České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh integrovaného segmentového UHPFRC mostu přes dálnici D1

Design of an integral segmental UHPFRC bridge over D1 motorway

Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Leden 2017 Bc. Jakub Kühnel

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kühnel Jméno: Jakub Osobní číslo: 380330

Zadávající katedra: 11133 Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh integrovaného segmentového UHPFRC mostu přes dálnici D1

Název diplomové práce anglicky: Design of an integral segmental UHPFRC bridge over D1 motorway

Pokyny pro vypracování:
Vypracujte statický výpočet, technickou zprávu, výkresovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:
[1] Projektové podklady
[2] Šafář, R.: Betonové mosty 2 - přednášky, ČVUT v Praze 2014

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 12.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce" a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací".

12. 10. 2016

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných pracích“.

V Praze dne 8. 1. 2017 .....

Bc. Jakub Kühnel

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří mi poskytli odbornou pomoc a konzultace při vypracování této práce. Zejména bych rád poděkoval Ing. Romanu Šafářovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce.

ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA

Cílem této diplomové práce je návrh a posouzení silničního integrovaného segmentového mostu z UHPFRC. Most převádí obslužnou komunikaci, která je vedena jako lesní cesta. Slouží jako nadjezd nad dálnicí D1km 107,281 041 a je potřeba respektovat průjezdní prostor dálnice. Obsahem práce je statický výpočet, posouzení na MSP, MSÚ a výkresová dokumentace.

INTEGROVANÁ KONSTRUKCE
SEGMENTOVÝ MOST
UHPFRC
STATICKÝ VÝPOČET

ABSTRACT AND KEY WORDS

The goal of this thesis is a design and assessment of the road integrated segmental bridge made from UHPFRC. The bridge transfers the service road, which is registered as a forest road. It serves as an over pass over the highway D1 km 170,281 041 respecting the clearance profile of the highway. The content of the thesis is the statical calculation, ULS and SLS assessment and the project documentation.

INTEGRAL CONSTRUCTION
SEGMENTAL BRIDGE
UHPFRC
STATICAL CALCULATION

OBSAH PRÁCE:

1. ÚVOD 8
2. KONSTRUKCE 9
2.1. Schéma konstrukce 9
3. PRŮŘEZ 10
3.1. Průřezové charakteristiky 10
4. MATERIÁLY 10
4.1. UHPRFC 10
4.2. Beton C70/85 11
4.3. Předpínací výztuž 11
4.4. Betonářská výztuž 12
5. ZATÍŽENÍ 12
5.1. Stálé zatížení 12
5.1.1. Vlastní tíha konstrukce 12
5.1.2. Nerovnoměrné poklesy 13
5.1.3. Zatížení zemními tlaky 13
5.2. Proměnné zatížení 14
5.2.1. Zatížení dopravou 14
5.2.2. Zatížení teplotou 15
6. VNITŘNÍ SÍLY 15
6.1. Konstrukce s poddajnými podpěrami 16
6.2. Konstrukce s tuhými podpěrami 22
6.3. Přetvoření od dotvarování a smršťováni 27
6.3.1. Autogenní smršťování 27
6.3.2. Smršťování od vysychání 28
6.3.3. Dotvarování 29
7. 3D MODEL 30
7.1. Průběhy vnitřních sil 30

7.1.1. Výpočet kombinací ... 31

7.1.2. Návrh piloty ... 33

7.2. Přesné výsledky vnitřních sil ... 38

7.2.1. Vnitřní síly na komoru ... 41

8. NÁVRH PŘEDPĚTÍ - MSP ... 67

8.1. Návrh předpínacích kabelů ... 67

9. 3D DESKOSTĚNOVÝ MODEL ... 87

9.1. Dimenzační momenty pro návrh opěry ... 88

9.2. Návrh a posouzení předpínací výztuže ... 89

9.2.1. Konstrukční zásady předpínací výztuže ... 91

9.2.2. Návrh počtu předpínacích kabelů ... 92

9.3. Dimenzační momenty pro návrh v příčném směru ... 97

10. POSOUZENÍ KONSTRUKCE- MSÚ ... 107

10.1. Posouzení komorového nosníku na ohyb ... 107

10.1.1. Posouzení uprostřed rozpětí ... 108

10.1.2 Posouzení nad opěrou ... 110

10.2. Posouzení komorového nosníku na smyk ... 111

11. ZÁVĚR ... 115

12. POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE ... 116

1. ÚVOD

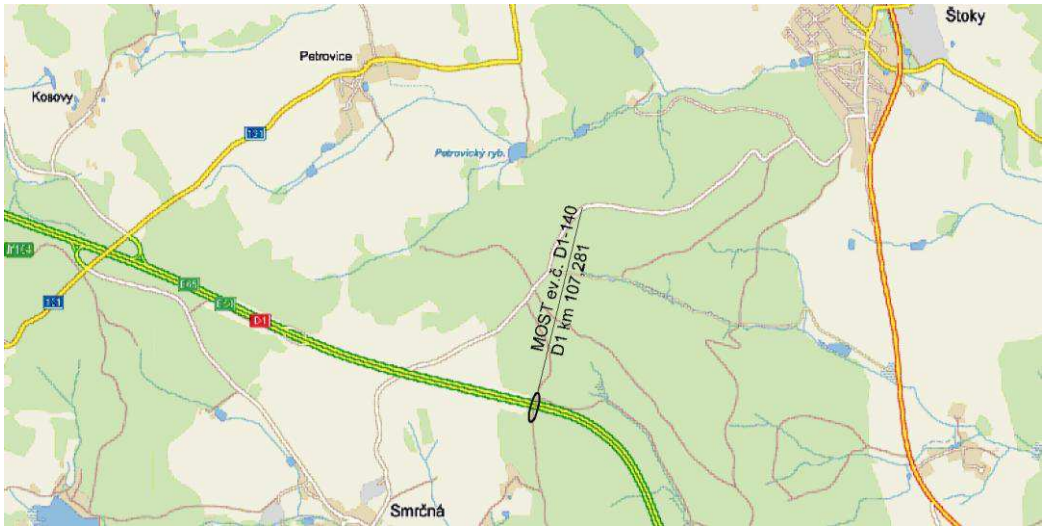
Předmětem této práce je návrh silničního nadjezdu na dálnici D1 km 107,281, ev.č. D1-140. Práce slouží jako zhodnocení možnosti využití materiálu UHPRFC, pro možnosti nadjezdu ze segmentových dílců. Most je navržen jako integrovaná komorová konstrukce, nejprve je zhodnoceno využití buď integrované konstrukce s tuhými podpěrami, nebo integrované konstrukce s poddajnými podpěrami.Most převádí obslužnou komunikaci, která je vedena jako lesní cesta Štoky – Zaječí.

Nosná konstrukce je navržena jako integrovaná o jednom poli s rozpětím 48,0 m, šířka nosné konstrukce je 7,2 m. Celková šířka mostu je 7,7 m a výška nosné konstrukce je 1,6m. Na nosnou konstrukci přímo navazuje konstrukce vozovky tl. 85 mm. Konstrukce je navržena z betonu UHPFRC, podpěry jsou navrženy z betonu C70/85 XF2 + XD3 + XC3. Předpínací výztuž tvoří kabely z lan 15,7 mm o charakteristické pevnosti 1680 MPa, předpětí je excentrické a excentricitu kabelů zajišťují deviátory. Betonářská výztuž B500B je uvažována v okolí opěr, v místech komory z UHPRFC není uvažována.

Skladba vozovky

ACO 11	40 mm
ACL 11 IV	40 mm
NAIP	5 mm
PEČETÍCÍ VRTSVA	
celkem	85 mm

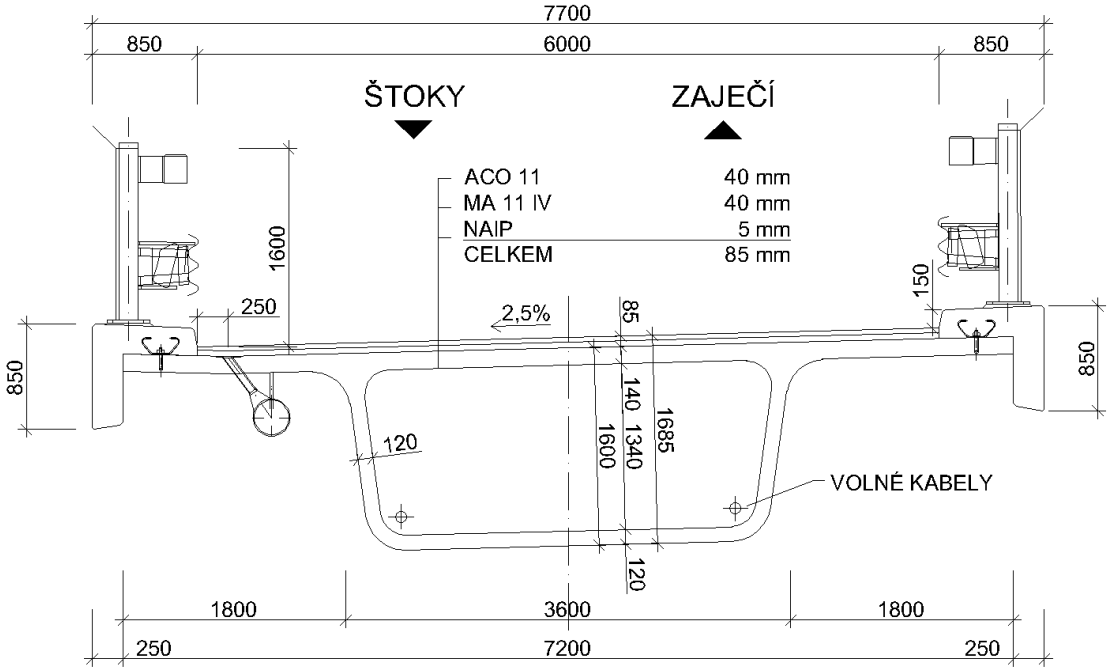
Obr. 1: Situační mapa [1]



