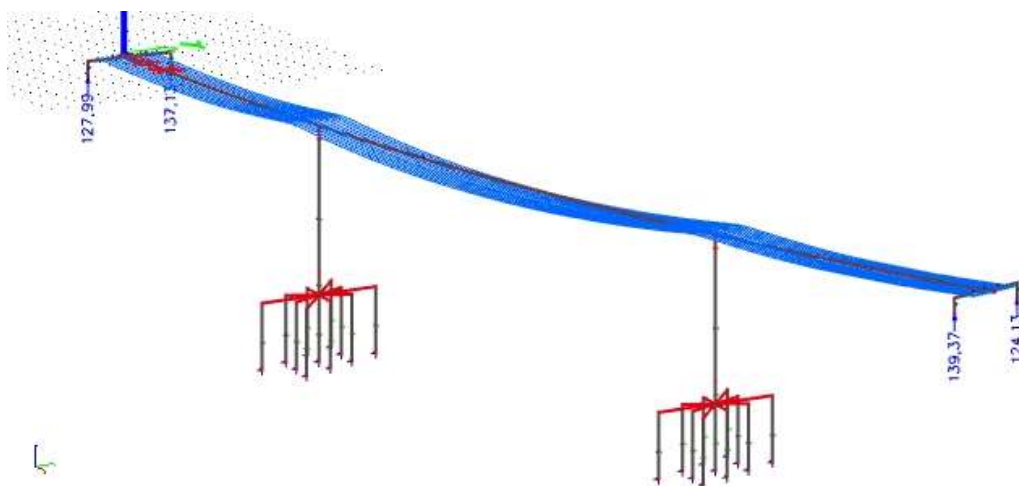
16.1 Získané reakce



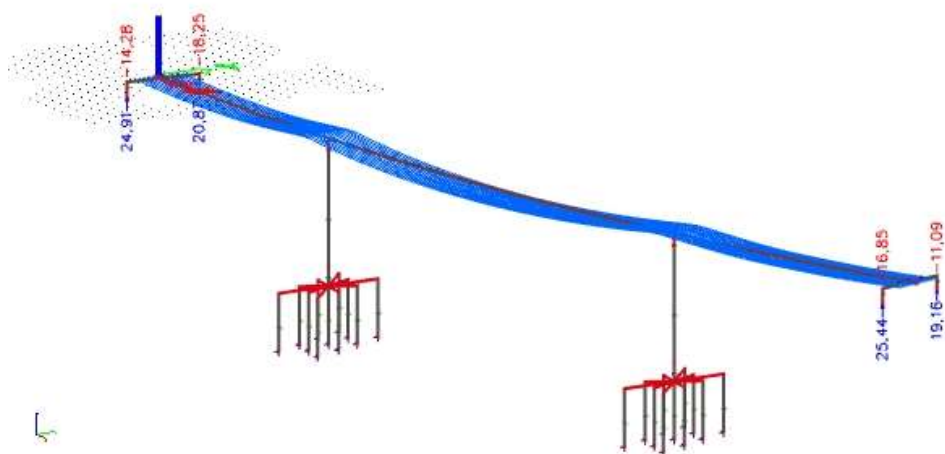
Obr. 90 - Vlastní tíha R_z



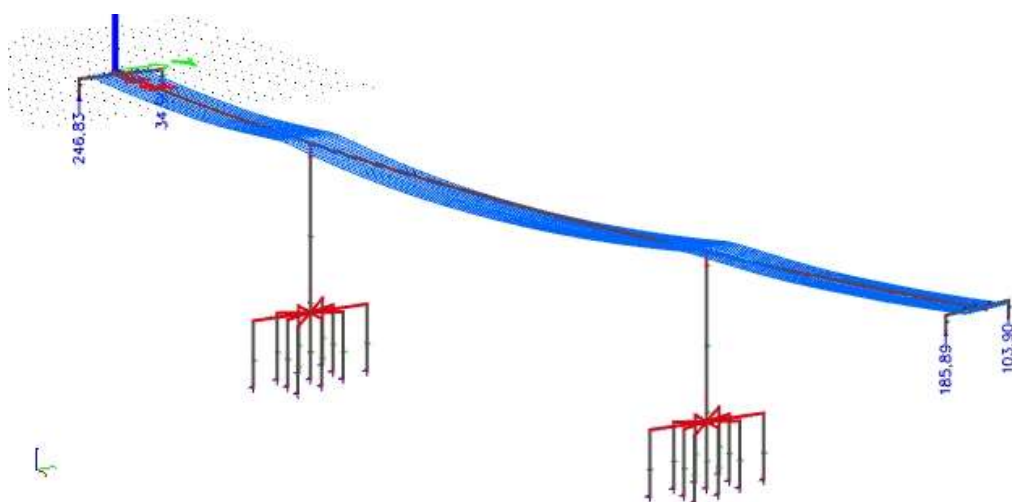
Obr. 91 - Ostatní stálé - supremum R_z



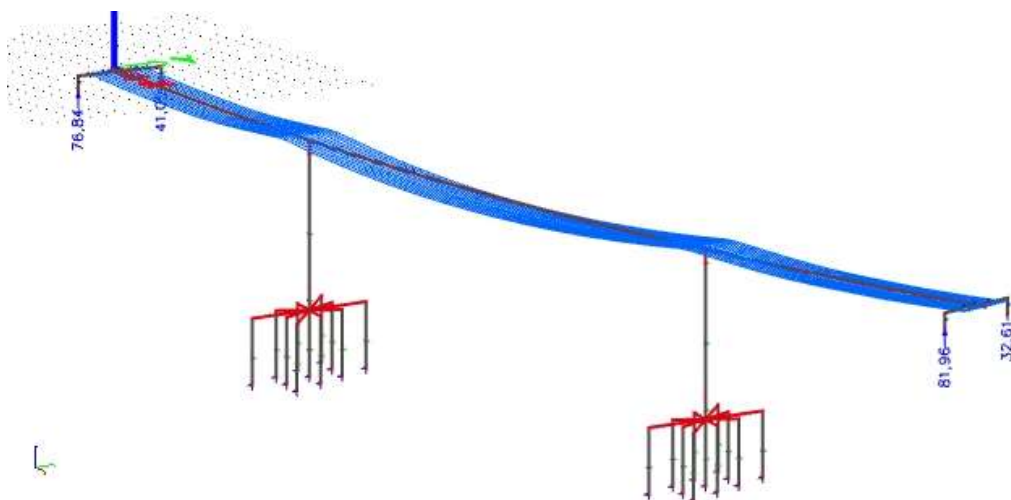
Obr. 92 - Ostatní stálé - infimum R_z



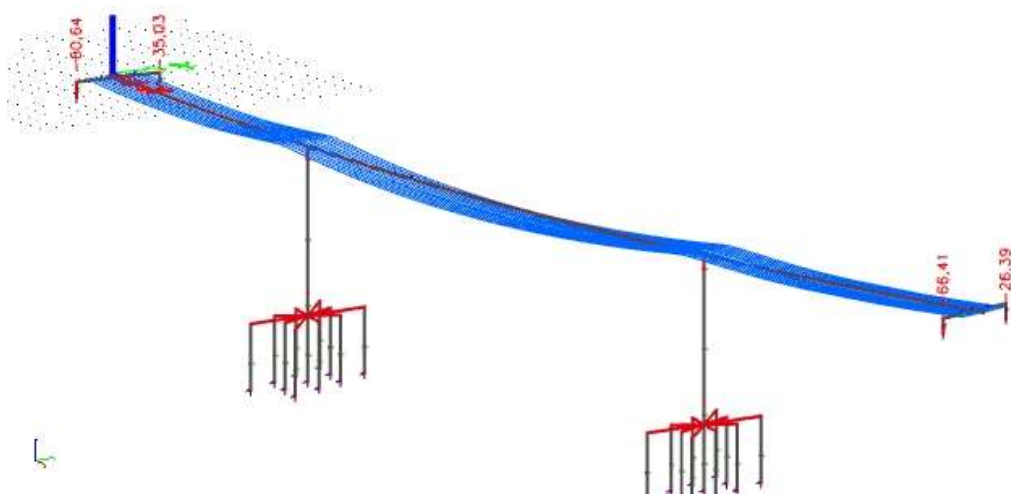
Obr. 93 - Sedání obálka R_z



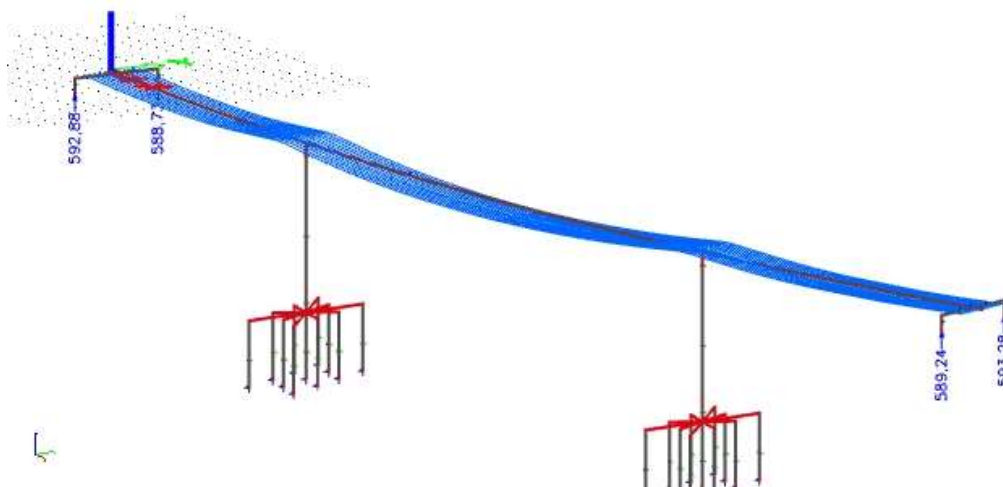
Obr. 94 - Předpětí R_z



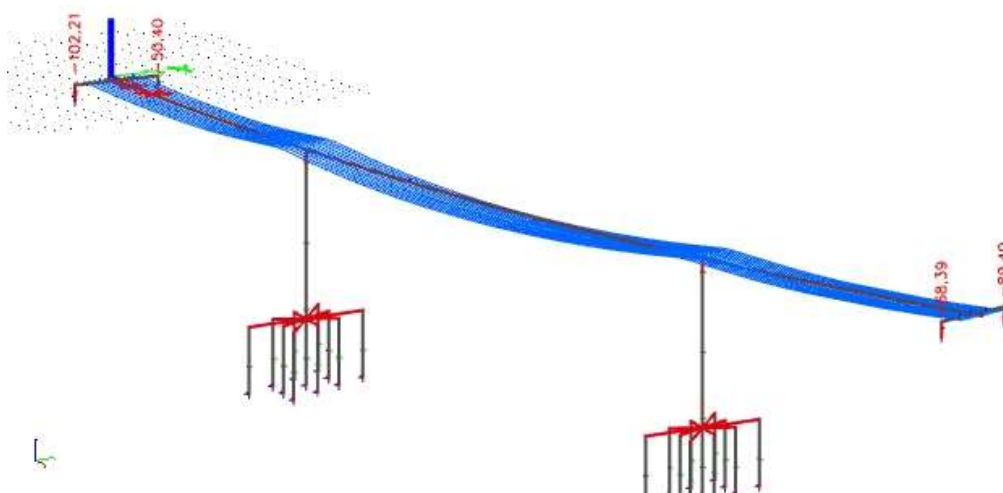
Obr. 95 - Teplota - horní teplejší Rz



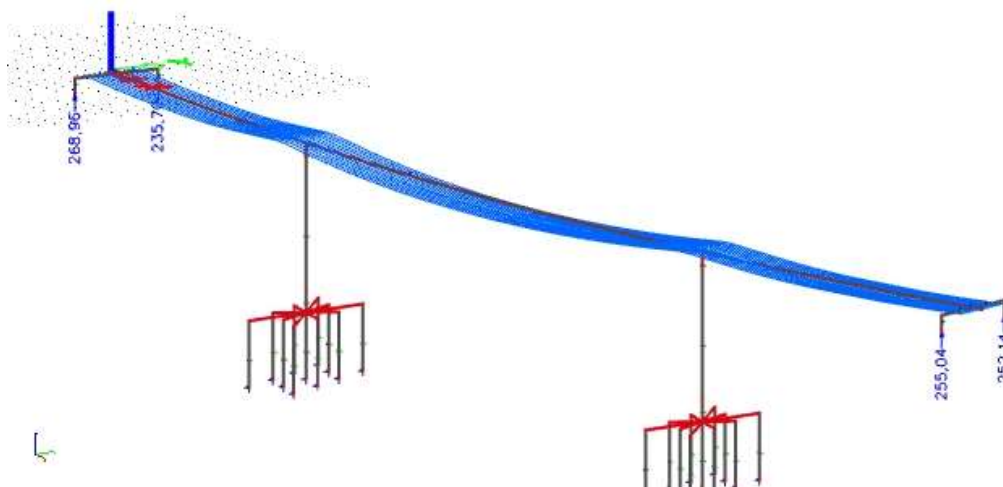
Obr. 96 - Teplota - dolní teplejší Rz



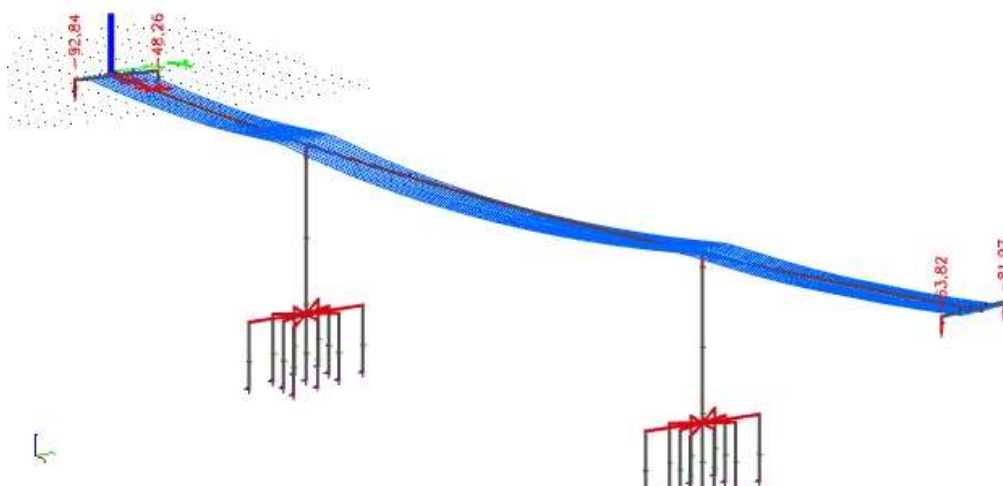
Obr. 97 - Tandem systém max R_z



Obr. 98 - Tandem systém min R_z



Obr. 99 - UDL max R_z



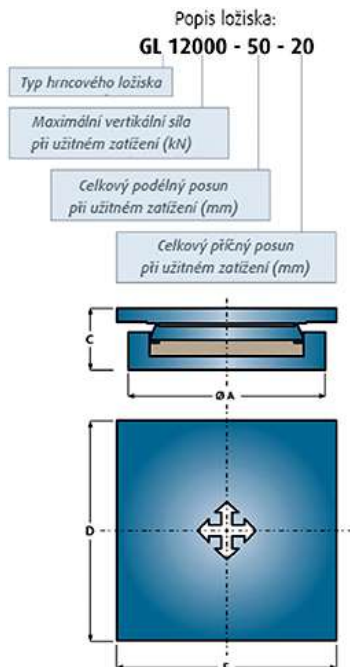
Obr. 100 - UDL min R_z

16.2 Kombinace reakcí

		Začátek mostu		Konec mostu	
		a-R _a [kN]	b-R _b [kN]	c-R _c [kN]	d-R _d [kN]
Stálá zatížení	Zatěžovací stav				
	Vlastní tíha	710.30	667.26	650.21	719.92
	Ostatní stálé - sup	195.03	182.03	176.54	198.21
	Sedání max.	20.87	24.91	19.16	25.44
	Sedání min.	-18.25	-14.28	-11.09	-16.85
Proměnná zatížení	Předpětí model 1	34.90	246.83	103.9	185.89
	Teplota - horní teplejší	41.05	76.84	32.61	81.96
	Teplota - dolní teplejší	-35.03	-60.64	-26.39	-66.41
	TS	588.73	592.88	593.28	589.24
	UDL	235.70	268.96	252.14	255.04
Komb	6.10a	1973.98	2114.22	1956.11	2130.45
	6.10b	2180.26	2360.19	2193.15	2349.98

16.3 Navržená ložiska

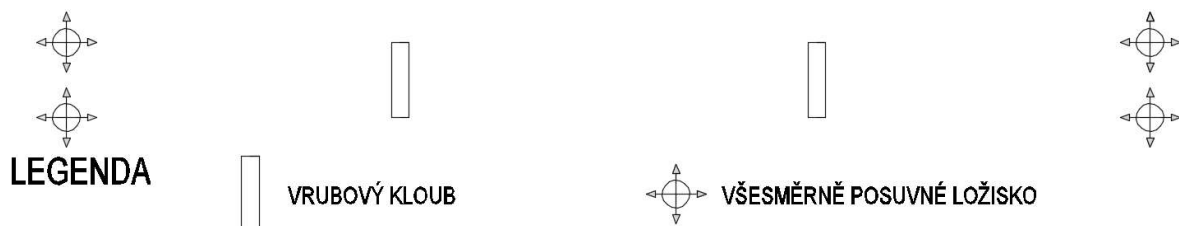
Jsou navržena hrncová všesměrně posuvná ložiska. Bližší specifikace viz níže.



Popis	Ø A (mm)	D (mm)	E (mm)	C (mm)	Hmotnost (kg)
GL 500 - 50 - 20	170	245	225	90	25
GL 1000 - 50 - 20	225	290	175	90	35
GL 1500 - 50 - 20	270	330	315	94	45
GL 2000 - 50 - 20	310	370	355	98	60
GL 2500 - 50 - 20	345	410	395	99	75
GL 3000 - 50 - 20	375	455	430	108	95
GL 3500 - 50 - 20	405	460	465	108	110
GL 4000 - 50 - 20	435	500	495	108	125
GL 4500 - 50 - 20	465	525	530	118	155
GL 5000 - 50 - 20	495	555	550	112	175
GL 6000 - 50 - 20	545	610	605	122	215
GL 7000 - 50 - 20	590	655	655	142	290
GL 8000 - 50 - 20	635	695	695	157	275
GL 9000 - 50 - 20	680	745	740	156	425
GL 10000 - 50 - 20	720	785	785	170	520
GL 12000 - 50 - 20	795	855	860	169	595
GL 14000 - 50 - 20	860	920	920	208	925
GL 16000 - 50 - 20	925	985	985	232	1185
GL 18000 - 50 - 20	985	1045	1045	244	1405
GL 20000 - 50 - 20	1040	1100	1100	250	1610
GL 24000 - 50 - 20	1145	1205	1205	274	2135
GL 28000 - 50 - 20	1240	1300	1300	293	2685
GL 30000 - 50 - 20	1285	1345	1345	317	3095
GL 35000 - 50 - 20	1395	1455	1455	327	3765
GL 40000 - 50 - 20	1495	1555	1555	356	4715
GL 45000 - 50 - 20	1590	1650	1650	365	5455
GL 50000 - 50 - 20	1680	1740	1740	389	6490