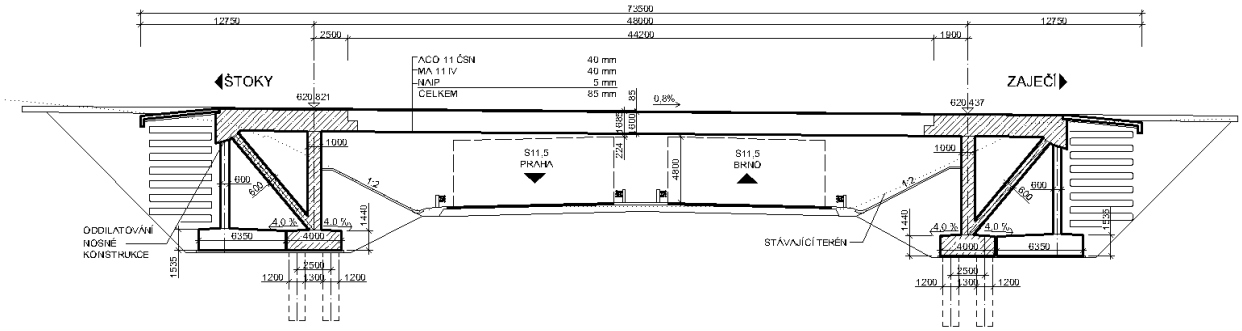
2. KONSTRUKCE

2.1. Schéma konstrukce

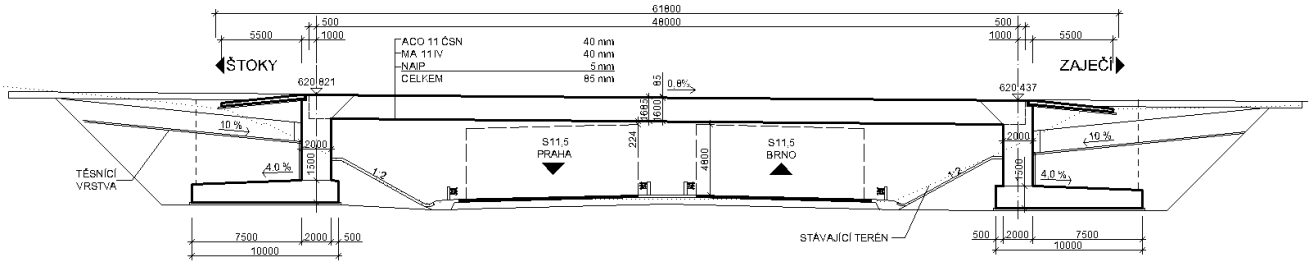
Obr. 2: Vzorový příčný řez mostem



Obr. 3: Integrovaná konstrukce s poddajnými podporami



Obr. 4: Integrovaná konstrukce s tuhými podporami



3. PRŮŘEZ

Vzhledem k vlastnostem materiálu UHPFRC je komorový průřez subtilní a největší tloušťky nabývá v horní desce komorového průřezu a to tl. 140 mm. U opěr je provedeno spojení segmentů s opěrami konstrukce, kde dojde k zesílení a celá konstrukce z UHPFRC je osazena na ozub a zmonolitněna. Podpěry a zesílení komorového průřezu je provedeno z vysokopevnostního betonu C70/85.

3.1. Průřezové charakteristiky

Průřezové charakteristiky byly pro přesnost stanoveny pomocí grafického programu Autodesk AutoCAD 2017 z důvodu zakřivení konstrukce a nutnosti zaoblení všech hran komory pro vlastnosti materiálu UHPFRC.

Plocha průřezu	$A = 1{,}7514\ m^2$
Výška průřezu	$h = 1{,}6\ m$
Těžiště průřezu	$z_c = 1{,}025$ m od dolní hrany konstrukce
Momenty setrvačnosti	$I = 0{,}7866\ m^4$
Průřezový modul	$W^h = I / z_c = 0{,}7866 / 1{,}025 = 0{,}7671\ m^3$
	$W^d = I / (h - z_c) = 0{,}7866 / (1{,}6 - 1{,}025) = 1{,}3680\ m^3$

4. MATERIÁLY

4.1. UHPRFC

Segmentové prvky komorové konstrukce jsou tvořeny z materiálu UHPFRC v betonárce a jednotlivě dováženy na stavbu. Materiálové vlastnosti betonu byly stanoveny experimentálně na základě laboratorních zkoušek Ing. Petra Bílého, Ph.D.

Objemová hmotnost materiálu	$2805\ kg/m^3$
Charakteristická pevnost v tlaku ve stáří 28 dnů f_{ck}	161 MPa
Návrhová pevnost betonu v tlaku $f_{cd} = 0{,}9.161{,}0/1{,}5 =$	96,6 MPa
Průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku ve stáří 28 dní f_{cm}	102,6 MPa

Střední hodnota tahové pevnosti prostého betonu f_{ctm}	6,1 MPa
Dolní kvantil tahové pevnosti prostého betonu $f_{ctk,0.05}$	4,3 MPa
Střední hodnota modulu pružnosti E_{cm}	50 000 MPa

4.2. Beton C70/85

Vysokohodnotný beton je využit na podpěry a ozub, pomocí kterého se spojí opěra a segmentové část mostu z UHPFRC

Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní f_{ck}	70,0 MPa
Návrhová pevnost betonu v tlaku f_{cd} = 0,9.70,0/1,5 =	42,0 MPa
Průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku ve stáří 28 dní f_{cm}	48,0 MPa
Průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu f_{ctm}	6,6MPa
Dolní hodnota charakteristické pevnosti betonu v dostředném tahu $f_{ctk,0,05}$	3,2 MPa
Horní hodnota charakteristické pevnosti betonu v dostředném tahu $f_{ctk,0,95}$	6,0MPa
Sečnový modul pružnosti betonu E_{cm}	41,0 MPa

Tečnový modul pružnosti obyčejného betonu při napětí σ_0=0 ve stáří 28 dní

E_c = 1,05.Ecm = 1,05.41,0 = 43,05MPa

4.3. Předpínací výztuž

Předpínací výztuž navržená podle Eurokódu a odpovídající EN 10138 je navržena z kabelů z lan Ø 15,7mm o následujících vlastnostech.

Plocha 1lanaA_p	150 mm
Charakteristická pevnost oceli v tahu f_{pk}	1860MPa

Charakteristická smluvní mez kluzu 0,1% předpínací oceli

$f_{p0,1k}$= 0,88 f_{pk} = 1636,8MPa

f_{pd}= $f_{pk}/f_{p0,1k} \geq 1,1$

Návrhová mez kluzu 0,1% předpínací oceli f_{pd}= 1636,8/1,15 = 1423,304MPa

Návrhová hodnota modulu pružnosti předpínací oceli E_p 195GPa

4.4. Betonářská výztuž

Betonářská výztuž je využita pouze pro vyztužení podpěr a ozubů konstrukce pro beton C70/85, pro materiál UHPFRC nebude využita a komorové segmenty budou nevyztuženy z důvodu jejich materiálových vlastností.

Bude použita betonářská výztuž B500B

Charakteristická mez kluzu f_{yk}	500MPa
Návrhová mez kluzu betonářské výztuže f_{yd}= 500/1,15 =	434,783MPa
Návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli E_s	200MPa

5. ZATÍŽENÍ

5.1. Stálé zatížení

5.1.1. Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha nosné konstrukce	1,7514	.	28	=	49,039	KN/m
Ostatní stálé						
Svodidla					1,000	KN/m
Římsy	2 .	0,339	. 25	=	16,950	KN/m
NAIP	6 .	0,005	. 25	=	0,750	KN/m
MA 11	6 .	0,040	. 25		6,000	KN/m
ACO 11	6 .	0,040	. 25		6,000	KN/m
celkem					30,700	KN/m

horní charakteristická hodnota

$(g\text{-}g0)_{k,\,sup}$= 16,95+ 1,0 +(0,75 + 6,0 + 6,0) . 1,4 =35,800kN/m

dolní char. hodnota

$(g\text{-}g0)_{k,\,inf}$= 16,95+ 1,0 +(0,75 + 6,0 + 6,0) . 0,8 =28,150kN/m

5.1.2. Nerovnoměrné poklesy

Předpokládáme, že mostní objekt je založen na vrtaných velkoprůměrových pilotách, opřených o skalní podloží. Potom uvažujeme nerovnoměrné poklesy jednotlivých opěr o 5 mm.

5.1.3. Zatížení zemními tlaky

Vzhledem k tomu že nemáme k dispozici podklady o poměrech zemin v místě návrhu mostu, budeme uvažovat následující hodnoty zemin, výpočet bude počítán jako zemní tlak v klidu, v důsledku uvažovaného chování konstrukce jako tuhé, tedy bez znatelného vychýlení opěr.