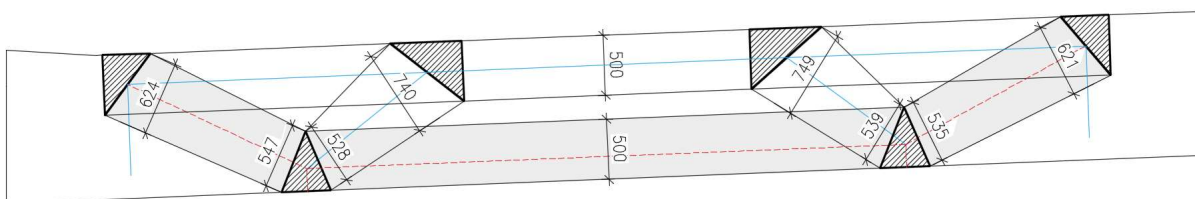
Hodnoty v tabulce jsou uvedeny jako příklad

Obr. 101 - Specifikace ložisek



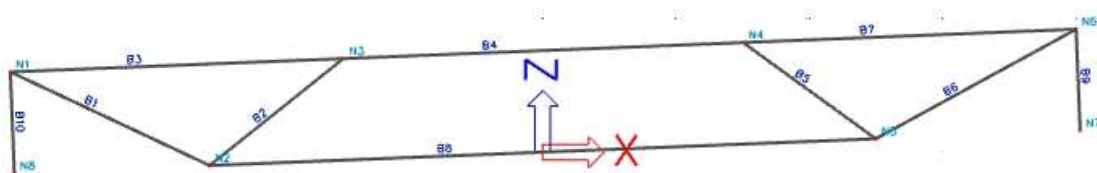
Obr. 102 - Schéma uložení mostu

16.4 Návrh příčniku na maximální reakce

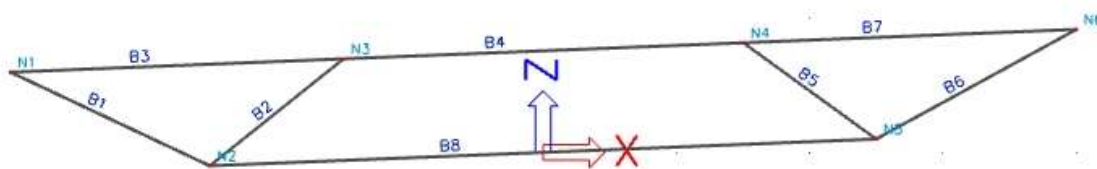


Obr. 103 - Navržený S&T model

Do výpočtového programu byly zadány dva modely. Jeden s táhlem druhý bez. Tyto byly zatíženy reakcemi jak ze začátku, tak z konce mostu, prvky modelu budou navrženy vždy na maximální vnitřní sílu.

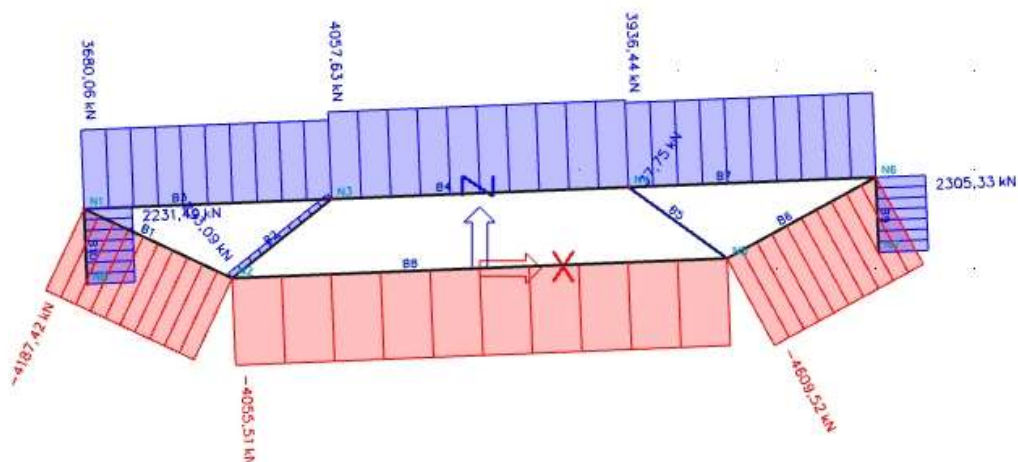


Obr. 104 - Model 1

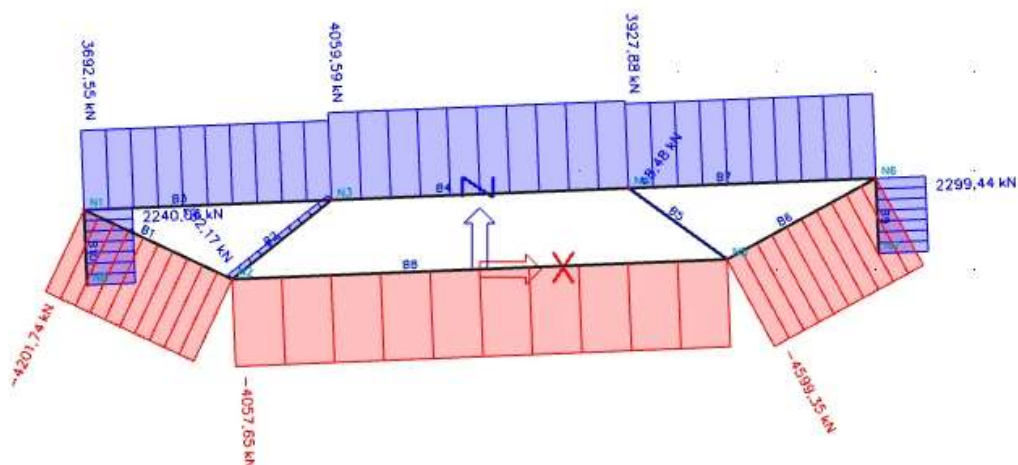


Obr. 105 - Model 2

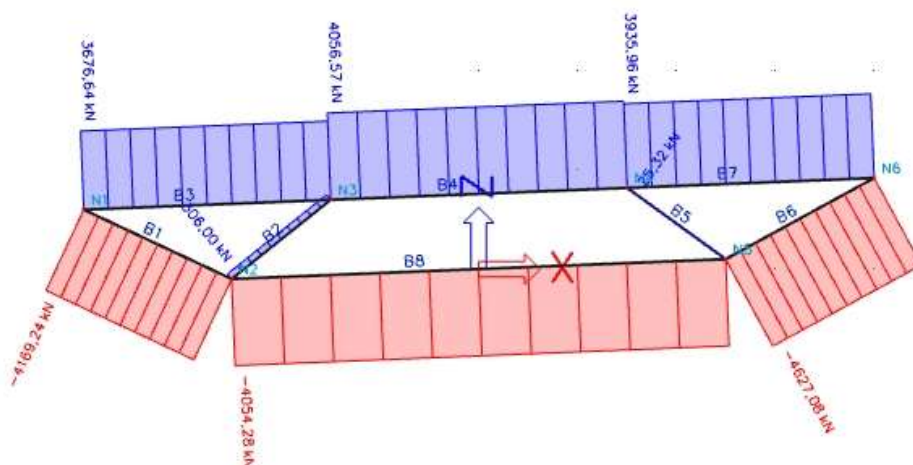
16.4.1 Vnitřní síly na zadaných modelech



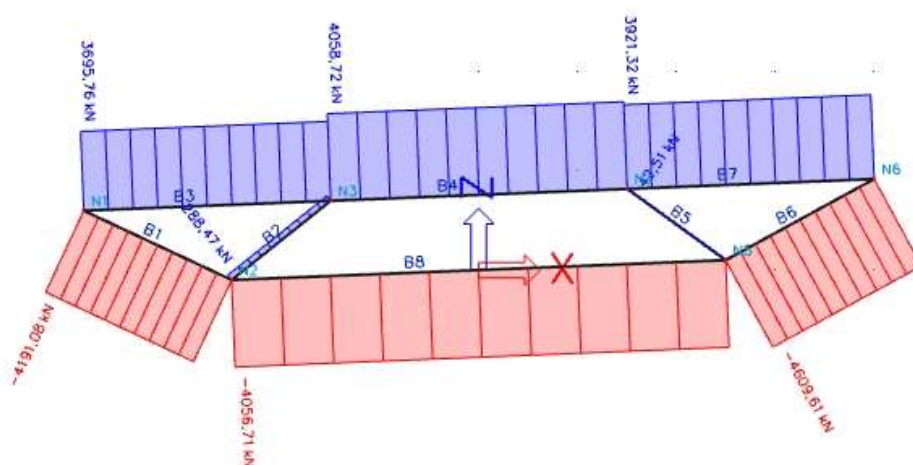
Obr. 106 - Model 1 - začátek mostu



Obr. 107 - Model 1 - konec mostu



Obr. 108 - Model 2 - začátek mostu



Obr. 109 - Model 2 - konec mostu

16.4.2 Rekapitulace vnitřních sil

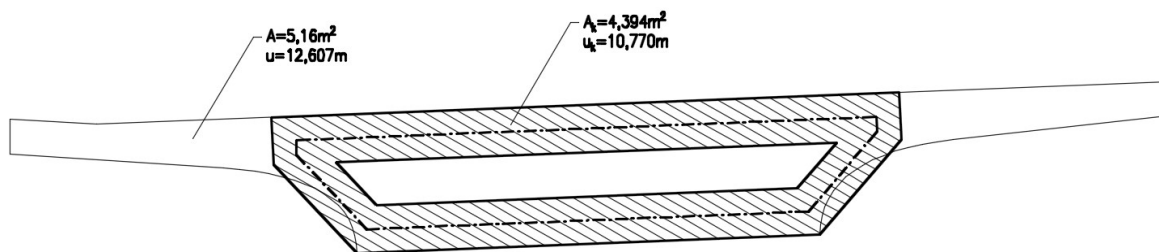
Prut	Osová síla model 1	Osová síla model 2	Maximum	Typ prvku
B1	-4201.74	-4191.08	-4201.74	Vzpěra
B2	293.09	306.00	306.00	Táhlo
B3	3692.55	3695.76	3695.76	Táhlo
B4	4059.59	4058.72	4059.59	Táhlo
B5	48.48	42.51	42.51	Táhlo
B6	-4609.52	-4627.08	-4627.08	Vzpěra
B7	3936.44	3935.96	3936.44	Táhlo
B8	-4057.65	-4056.71	-4057.65	Vzpěra
B9	2305.33	-	2305.33	Táhlo (závěs)
B10	2240.06	-	2240.06	Táhlo (závěs)

16.4.3 Dimenzování závěsu

U závěsu je nutno uvážit interakci s kroucením. Bude tedy stanoven maximální kroutící moment, tento bude převeden na posouvající sílu a ta následně přičtena k síle v závěsu.

16.4.3.1 Převedení kroutícího momentu na posouvající sílu

Kroutící moment			
Zatížení	Vlevo	Vpravo	Výsledný M_x
TS	1011.16	1419.19	1419.19
UDL	46.59	1371.67	1418.26
Kombinace		6.10a	2202.79
		6.10b	3830.56



Obr. 110 - Průřez účinný v kroucení

A_k	4.394 m ²
l_i	0.88 m

$$N_{Ed,T} = \frac{T_{Ed}}{2 * A_k} * l_i = \frac{3830,56}{2 * 4,394} * 0,88 = 383.58 \text{ kN}$$

$$\text{Celková síla v závěsu} \quad N_{Ed} = N_{Ed}^{B9} + N_{Ed,T} = 2305.33 + 383.58 = \mathbf{2688.91 \text{ kN}}$$

16.4.3.2 Návrh betonářské výztuže

Navržený profil výztuže: $\varnothing 20 \text{ mm}$

Plocha prutu A_{s1} $3.14E-04 \text{ m}^2$

Potřebný počet prutů

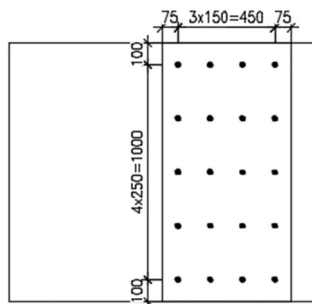
$$n_{st,req} = \frac{N_{Ed}}{A_{s1} * f_{yd}} = \frac{2688,91}{3,14 * 10^{-4} * 434,78 * 10^3} = 19.69 \text{ ks}$$

Návrh 20 ks $\varnothing 20$

$$A_{st,prov} = 20 * 3,14 * 10^{-4} = 62,83 \text{E-04 m}^2$$

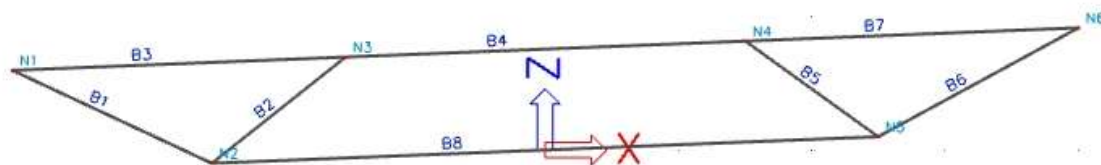
$$N_{st,Rd} = A_{st,prov} * f_{yd} = 62,83 * 10^{-4} * 434,78 * 10^3 = 2731,80 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{st} = 2688,91 \text{ kN} < N_{st,Rd} = 2731,80 \text{ kN} \quad \dots \text{Vyhovuje}$$



Obr. 111 – Půdorysné schéma
rozmístění výztuže závěsu

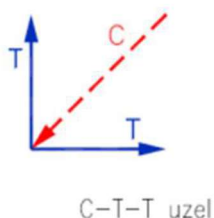
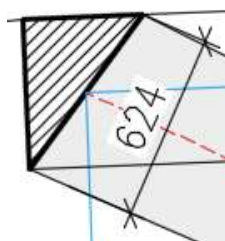
16.4.4 Dimenzování prvků S&T modelu



Obr. 112 - Popis prvků modelu 2

16.4.4.1 Uzlové oblasti

16.4.4.1.1 Uzel N1



Tloušťka uzlu b =	0.610 m
Šířka uzlu w =	0.624 m
Výška uzlu h =	0.500 m
Délka uzlu l =	0.400 m
Pevnost betonu f_{cd} =	30.00 MPa
součinitel k_1 =	0.75 -

Síla působící v šikmé vzpěře $N_{Ed}^{B1} = -4201.74$ kN

Síla působící ve vodorovném táhle $N_{Ed}^{B3} = 3695.76$ kN

Síla působící v závěsu $N_{Ed}^{B10} = 2688.91$ kN

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,75 * 0,80 * 30 = 18.00 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

$$\sigma_c^{B1} = \frac{N_{Ed}^{B1}}{b * w} = \frac{4201,74 * 10^{-3}}{0,61 * 0,624} = 11.04 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

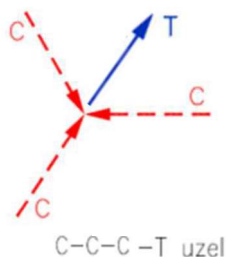
$$\sigma_c^{B3} = \frac{N_{Ed}^{B3}}{b * h} = \frac{3695,76 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 12.12 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

$$\sigma_c^{B10} = \frac{N_{Ed}^{B10}}{b * l} = \frac{2688,91 * 10^{-3}}{0,61 * 0,400} = 11,02 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18,00 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.4.4.1.2 Uzel N2



Tloušťka uzlu b =	0.610 m
Šířka uzlu w1 =	0.547 m
Šířka uzlu w2 =	0.528 m
Výška uzlu h =	0.500 m
Délka uzlu l =	0.415 m
Pevnost betonu f_{cd} =	30.00 MPa
součinitel k_1 =	0.85 -

Síla působící v šikmé vzpěře $N_{Ed}^{B1} = -4201,74 \text{ kN}$

Síla působící v šikmém táhle $N_{Ed}^{B2} = 306,00 \text{ kN}$

Síla působící ve vodorovné vzpěře $N_{Ed}^{B8} = -4057,65 \text{ kN}$

Reakce v ložisku $R_{Ed} = 2193,15 \text{ kN}$

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,85 * 0,80 * 30 = 20,40 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0,8$$

$$\sigma_c^{B1} = \frac{N_{Ed}^{B1}}{b * w_1} = \frac{4201,74 * 10^{-3}}{0,61 * 0,547} = 12,59 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

$$\sigma_c^{B2} = \frac{N_{Ed}^{B2}}{b * w_2} = \frac{306,00 * 10^{-3}}{0,61 * 0,528} = 0,95 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

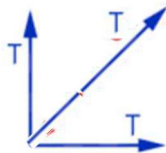
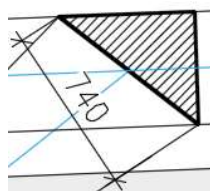
$$\sigma_c^{B8} = \frac{N_{Ed}^{B8}}{b * h} = \frac{4057,65 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 13,30 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

$$\sigma_c^R = \frac{R_{Ed}}{b * l} = \frac{2193,15 * 10^{-3}}{0,61 * 0,415} = 8,66 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.4.4.1.3 Uzel N3



T-T-T uzel

Tloušťka uzlu b =	0.610 m
Šířka uzlu w =	0.740 m
Výška uzlu h =	0.500 m
Délka uzlu l =	0.600 m
Pevnost betonu f_{cd} =	30.00 MPa
součinitel k_1 =	0.75 -

Síla působící v šikmém táhle $N_{Ed}^{B2} = 306.00 \text{ kN}$

Síla působící ve vodorovném táhle $N_{Ed}^{B3} = 3695.76 \text{ kN}$

Síla působící ve vodorovném táhle $N_{Ed}^{B4} = 4059.59 \text{ kN}$

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,75 * 0,80 * 30 = 18.00 \text{ MPa}$$

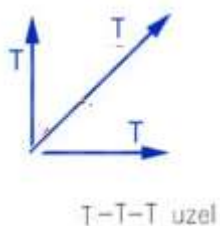
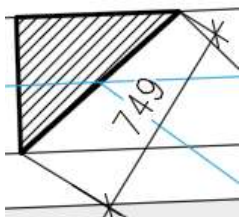
$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

$$\sigma_c^{B2} = \frac{N_{Ed}^{B2}}{b * w} = \frac{306,00 * 10^{-3}}{0,61 * 0,740} = 0.68 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B3} = \frac{N_{Ed}^{B3}}{b * h} = \frac{3695,76 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 12.12 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B4} = \frac{N_{Ed}^{B4}}{b * l} = \frac{4059,59 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 13.13 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

16.4.4.1.4 Uzel N4



Tloušťka uzlu b =	0.610 m
Šířka uzlu w =	0.749 m
Výška uzlu h =	0.500 m
Délka uzlu l =	0.600 m
Pevnost betonu f_{cd} =	30.00 MPa
součinitel k_1 =	0.75 -

Síla působící ve vodorovném táhle $N_{Ed}^{B4} = 4059.59 \text{ kN}$

Síla působící v šikmém táhle $N_{Ed}^{B5} = 42.51 \text{ kN}$

Síla působící ve vodorovném táhle $N_{Ed}^{B7} = 3936.44 \text{ kN}$

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,75 * 0,80 * 30 = 18.00 \text{ MPa}$$

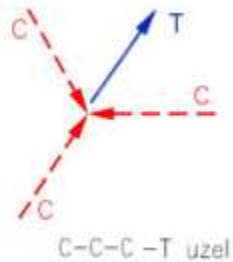
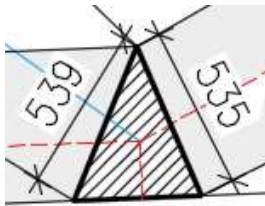
$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

$$\sigma_c^{B4} = \frac{N_{Ed}^{B4}}{b * h} = \frac{4059,59 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 13.31 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B5} = \frac{N_{Ed}^{B5}}{b * w} = \frac{42,51 * 10^{-3}}{0,61 * 0,749} = 0.09 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B7} = \frac{N_{Ed}^{B7}}{b * h} = \frac{3936,44 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 12.91 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