γ= 21 kN/m^3

φ= 41,0°

c= 0 kPa

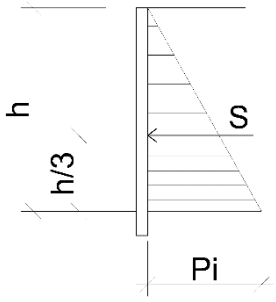
γ_φ= 1,0

Zemní tlak $p_r = h \cdot \gamma \cdot K_r$

p_r= 5,5 . 21 . (1 – sin41)= 39,725kPa

Výslednice $S_r = p_i \cdot h/2$

S_r= 39,752 . 5,5 / 2 = 109,244 kN



Přitížení zeminy dopravou na povrchu se zvýší celkové spojité zatížení a výška „h“, se zvedne o hodnotu „a“, která se vypočte v závislosti na hmotnosti zeminy a přitížení od zatížení dopravou.

a= q /γ = 9,7 / 21 = 0,462 m

Zemní tlak $p_i = (a + h) \cdot \gamma \cdot K_r$

p_i= (0,462 + 5,5) . 21 . (1 – sin41)= 43,062 kPa

Přitížení od dopravy se vypočítá jako rozdíl od zatížení v klidu a výsledek zatížení v klidu od přitížení dopravou.

$p_a = p_i - p_r$

p_a= 43,026 39,725 = 3,301 kPa

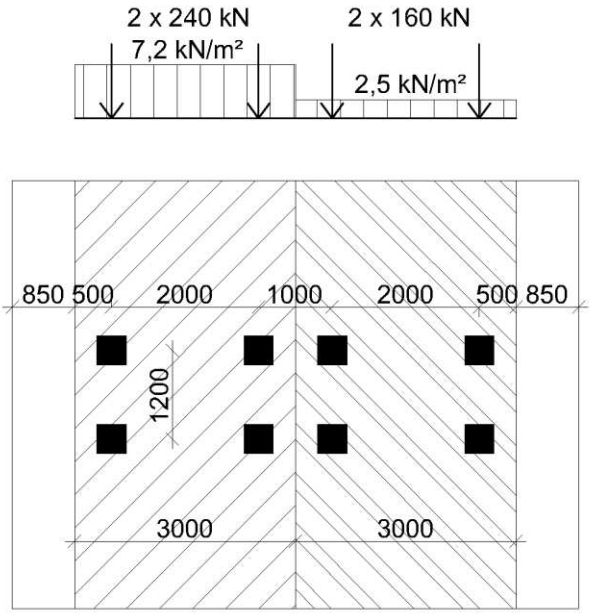
5.2. Proměnné zatížení

5.2.1. Zatížení dopravou

LM1

Vozovka na mostě je šířky 6,0 m, proto uvažujeme dva jízdní pruhy o šířce 3,0 m. Zatěžovací schéma LM1 bude uvažováno pro dva pruhy a pro toto zatížení je vynesena obálka momentů a posouvajících sil pro posouzení únosnosti mostu.

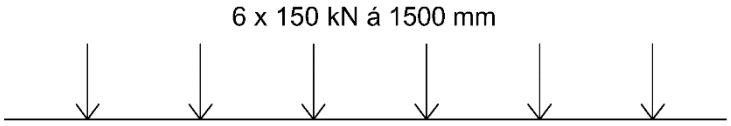
Obr. 5: Schéma zatížení LM1



LM3

Model LM3 reprezentuje zatěžování zvláštních zatěžovacích vozidel, pro tento most je uvažováno zvláštní vozidlo pro silnice III. Třídy ve skupině pozemních komunikací 1. Jedná se o vozidlo o šesti nápravách a celkové hmotnosti 90 tun. Toto vozidlo je reprezentováno zatěžovacím stavem označeném 900/150 kdy je rozděleno rovnoměrně na 6 rozdělených sil 150 KN, po 1,5 m. Na mostě při vjetí tohoto vozidla musí být vyloučena veškerá ostatní doprava. Právě toto zatížení je vybráno z důvodu využití mostu společností Lesy České republiky a předpokládá se využití kamióny přepravující dřevo.

Obr. 6: Schéma zatížení LM1



5.2.2. Zatížení teplotou

Most se nachází na dálnici D1 v okolí města Jihlava, dle teplotní mapy ČR jsou uvažovány následující teploty.

Maximální teplota 36,1 – 38,0 °C

Minimální teplota -32,1 – -34,0 °C

Výstavba +10°C

Nerovnoměrná teplota

$\Delta T_{M,heat}$ = 10°C horní povrch teplejší než dolní

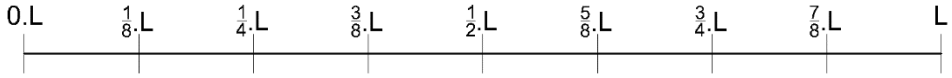
$\Delta T_{M,cool}$ = -5°C dolní povrch teplejší než horní

6. VNITŘNÍ SÍLY

Vnitřní síly jsou počítány a vykresleny pomocí programu SCIA Engineer, vnitřní síly jsou stanoveny pro oba typy konstrukce, jako pro integrovanou konstrukci s tuhými podpěrami, tak pro integrovanou konstrukci s poddajnými podpěrami. Výsledky jsou názorně pro přehlednost vykresleny pro jednotlivé zatěžovací stavy.

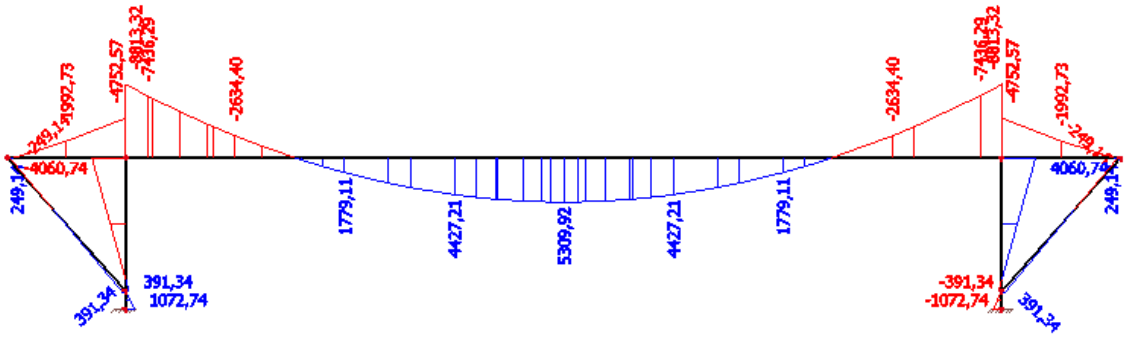
Výsledky jsou vykresleny v průřezech předpokládaných umístění deviátorů a dále zajímavých průřezech pro ověření napětí v průřezu.

Obr. 7: Řezy na konstrukci

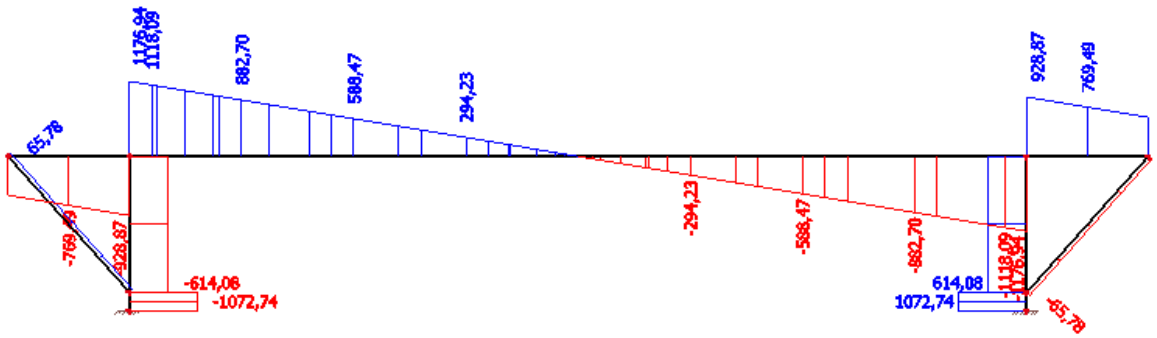


6.1. Konstrukce s poddajnými podpěrami

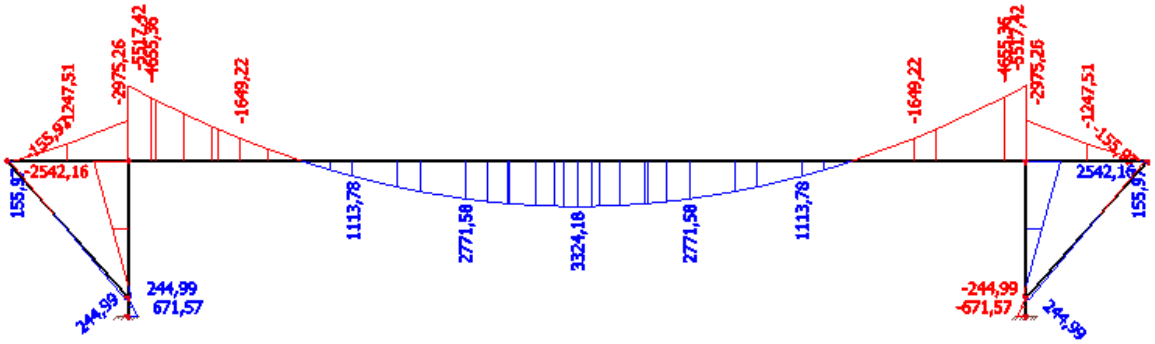
Obr. 8: Vlastní tíha M_y [kNm]