16.4.4.1.5 Uzel N5



Tloušťka uzlu b =	0,610 m
Šířka uzlu w1 =	0,539 m
Šířka uzlu w2 =	0,535 m
Výška uzlu h =	0,500 m
Délka uzlu l =	0,415 m
Pevnost betonu f_{cd} =	30,00 MPa
součinitel k_1 =	0,85 -

Síla působící v šikmém táhle $N_{Ed}^{B5} = 42,51 \text{ kN}$

Síla působící v šikmé vzpěře $N_{Ed}^{B6} = -4627,08 \text{ kN}$

Síla působící ve vodorovné vzpěře $N_{Ed}^{B8} = -4057,65 \text{ kN}$

Reakce v ložisku $R_{Ed} = 2360,19 \text{ kN}$

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,85 * 0,80 * 30 = 20,40 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0,8$$

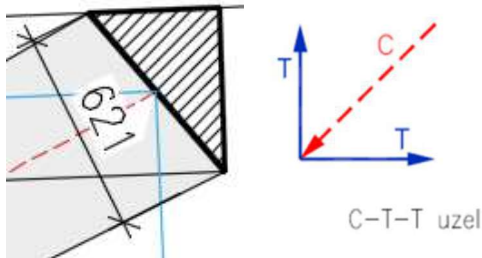
$$\sigma_c^{B5} = \frac{N_{Ed}^{B5}}{b * w_1} = \frac{42,51 * 10^{-3}}{0,61 * 0,539} = 0,13 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B6} = \frac{N_{Ed}^{B6}}{b * w_2} = \frac{4627,08 * 10^{-3}}{0,61 * 0,535} = 14,18 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B8} = \frac{N_{Ed}^{B8}}{b * h} = \frac{4057,65 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 13,30 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^R = \frac{R_{Ed}}{b * l} = \frac{2360,19 * 10^{-3}}{0,61 * 0,415} = 9,32 \text{ MPa} < f_{c,max} = 20,40 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

16.4.4.1.6 Uzel N6



Tloušťka uzlu b =	0.610 m
Šířka uzlu w =	0.621 m
Výška uzlu h =	0.500 m
Délka uzlu l =	0.400 m
Pevnost betonu f_{cd} =	30.00 MPa
součinitel k_1 =	0.75 -

Síla působící v šikmé vzpěře $N_{Ed}^{B6} = -4627.08$ kN

Síla působící ve vodorovném táhle $N_{Ed}^{B7} = 3936.44$ kN

Síla působící v závěsu $N_{Ed}^{B9} = 2305.33$ kN

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,75 * 0,80 * 30 = 18.00 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

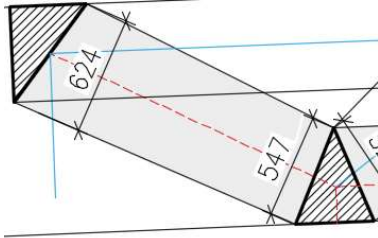
$$\sigma_c^{B6} = \frac{N_{Ed}^{B6}}{b * w} = \frac{4627,08 * 10^{-3}}{0,61 * 0,621} = 12.21 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B7} = \frac{N_{Ed}^{B7}}{b * h} = \frac{3936,44 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 12.91 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_c^{B9} = \frac{N_{Ed}^{B9}}{b * l} = \frac{2305,33 * 10^{-3}}{0,61 * 0,400} = 9.45 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa} \dots \text{Vyhovuje}$$

16.4.4.2 Posouzení vzpěr

16.4.4.2.1 Vzpěra v prvku B1



Tloušťka uzlu $b = 0.610$ m
Šířka vzpěry $w = 0.547$ m
Pevnost betonu $f_{cd} = 30.00$ MPa
součinitel $k_1 = 0.60$ -
Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,60 * 0,80 * 30 = 14.40 \text{ MPa}$$

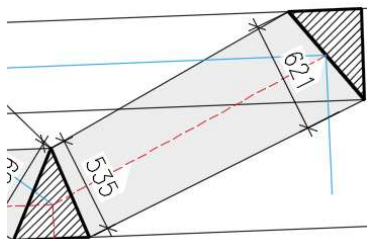
$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

Síla působící ve vzpěře $N_{Ed} = -4201.74$ kN

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b * w} = \frac{-4201,74 * 10^{-3}}{0,61 * 0,547} = 12.59 \text{ MPa} < f_{c,max} = 14.40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.4.4.2.2 Vzpěra v prvku B6



Tloušťka uzlu $b = 0.610$ m
Šířka vzpěry $w = 0.535$ m
Pevnost betonu $f_{cd} = 30.00$ MPa
součinitel $k_1 = 0.60$ -
Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,60 * 0,80 * 30 = 14.40 \text{ MPa}$$

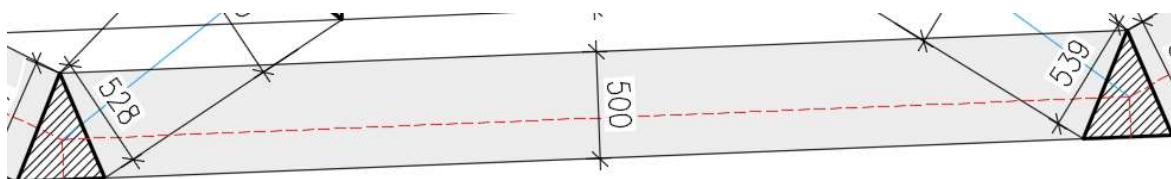
$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

Síla působící ve vzpěře $N_{Ed} = -4627.08$ kN

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b * w} = \frac{4627,08 * 10^{-3}}{0,61 * 0,535} = 14.18 \text{ MPa} < f_{c,max} = 14.40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.4.4.2.3 Vzpěra v prvku B8



Tloušťka uzlu $b = 0.610$ m
 Šířka vzpěry $w = 0.500$ m
 Pevnost betonu $f_{cd} = 30.00$ MPa
 součinitel $k_1 = 0.75$ -

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,75 * 0,80 * 30 = 18.00 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

Síla působící ve vzpěře $N_{Ed} = -4057.65$ kN

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b * w} = \frac{4057,65 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 13.30 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.4.4.3 Dimenzování táhel

Bude stanovena plocha výztuže nutná pro přenos tahové síly v táhle prvků B2, B4 a B5 a tato bude následně přičtena k ploše výztuže nutné pro přenos kroucení.

Síla působící v táhle B2 = 306.00 kN

Síla působící v táhle B4 = 4059.59 kN

Síla působící v táhle B5 = 42.51 kN

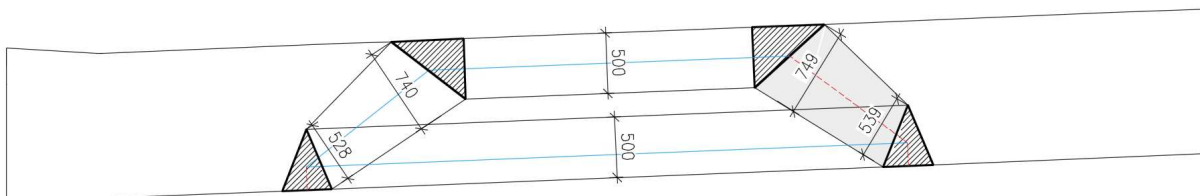
Návrhová mez kluzu f_{yd} = 434.78 MPa

$$A_{s,req}^{B2} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{306,00}{434,78 \cdot 10^3} = 7.04E-04 \quad \text{m}^2$$

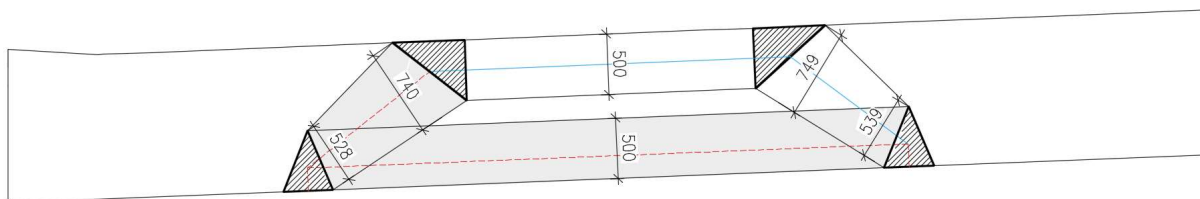
$$A_{s,req}^{B4} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{4059,59}{434,78 \cdot 10^3} = 93.37E-04 \quad \text{m}^2$$

$$A_{s,req}^{B5} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{42,51}{434,78 \cdot 10^3} = 97.77E-06 \quad \text{m}^2$$

16.5 Návrh příčnicku na účinky kroucení



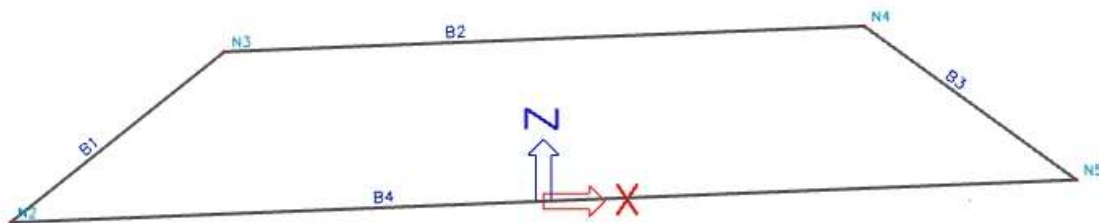
Obr. 113 - Navržený S&T model na kroucení (3)



Obr. 114 - Navržený S&T model na kroucení (4)

Jsou uvažovány dva S&T modely pro přenos kroucení – modely č. 3 a 4. Do výpočtového programu je zadán pouze jeden model vzhledem k tomu, že jejich geometrie je totožná, pouze směr působení smykového toku od kroucení je uvažován jednou po směru hodinových ručiček podruhé proti.

Výztuž v táhlech bude navržena vždy na maximální sílu v prvku.

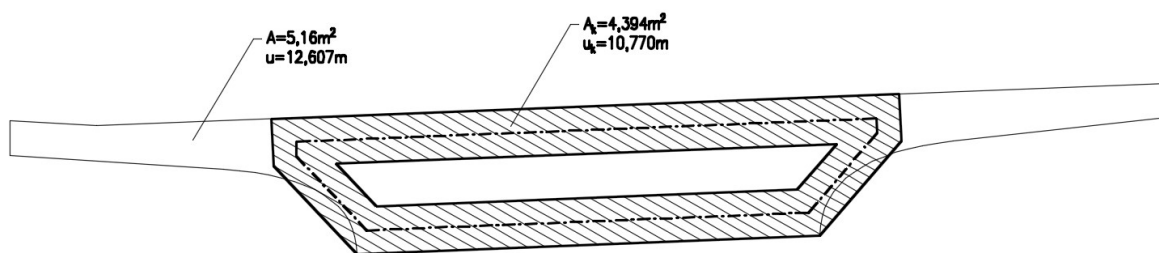


Obr. 115 - Model pro vyšetření kroucení na příčnici

16.5.1 Uvažované zatížení

Krouťící moment 6142.16 kNm

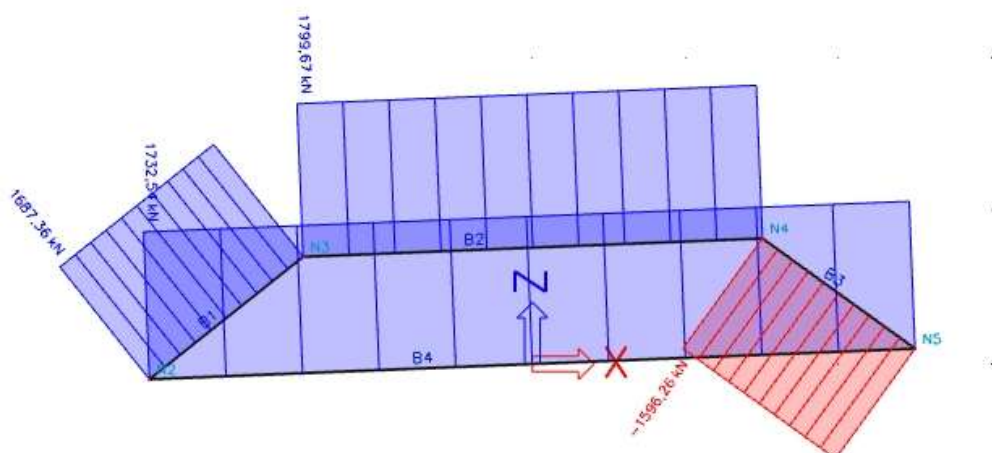
A_k	4.394 m ²
I_i	5.023 m



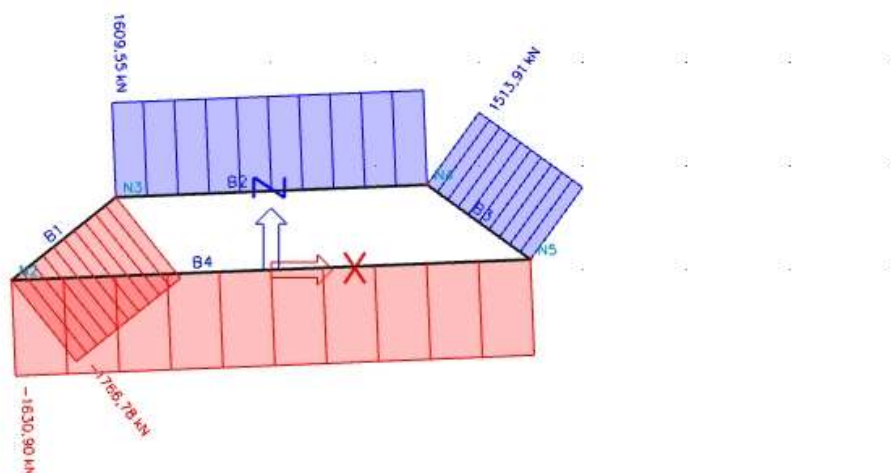
Obr. 116 - Průřez účinný v kroucení

$$V_{Ed,T} = \frac{T_{Ed}}{2 * A_k} * l_i = \frac{6142,16}{2 * 4,394} * 5,023 = 3510.71 \text{ kN}$$

16.5.2 Vnitřní síly na zadaném modelu



Obr. 117 - Smykový tok po směru hodinových ručiček



Obr. 118 - Smykový tok proti směru hodinových ručiček

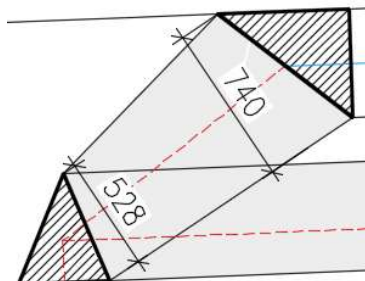
16.5.3 Rekapitulace vnitřních sil

Prut	Osová síla model 3		Osová síla model 4	
	Síla [kN]	Typ	Síla [kN]	Typ
B1	1687.36	Tah	-1766.78	Tlak
B2	1799.67	Tah	1609.55	Tah
B3	-1596.26	Tlak	1513.91	Tah
B4	1732.54	Tah	-1630.9	Tlak

16.5.4 Dimenzování prvků S&T modelu

16.5.4.1 Posouzení vzpěr

16.5.4.1.1 Vzpěra v prvku B1



Tloušťka uzlu $b = 0.610 \text{ m}$
 Šířka vzpěry $w = 0.528 \text{ m}$
 Pevnost betonu $f_{cd} = 30.00 \text{ MPa}$
 součinitel $k_1 = 0.60$ -
 Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,60 * 0,80 * 30 = 14.40 \text{ MPa}$$

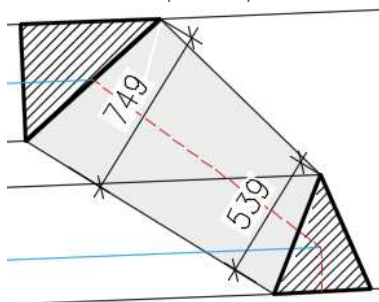
$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

Síla působící ve vzpěře $N_{Ed} = -1766.78 \text{ kN}$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b * w} = \frac{1766,78 * 10^{-3}}{0,61 * 0,528} = 5.49 \text{ MPa} < f_{c,max} = 14.40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.5.4.1.2 Vzpěra v prvku B3



Tloušťka uzlu $b = 0.610 \text{ m}$
 Šířka vzpěry $w = 0.539 \text{ m}$
 Pevnost betonu $f_{cd} = 30.00 \text{ MPa}$
 součinitel $k_1 = 0.60$ -
 Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,60 * 0,80 * 30 = 14.40 \text{ MPa}$$

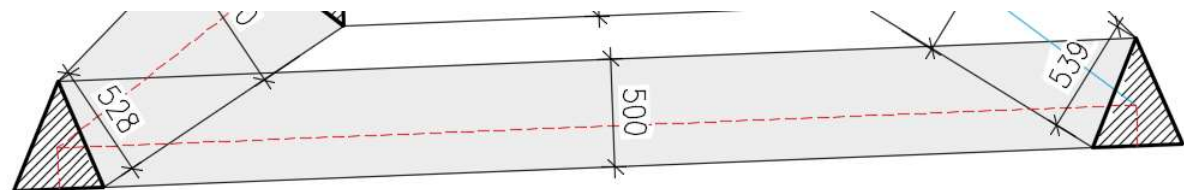
$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

Síla působící ve vzpěře $N_{Ed} = -1596.26 \text{ kN}$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b * w} = \frac{1596,26 * 10^{-3}}{0,61 * 0,539} = 4.85 \text{ MPa} < f_{c,max} = 14.40 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.5.4.1.3 Vzpěra v prvku B4



Tloušťka uzlu $b = 0.610$ m
Šířka vzpěry $w = 0.500$ m
Pevnost betonu $f_{cd} = 30.00$ MPa
součinitel $k_1 = 0.75$ -

Maximální napětí

$$f_{c,max} = k_1 * v' * f_{cd} = 0,75 * 0,80 * 30 = 18.00 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \left[\frac{f_{ck}}{250} \right] = 1 - \left[\frac{50}{250} \right] = 0.8$$

Síla působící ve vzpěře $N_{Ed} = -1630.90$ kN

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b * w} = \frac{1630,90 * 10^{-3}}{0,61 * 0,500} = 5.35 \text{ MPa} < f_{c,max} = 18.00 \text{ MPa}$$

... Vyhovuje

16.5.4.2 Dimenzování táhel

16.5.4.2.1 Výztuž v horním táhle

$$A_{s,req,T} = \frac{N_{Ed}^{B2}}{f_{yd}} = \frac{1799,67}{434,78 * 10^3} = 41.39E-04 \text{ m}^2$$

Celková potřebná plocha výztuže

$$A_{s,req} = (A_{s,req}^{B4} + A_{s,req,T}) = (93,37 + 41,39) * 10^{-4} = 134.76E-04 \text{ m}^2$$

Navrženo: **Ø32 celkem 3x6=18 ks**

$$A_{s,t} = \pi * 0,016^2 * 18 = 144.76E-04 \text{ m}^2 \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

16.5.4.2.2 Výztuž v šikmém táhle

Největší síla v šikmém táhle $N_{Ed} = 1687.36 \text{ kN}$

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{1687,36}{434,78 * 10^3} = 38.81E-04 \text{ m}^2$$