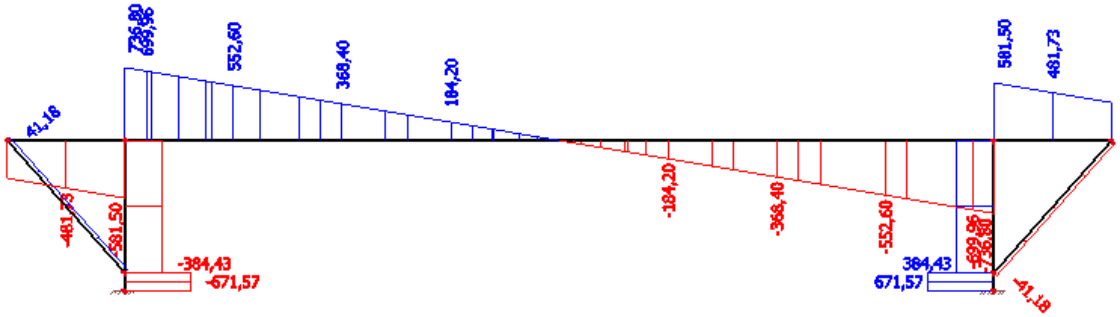
Obr. 9: Vlastní tíha V_z [kN]



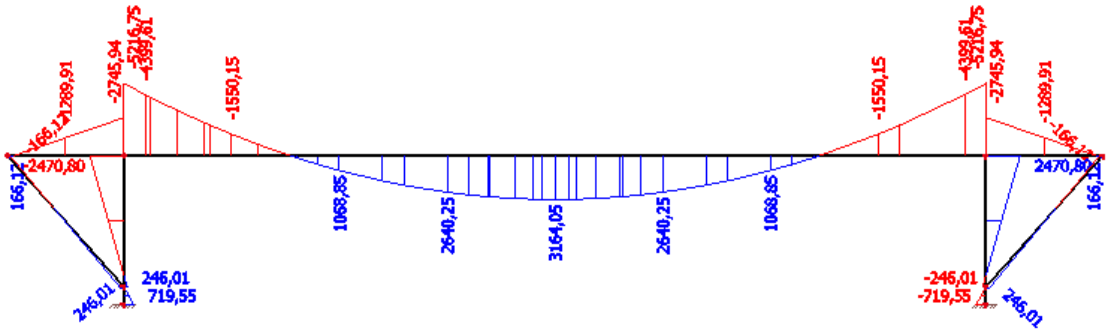
Obr. 10: Ostatní stálé zatížení M_y [kNm]



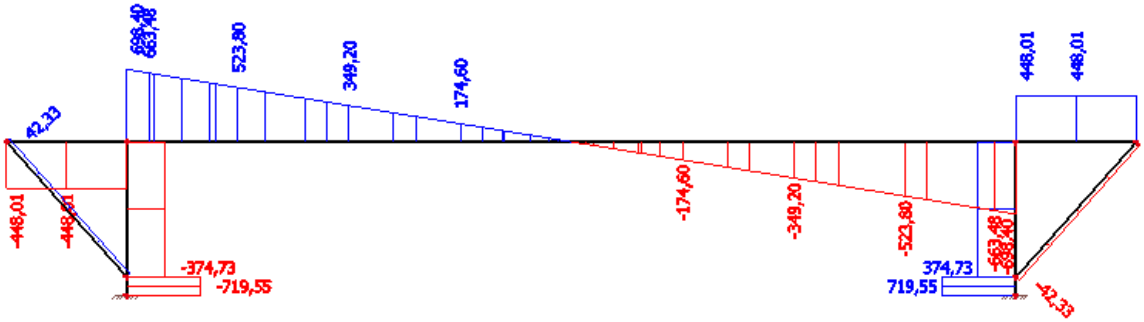
Obr. 11: Ostatní stálé zatížení V_z [kN]



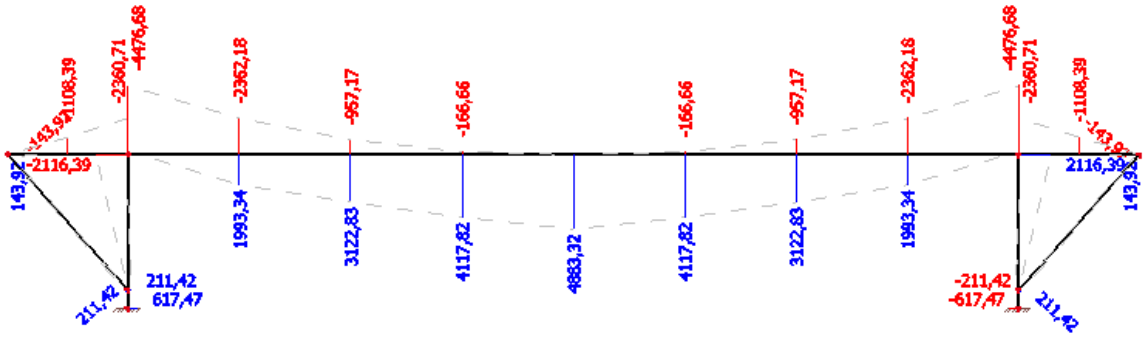
Obr. 12: LM1 spojité zatížení M_y [kNm]



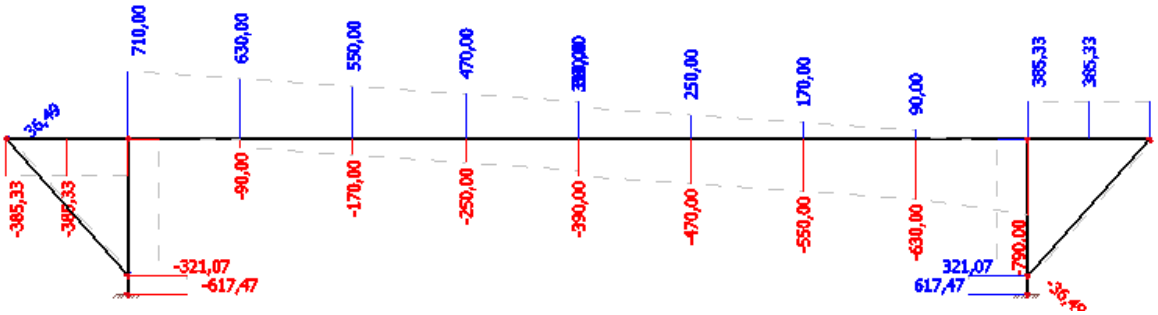
Obr. 13: LM1 spojité zatížení V_z [kN]



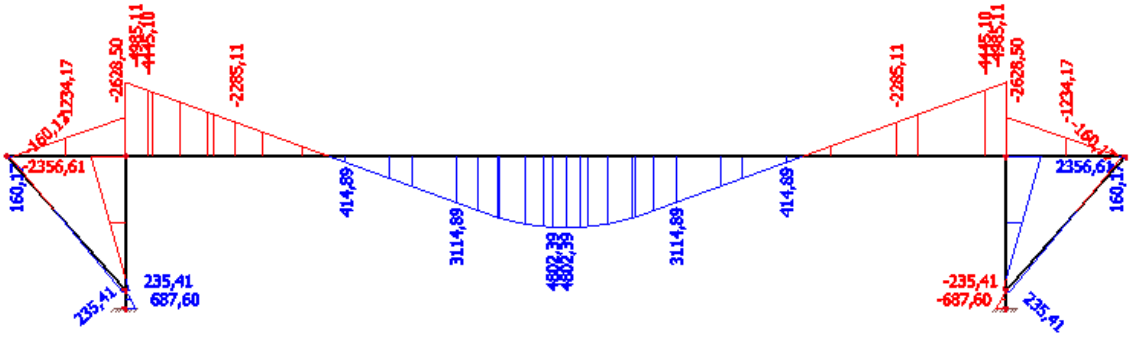
Obr. 14: LM1 nápravové síly M_y [kNm]



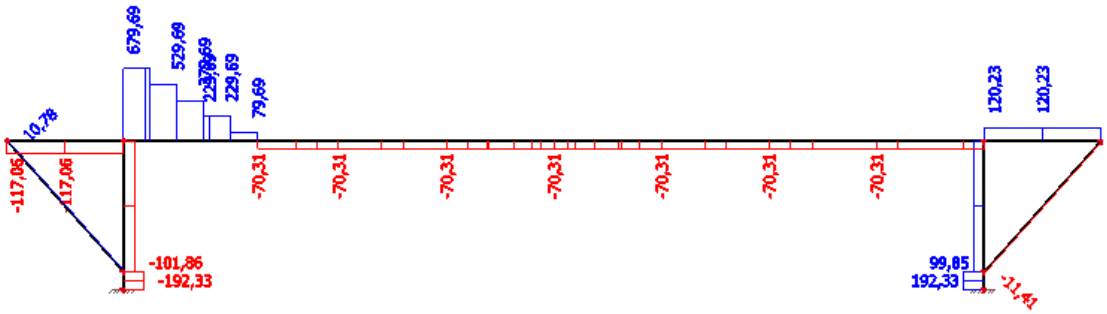
Obr. 15: LM1 nápravové síly V_z [kN]



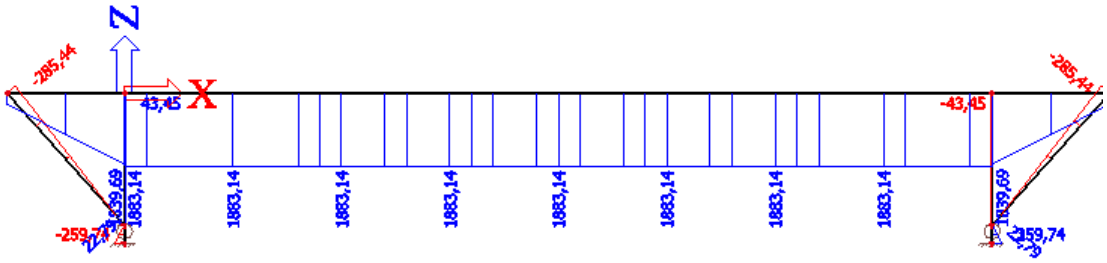
Obr. 16: LM3 M_{max} [kNm]



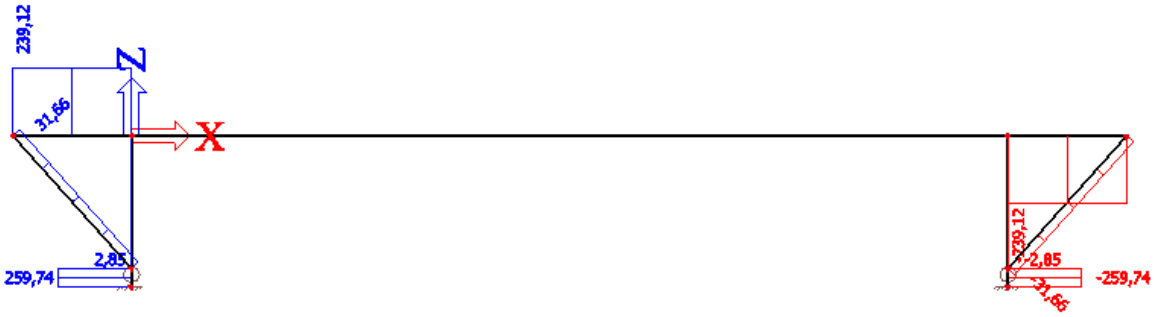
Obr. 17: LM3 $V_{z,max}$ [kN]



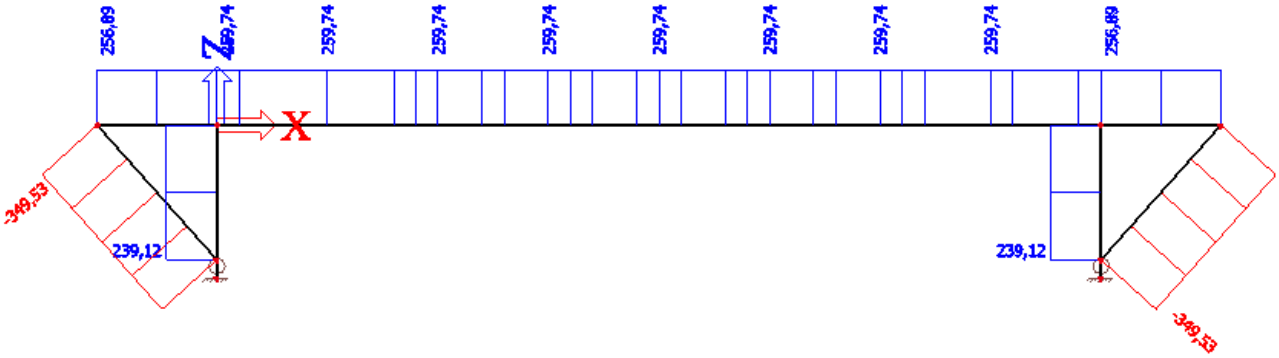
Obr. 18: Teplota - horní povrch teplejší než dolní M_y [kNm]



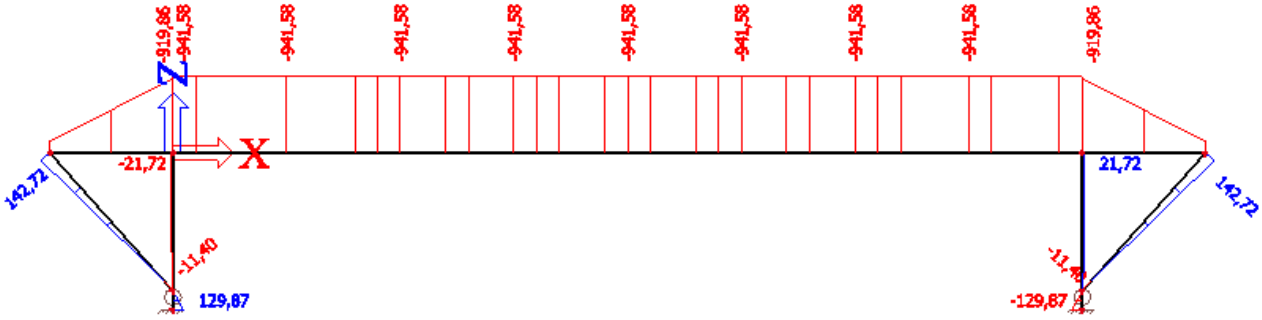
Obr. 19: Teplota - horní povrch teplejší než dolní V_z [kN]



Obr. 20: Teplota - horní povrch teplejší než dolní N [kN]

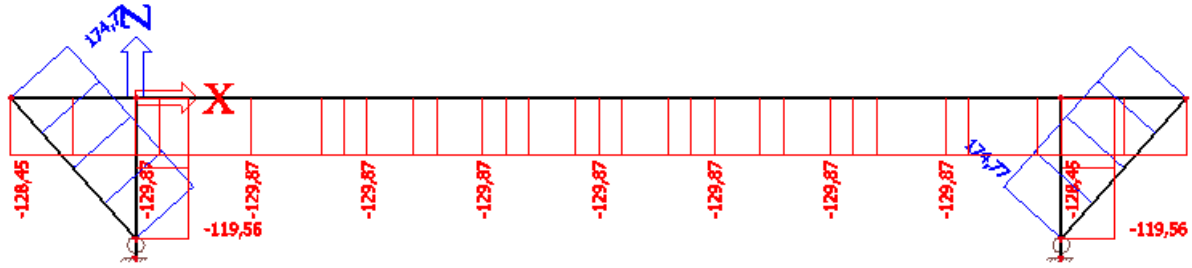


Obr. 21: Teplota - dolní povrch teplejší než horní M_y [kNm]

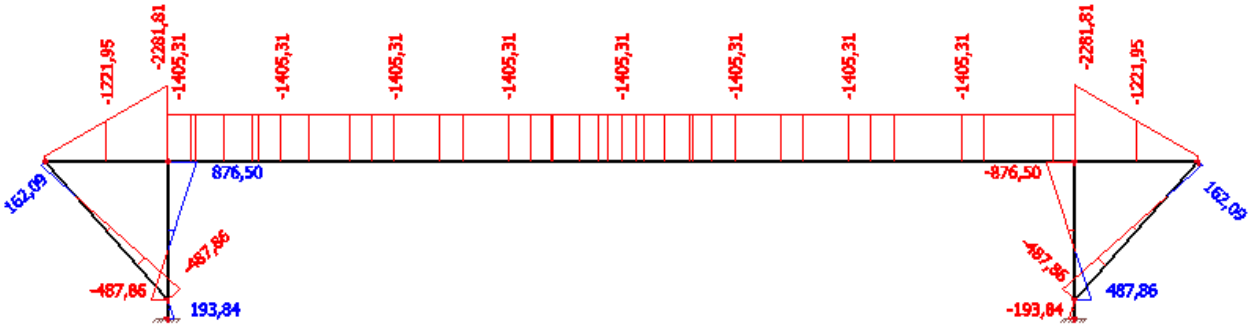


Obr. 22: Teplota - dolní povrch teplejší než horní V_z [kN]

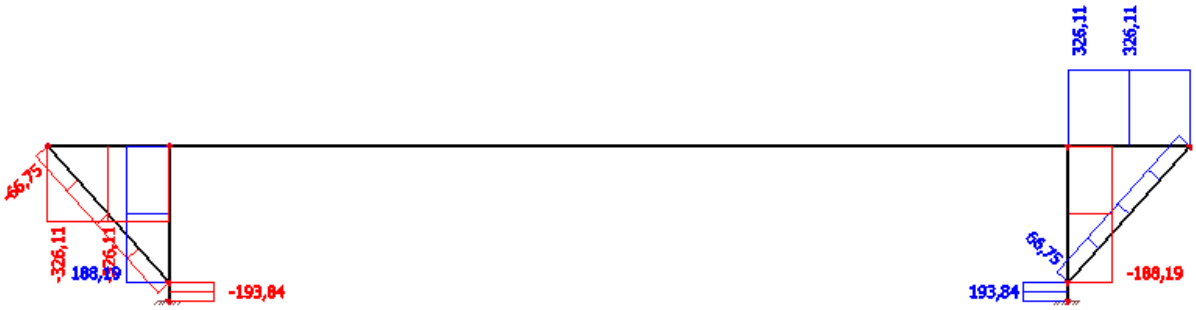
Obr. 23: Teplota - dolní povrch teplejší než horní N [kN]



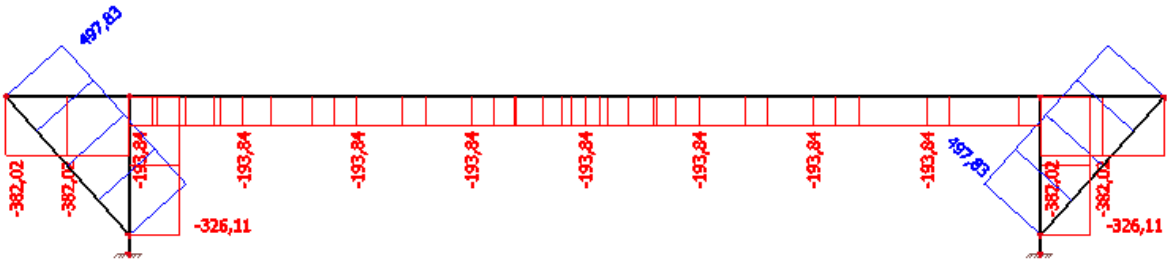
Obr. 24: Teplota - ohřátí konstrukce M_y [kNm]