Celková potřebná plocha výztuže

$$A_{s,req} = (A_{s,req}^{B2} + A_{s,req,T}) = (7,04 + 38,81) * 10^{-4} = 45.85E-04 \text{ m}^2$$

Navrženo: **Ø20 celkem 3x6=18 ks**

$$A_{s,t} = \pi * 0,01^2 * 18 = 56.55E-04 \text{ m}^2 \quad \dots \text{Vyhovuje}$$

16.5.4.2.3 Výztuž v dolním táhle

Osová síla ve vodorovném táhle $N_{Ed} = 1732.54 \text{ kN}$

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{1732,54}{434,78 * 10^3} = 39.85E-04 \text{ m}^2$$

Navrženo: **Ø18 celkem 3x6=18 ks**

$$A_{s,t} = \pi * 0,009^2 * 18 = 45.80E-04 \text{ m}^2 \quad \dots \text{Vyhovuje}$$

16.6 Bezpečnost proti nadzvednutí z ložiska

	Zatěžovací stav	Začátek		Konec	
		a-R _a [kN]	b-R _b [kN]	a-R _a [kN]	b-R _b [kN]
Stálá zatížení	Vlastní tíha	710.30	667.26	650.21	719.92
	Ostatní stálé - inf	137.13	127.99	124.13	139.37
	Sedání max.	20.87	24.91	19.16	25.44
	Sedání min.	-18.25	-14.28	-11.09	-16.85
	Předpětí	34.90	246.83	103.9	185.89
Proměnná zatížení	Teplota - horní teplejší	41.05	76.84	32.61	81.96
	Teplota - dolní teplejší	-35.03	-60.64	-26.39	-66.41
	TS	-50.40	-102.21	-89.4	-68.39
	UDL	-48.26	-92.84	-81.97	-63.82

Kombinační součinitelé pro ULS	
Zatížení	γ
Stálé zatížení	1.00
Sedání	1.20
Doprava	1.35
Teplota	1.50

Součinitel k _{sur} pro zatížení teplotou		
Vlákna	Horní teplejší	Dolní teplejší
Provoz	0.7	1
Stavba	1.5	1.1

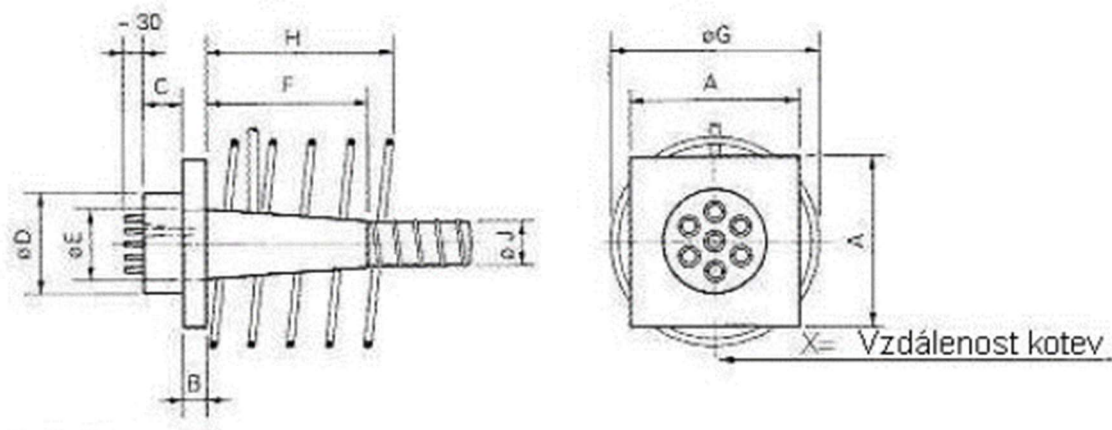
	Začátek		Konec	
	a-R _a [kN]	b-R _b [kN]	a-R _a [kN]	b-R _b [kN]
Výsledné reakce	705.17	723.42	616.96	804.64

V žádném z ložisek nevznikne tahové namáhání tudíž lze konstatovat, že konstrukci nehrozí nadzvednutí z ložisek.

17 KOTEVNÍ OBLAST

17.1 Vstupní údaje

Jsou navrženy kotvy aktivního kotvení VSL typ E.



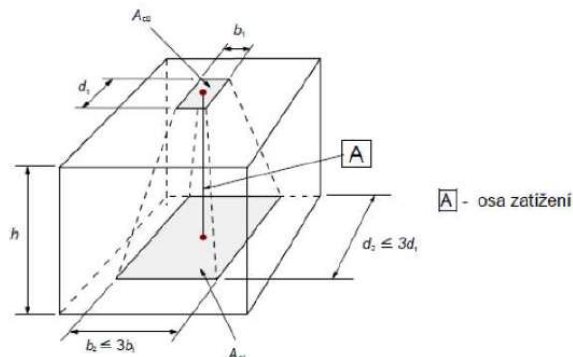
Obr. 119 - Parametry kotvy typu E

A =	400 mm
B =	60 mm
C =	100 mm
ØD =	220 mm
ØE =	172 mm
F =	590 mm
ØG =	520 mm
H =	420 mm
ØJ =	117 mm
K =	18 mm
n =	7.5 ks
X =	520 mm

... průměr spirály podkotevní výztuže

... počet závitů spirály

17.2 Posouzení soustředného tlaku



Obr. 120 - Roznášení pro místně zatížené plochy

$$P_{max} = \sigma_{p,max} * A_p = 1476 * 10^3 * 150 * 10^{-6} * 22 = 4870.80 \text{ kN}$$

$$b_2 = 600 \text{ mm} < 3 * b_1 = 3 * 400 = 1200 \text{ mm}$$

$$d_2 = 500 \text{ mm} < 3 * b_1 = 3 * 400 = 1200 \text{ mm}$$

$$h \geq b_2 - b_1 = 600 - 400 = 200 \text{ mm}$$

$$h \geq d_2 - d_1 = 500 - 400 = 100 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = b_1 * d_1 - \pi * \left(\frac{\emptyset J}{2}\right)^2 = 0,4 * 0,4 - \pi * \left(\frac{0,117}{2}\right)^2 = 0.149249 \text{ m}^2$$

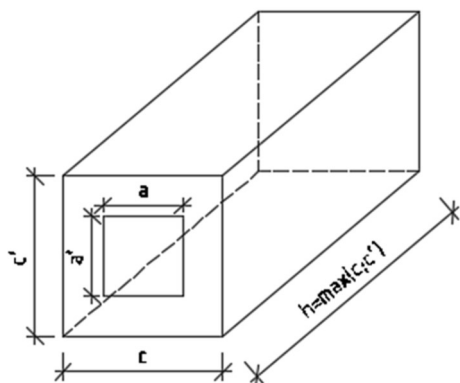
$$A_{c1} = b_2 * d_2 - \pi * \left(\frac{\emptyset J}{2}\right)^2 = 0,6 * 0,5 - \pi * \left(\frac{0,117}{2}\right)^2 = 0.289249 \text{ m}^2$$

$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,149 * 30 * 10^3 * \sqrt{\frac{0,289}{0,149}} \leq 3,0 * f_{cd} * A_{c0} = 3,0 * 30 * 10^3 * 0,149$$

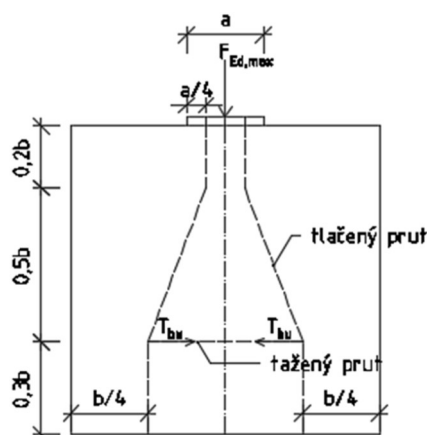
$$F_{Rdu} = 6233.216 \text{ kN} < 13432.38 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = P_{max} = 4870.80 \text{ kN} < F_{Rdu} = 6233.216 \text{ kN} \dots \text{Vyhovuje}$$

17.3 Posouzení oblasti pod kotvou



Obr. 121 – Uvažovaný kvádr pod kotvou



Obr. 122 – Příhradová analogie

Je uvažováno se spirálou dodávanou výrobcem spolu s kotvou.

$$F_{Ed} = 5844.96 \text{ kN}$$

$$c * c' = \frac{P_{max}}{0,6 * f_{ck}} = \frac{4870,80}{0,6 * 50 * 10^3} = 0.16236 \text{ m}^2$$

$$c = c' \geq \sqrt{c * c'} = \sqrt{0,16236} = 0.4029 \text{ m}$$

$$c = 403 \text{ mm}$$

$$\frac{c'}{a'} = \frac{c}{a} = \frac{403}{400} = 1.008 < 1,25 * \sqrt{\frac{c * c'}{a * a'}} = 1.259 \quad \dots \text{ Vyhovuje}$$

$$h = 1,2 * \max\{c; c'\} = 1,2 * 403 = 484 \text{ mm}$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} * \frac{c - a}{c} * F_{Ed} = \frac{1}{4} * \frac{403 - 400}{403} * 5844,96 = 10.878 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{10,878}{250 * 10^3} = 4351.20E-08 \text{ m}^2$$