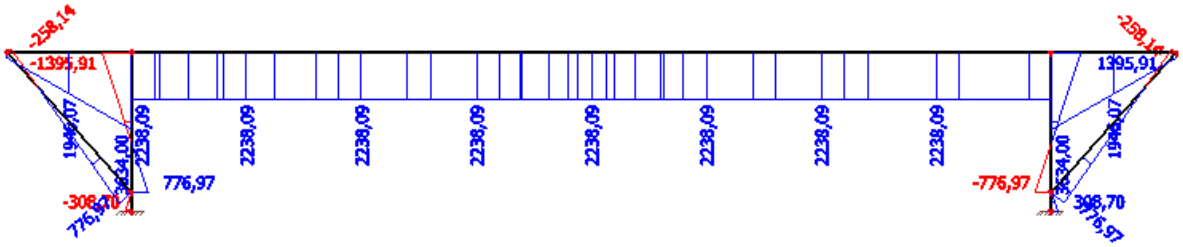
Obr. 25: Teplota - ohřátí konstrukce V_z [kN]



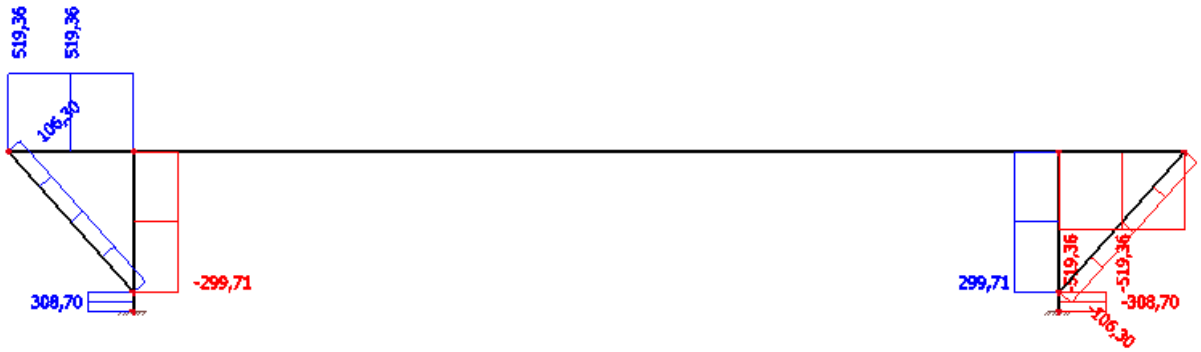
Obr. 26: Teplota - ohřátí konstrukce N [kN]



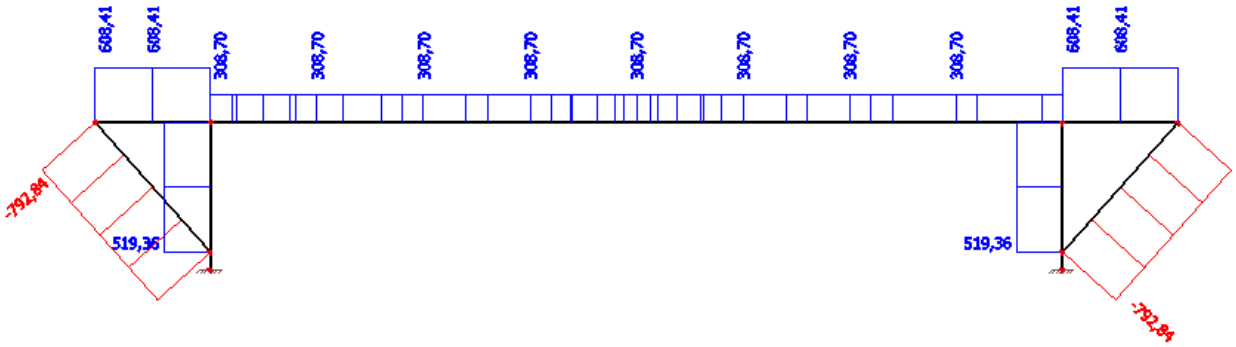
Obr. 27: Teplota - ochlazení konstrukce M_y [kNm]



Obr. 28: Teplota - ochlazení konstrukce V_z [kN]



Obr. 29: Teplota - ochlazení konstrukce N [kN]



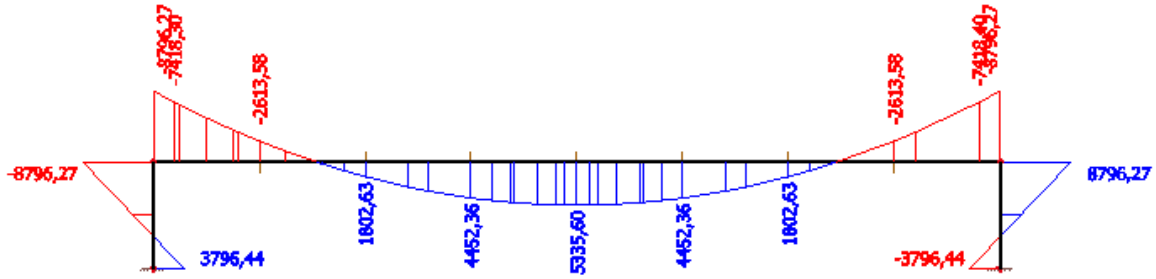
Poklesy, vlivem konstrukce s poddajnými opěrami a uvažováním modelu s klouby v programu Scia Engineer, nevyvozují žádný momentový ani normálový účinek.

Tab. 1: Přehled vnitřních sil konstrukce s poddajnými podpěrami.

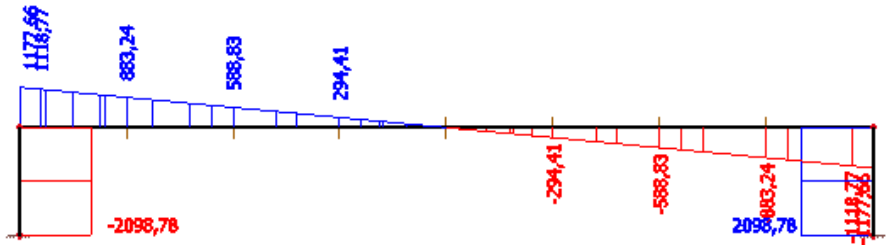
Zatížení		M0 [MNm]		M1/8 [MNm]		M1/4 [MNm]		M3/8 [MNm]		M1/2 [MNm]		V0
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	[MN]
g0		-14,330		-4,284		2,893		7,169		8,634		1,914
poklesy		-		-		-		-		-		-
LM1	TS	-5,217		-1,550		1,069		2,640		3,164		0,698
	UDL	0,000	-4,477	1,993	-2,362	3,123	-0,957	4,118	0,167	4,883	0,000	0,710
	Σ	-5,217	-9,694	0,443	-3,912	4,192	0,112	6,758	2,807	8,047	3,164	1,408
LM3 900/150		-4,985		-2,285		0,415		3,115		4,802		0,680
Tep. Účinky nerovnoměrné		1,883	-0,948	1,883	-0,948	1,883	-0,948	1,883	-0,948	1,883	-0,948	0,301
Tep. Účinky rovnoměrné		2,238	-1,405	2,238	-1,405	2,238	-1,405	2,238	-1,405	2,238	-1,405	0,519

6.2. Konstrukce s tuhými podpěrami

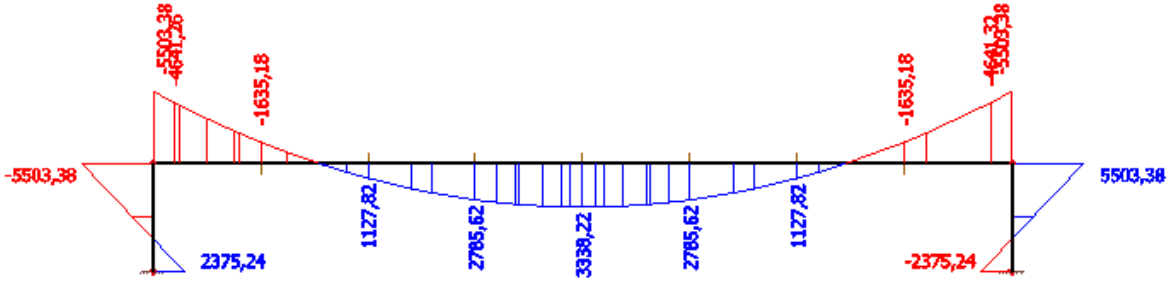
Obr. 30: Vlastní tíha M_y [kNm]



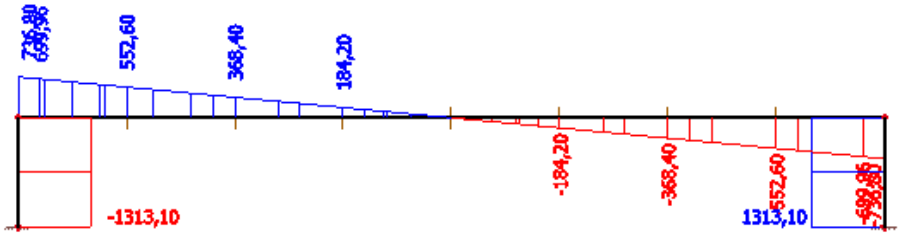
Obr. 31: Vlastní tíha V_z [kN]



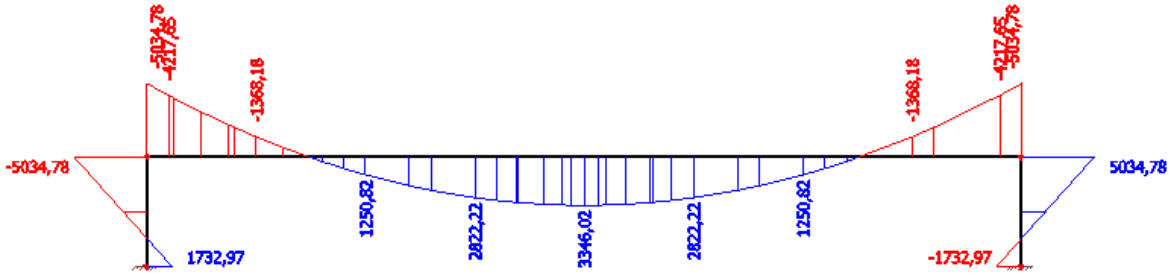
Obr. 32: Ostatní stálé zatížení M_y [kNm]



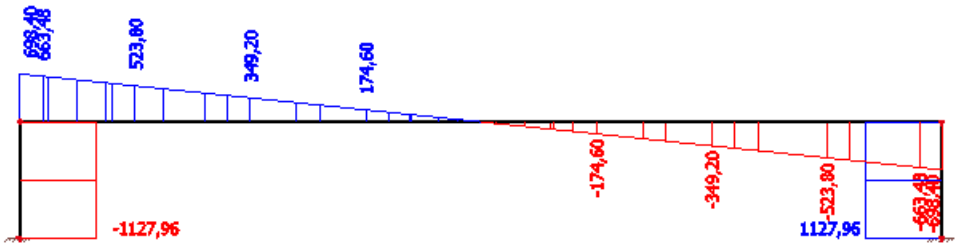
Obr. 33: Ostatní stálé zatížení V_z [kN]



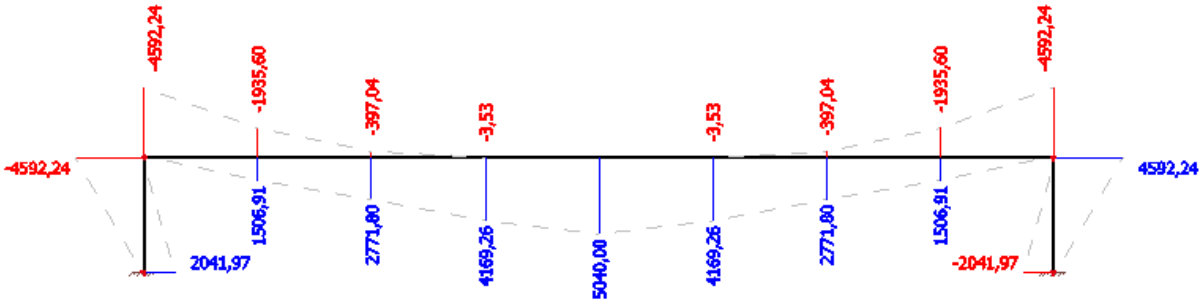
Obr. 34: LM1 spojité zatížení M_y [kNm]



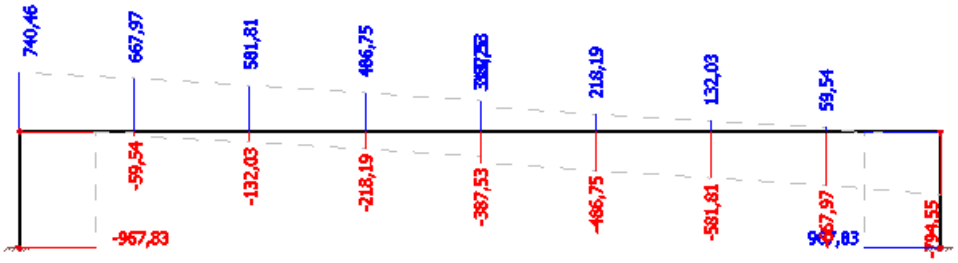
Obr. 35: LM1 spojité zatížení V_z [kN]



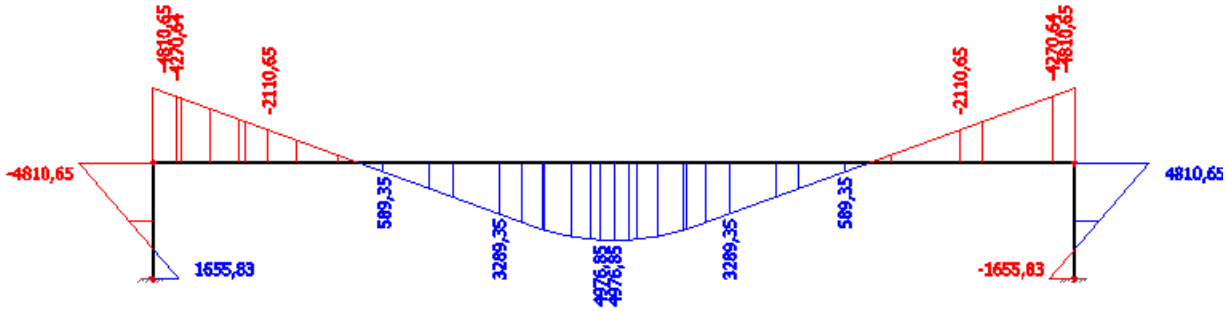
Obr. 36: LM1 nápravové síly M_y [kNm]



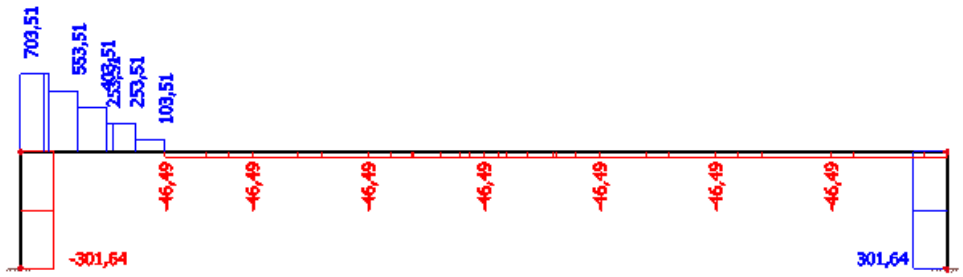
Obr. 37: LM1 nápravové síly V_z [kN]



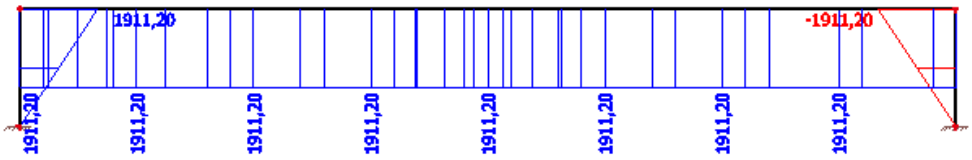
Obr. 38: LM3 M_{max} [kNm]



Obr. 39: LM3 $V_{z,max}$ [kN]

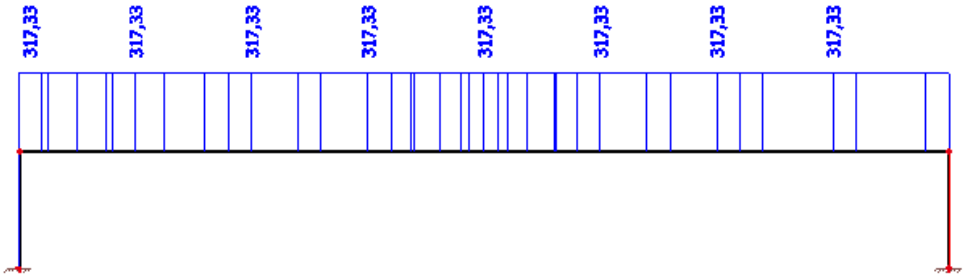


Obr. 40: Teplota - horní povrch teplejší než dolní M_y [kNm]

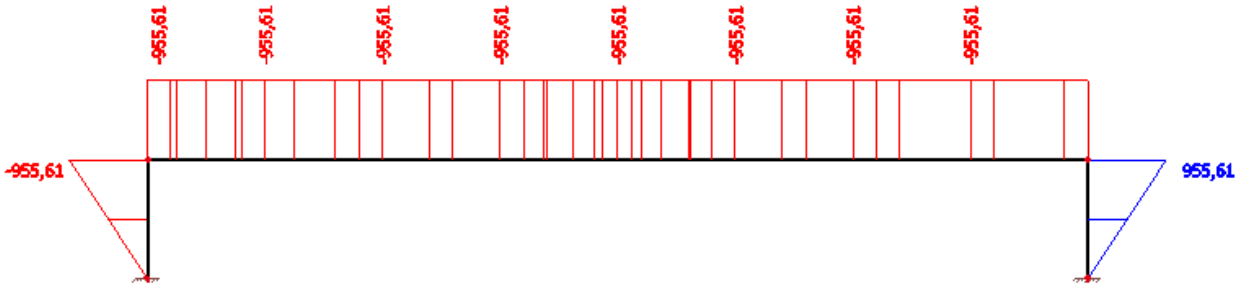


Obr. 41: Teplota - horní povrch teplejší než dolní V_z [kN]

Obr. 42: Teplota - horní povrch teplejší než dolní N [kN]

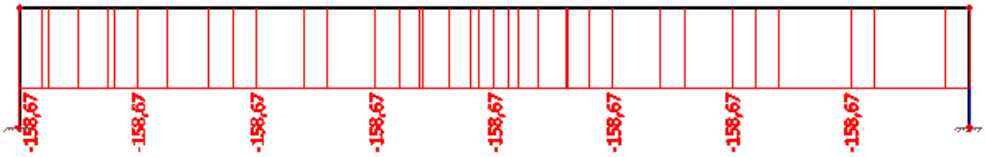


Obr. 43: Teplota - dolní povrch teplejší než horní M_y [kNm]