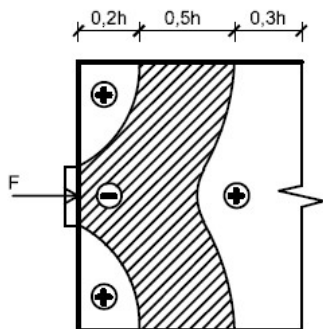
$$A_{s,min} = 0,15 * \frac{F_{Ed}}{\sigma_{sd}} = 0,15 * \frac{5844,96}{250 * 10^3} = 35.07E-04 \text{ m}^2$$

$$A_{s,prov} = 38.17E-04 \text{ m}^2 > A_{s,req} = 4351.20E-08 \text{ m}^2$$

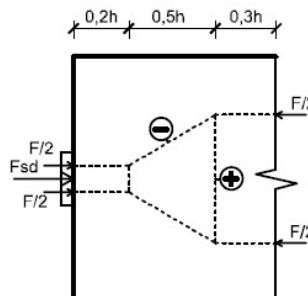
$$> A_{s,min} = 35.07E-04 \text{ m}^2$$

... Vyhovuje

17.4 Posouzení oblasti u povrchu



Obr. 123 - Napětí pod kotvou



Obr. 124 - Příhradová analogie

$$A_{s,req} = 0,03 * \frac{F_{Ed}}{\sigma_{sd}} = 0,03 * \frac{5844,96}{250 * 10^3} = 7.01E-04 \quad m^2$$

$$Návrh 2\emptyset 22 \rightarrow A_{st} = 7,60 * 10^{-4} m^2$$

17.5 Posouzení globální oblasti

$$\sum F_{Ed,max} = ks/m * P_{max} = 17729.71 \quad kN/m$$

$$a'_\Sigma = \min \left\{ x_d + x_h; x_d + \frac{c'_\Sigma}{2}; x_h + \frac{c'_\Sigma}{2} \right\} = \min \left\{ 0,5; 0,25 + \frac{1,0}{2}; 0,25 + \frac{1,0}{2} \right\} = 0.5 \quad m$$

$$T_\Sigma = \frac{1}{4} * \frac{c'_\Sigma - a'_\Sigma}{c'_\Sigma} * \sum F_{Ed,max} = \frac{1}{4} * \frac{1,0 - 0,5}{1,0} * 17729,71 = 2216.21 \quad kN$$

$$A_{s\Sigma,req} = \frac{T_\Sigma}{\sigma_{sd}} = \frac{2216,21}{250 * 10^3} = 88.65E-04 \quad m^2$$

17.5.1 Návrh výztuže

profil výztuže 20 mm

počet stříhů 6 -

počet kusů 5 ks

$$A_s = 94.25E-04 \quad m^2 > 88.65E-04 \quad m^2$$

... Vyhovuje

Je navrženo pět 6-ti střížných sítí, které budou rozmístěny ve vzdálenosti 1,20 m od líce příčnicku.

18 ZÁVĚR

Mostní konstrukce byla navržena a posouzena dle norem:

ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostní konstrukcí

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů

na mezní stavy únosnosti a použitelnosti na které vyhověla.

V Obecnici dne 23.12.2018

podpis autora
Bc. Jan Škarda

Seznam obrázků

Obr. 1 - Příčný řez	10
Obr. 2 - Kotva typ E 0.6.....	10
Obr. 3 - Kabelové kanálky	10
Obr. 4 - Výpočet krytí.....	11
Obr. 5 - Stanovení vzdáleností l_0	13
Obr. 6 - Stanovení spolupůsobící šířky	13
Obr. 7 - Redukovaný průřez nad podporou.....	14
Obr. 8 - Model pro řešení podélného směru.....	15
Obr. 9 - Průběh momentu na pilotě.....	15
Obr. 10 - Model pro řešení příčného směru - prutové zobrazení	16
Obr. 11 - Model pro řešení příčného směru - renderované zobrazení	16
Obr. 12 - Průřezová plocha vozovky	17
Obr. 13 - Průřezové plochy říms	17
Obr. 14 - Model zatížení LM1	18
Obr. 15 - Specifikace zvláštního vozidla	19
Obr. 16 - Specifikace pro postup 1	20
Obr. 17 - Vlastní tíha M_y	21
Obr. 18 - Vlastní tíha V_z	21
Obr. 19 - Ostatní stálé zatížení M_y – supremum	22
Obr. 20 - Ostatní stálé zatížení V_z – supremum	22
Obr. 21 - Ostatní stálé zatížení M_y – infimum.....	23
Obr. 22 - Ostatní stálé zatížení V_z – infimum	23
Obr. 23 - Sedání M_y	24
Obr. 24 - Sedání V_z	24
Obr. 25 - LM1 - TS M_y	25
Obr. 26 - LM1 - TS V_z	25
Obr. 27 - LM1 - UDL M_y	26
Obr. 28 - LM1 - UDL V_z	26
Obr. 29 - LM3 M_y	27
Obr. 30 - LM3 V_z	27
Obr. 31 - Horní povrch teplejší M_y	28
Obr. 32 - Horní povrch teplejší V_z	28
Obr. 33 - Dolní povrch teplejší M_y	29
Obr. 34 - Dolní povrch teplejší V_z	29
Obr. 35 - Charakteristické hodnoty vícetahových zatížení	30
Obr. 36 - Zadané dráhy předpínacích kabelů	33
Obr. 37 - Ztráty kabelu	34
Obr. 38 - Předpětí M_y	34
Obr. 39 - Předpětí V_z	34
Obr. 40 - Průhyb od časté hodnoty dopravního zatížení.....	43
Obr. 41 - Příklad ideálního porušení pole 1	46

Obr. 42 – Výsledná iterace porušení pole 1	47
Obr. 43 – Příklad ideálního porušení podpora	48
Obr. 44 – Výsledná iterace porušení podpora	49
Obr. 45 – Příklad ideálního porušení pole 2.....	50
Obr. 46 – Výsledná iterace porušení pole 2.....	51
Obr. 47 – Postavení dopravy pro maximální posouvající sílu a odpovídající kroutící moment.....	52
Obr. 48 – Postavení dopravy pro maximální kroutící moment a odpovídající posouvající sílu	53
Obr. 49 – Vlastní tíha Vz	54
Obr. 50 – Vlastní tíha Mx	54
Obr. 51 – Ostatní stálé Vz	55
Obr. 52 – Ostatní stálé Mx.....	55
Obr. 53 – Sedání Vz	56
Obr. 54 – Sedání Mx	56
Obr. 55 – Předpětí Vz	57
Obr. 56 – Předpětí Mx.....	57
Obr. 57 – Horní povrch teplejší Vz.....	58
Obr. 58 – Horní povrch teplejší Mx	58
Obr. 59 – Dolní povrch teplejší Vz	59
Obr. 60 – Dolní povrch teplejší Mx.....	59
Obr. 61 – TS maximální posouvající síla Vz	60
Obr. 62 – TS maximální posouvající síla Mx.....	60
Obr. 63 – UDL maximální posouvající síla Vz.....	61
Obr. 64 – UDL maximální posouvající síla Mx	61
Obr. 65 – TS maximální kroutící moment Vz	62
Obr. 66 – TS maximální kroutící moment Mx.....	62
Obr. 67 – UDL maximální kroutící moment Vz.....	63
Obr. 68 – UDL maximální kroutící moment Mx	63
Obr. 69 – Průřez v kroucení	67
Obr. 70 – Rozdělení posouvající síly na průřezu	69
Obr. 71 – Parametry průřezu v kroucení pro převedení na posouvající sílu	70
Obr. 72 – Parametry dolní části průřezu pro kroucení	71
Obr. 73 – Parametry horní části průřezu pro kroucení.....	72
Obr. 74 – Výsledek přepočtu ULS.....	75
Obr. 75 – Posuzovaný řez podélného smyku horní desky	75
Obr. 76 – Schéma navržené výztuže	77
Obr. 77 – Model pro řešení příčného směru - prutové zobrazení	78
Obr. 78 – Model pro řešení příčného směru - renderované zobrazení	78
Obr. 79 – Tloušťka vozovky	79
Obr. 80 – Průřezové plochy a dosedací délky říms.....	79
Obr. 81 – Ostatní stálé zatížení - supremum	80
Obr. 82 – Ostatní stálé zatížení - infimum.....	80

Obr. 83 - gr1a - Tandem systém	80
Obr. 84 - gr1a - UDL	81
Obr. 85 - Maximální hodnota M_y	81
Obr. 86 - Maximální hodnota V_z	81
Obr. 87 - Posuzované řezy.....	82
Obr. 88 - Schéma navržené výztuže	90
Obr. 89 - Koncový příčník.....	93
Obr. 90 - Vlastní tíha R_z	93
Obr. 91 - Ostatní stálé - supremum R_z	94
Obr. 92 - Ostatní stálé - infimum R_z	94
Obr. 93 - Sedání obálka R_z	95
Obr. 94 - Předpětí R_z	95
Obr. 95 - Teplota - horní teplejší R_z	96
Obr. 96 - Teplota - dolní teplejší R_z	96
Obr. 97 - Tandem systém max R_z	97
Obr. 98 - Tandem systém min R_z	97
Obr. 99 - UDL max R_z	98
Obr. 100 - UDL min R_z	98
Obr. 101 - Specifikace ložisek.....	99
Obr. 102 - Schéma uložení mostu	100
Obr. 103 - Navržený S&T model	100
Obr. 104 - Model 1	100
Obr. 105 - Model 2	100
Obr. 106 - Model 1 - začátek mostu	101
Obr. 107 - Model 1 - konec mostu.....	101
Obr. 108 - Model 2 - začátek mostu	101
Obr. 109 - Model 2 - konec mostu.....	102
Obr. 110 - Průřez účinný v kroucení.....	103
Obr. 111 - Půdorysné schéma rozmístění výztuže závěsu.....	104
Obr. 112 - Popis prvků modelu 2.....	105
Obr. 113 - Navržený S&T model na kroucení (3).....	113
Obr. 114 - Navržený S&T model na kroucení (4).....	113
Obr. 115 - Model pro vyšetření kroucení na příčníku.....	114
Obr. 116 - Průřez účinný v kroucení.....	114
Obr. 117 - Smykový tok po směru hodinových ručiček.....	115
Obr. 118 - Smykový tok proti směru hodinových ručiček.....	115
Obr. 119 - Parametry kotvy typu E	120
Obr. 120 - Roznášení pro místně zatížené plochy	121
Obr. 121 - Uvažovaný kvádr pod kotvou	122
Obr. 122 - Příhradová analogie	122
Obr. 123 - Napětí pod kotvou	123
Obr. 124 - Příhradová analogie.....	123