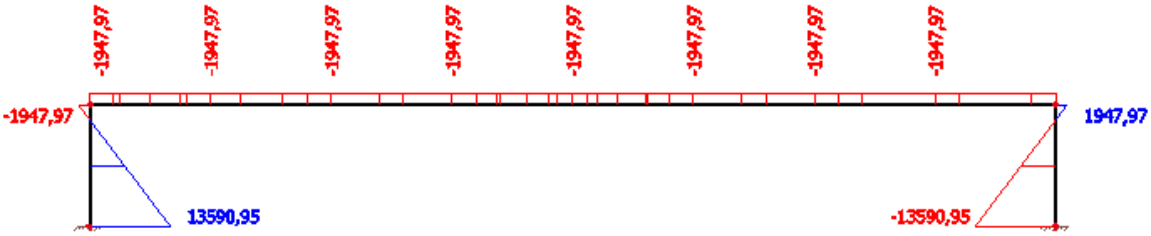


Obr. 44: Teplota - dolní povrch teplejší než horní V_z [kN]

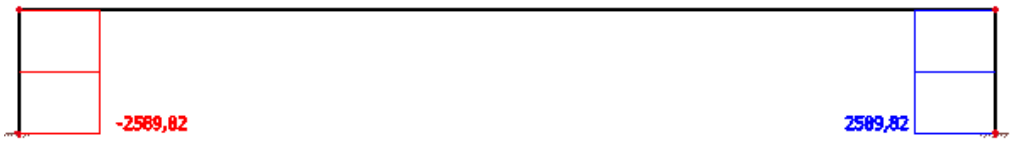
Obr. 45: Teplota - horní povrch teplejší než horní N [kN]



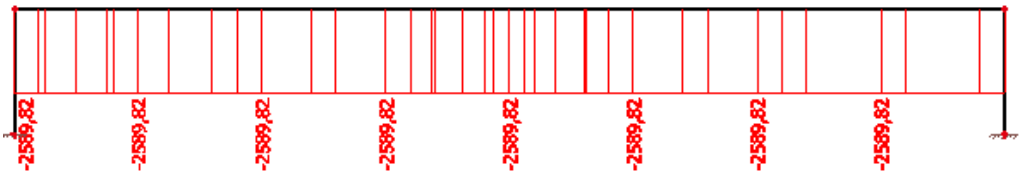
Obr. 46: Teplota - ohřátí konstrukce M_y [kNm]



Obr. 47: Teplota - ohřátí konstrukce V_z [kN]

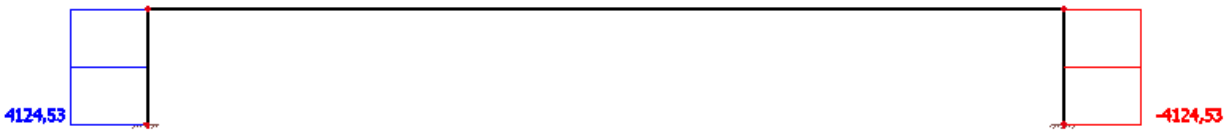


Obr. 48: Teplota - ohřátí konstrukce N [kN]

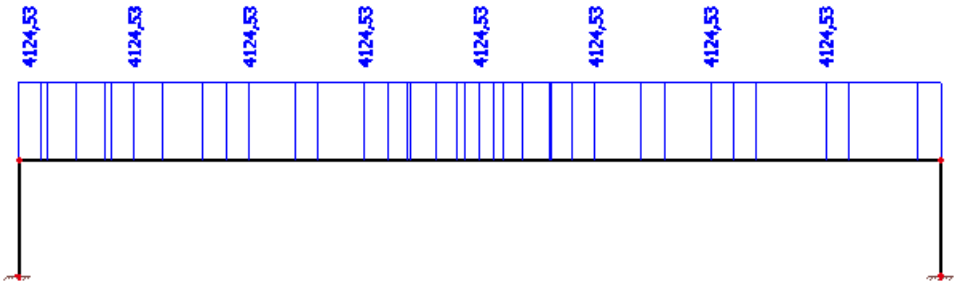


Obr. 49: Teplota - ochlazení konstrukce M_y [kNm]

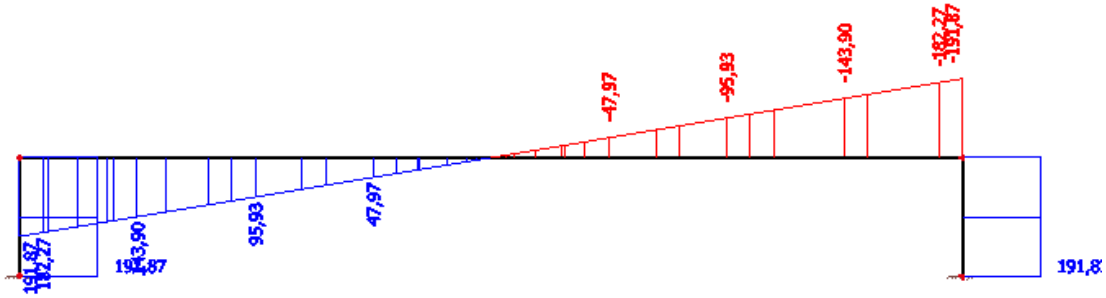
Obr. 50: Teplota - ochlazeni konstrukce V_z [kN]



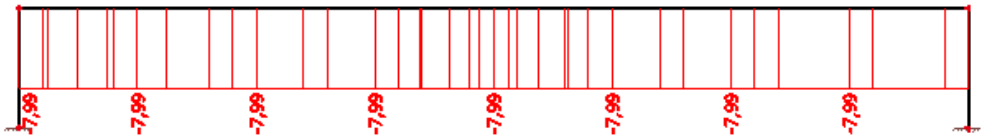
Obr. 51: Teplota - ohřátí konstrukce N [kN]



Obr. 52: Nerovnoměrný pokles podpěr 5 mm M_y [kNm]



Obr. 53: Nerovnoměrný pokles podpěr 5 mm V_z [Nm]



Tab. 2: Přehled vnitřních sil konstrukce s tuhými podpěrami.

Zatížení		M0 [MNm]		M1/8 [MNm]		M1/4 [MNm]		M3/8 [MNm]		M1/2 [MNm]		V0
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	[MN]
g0		-13,796		-3,749		3,427		7,733		9,169		1,914
poklesy		0,192	-0,192	0,142	-0,142	0,960	-0,960	0,450	-0,450	0,000	0,000	0,008
LM1	TS	-5,045		-1,368		1,251		2,822		3,346		0,698
	UDL	0,000	-4,592	1,507	-1,936	2,772	-0,397	4,169	-0,004	5,040	0,000	0,740
	Σ	-5,045	-9,637	0,139	-3,304	4,023	0,854	6,991	2,818	8,386	3,346	1,438
LM3 900/150		-4,811		-2,111		0,589		3,289		4,977		0,704
Tep. Účinky nerovnoměrné		1,911	-0,956	1,911	-0,956	1,911	-0,956	1,911	-0,956	1,911	-0,956	0,000
Tep. Účinky rovnoměrné		3,102	-1,948	3,102	-1,948	3,102	-1,948	3,102	-1,948	3,102	-1,948	0,000

6.3. Přetvoření od dotvarování a smršťováni

Přetvoření betonu je počítáno dle ČSN EN 1992-2 pro vysokopevnostní beton, pro hodnoty nad C55/67. Výpočet přetvoření je počítán na segmentech z UHPRFC o pevnosti 161 MPa. Počítáno je:

- autogenní smršťování
- smršťování od vysychání
- základní dotvarování
- dotvarování od vysychání

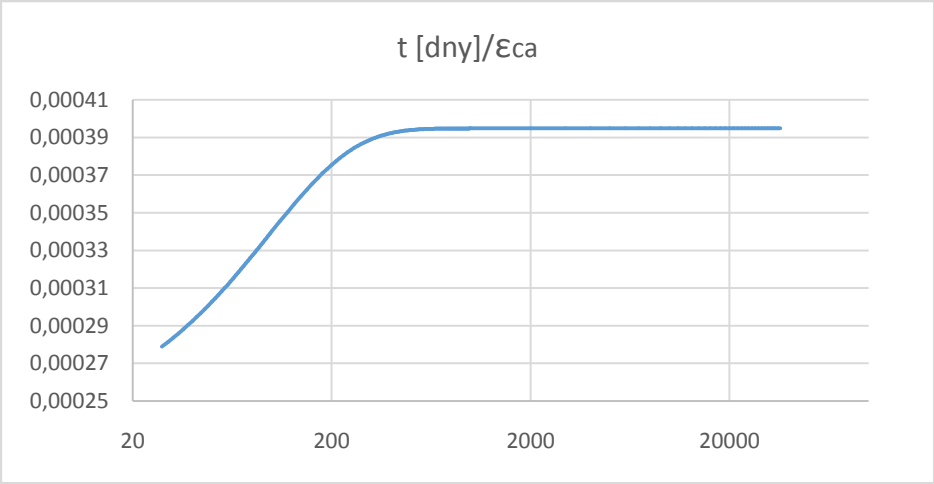
6.3.1. Autogenní smršťování

Stanoveni autogenního smršťování pro beton starší 28 dní je počítáno dle 3.1.2(6) EN 1992-2

$$\varepsilon_{ca}(t) = (f_{ck} - 20) \,.\, [2{,}8 - 1{,}1 \exp(-\frac{t}{96})]10^{-6}$$

$$\varepsilon_{ca}(36\,500) = (161 - 20) \,.\, [2{,}8 - 1{,}1 \exp(-\frac{360000}{96})]10^{-6} = 3{,}948 \,.\, 10^{-4}$$

Graf 1: Průběh autogenního smršťování



6.3.2. Smršťování od vysychání

Vztah pro smršťování od vysychání je

$$\varepsilon_{cd}(t) = \frac{K(f_{ck}) \,.\, [72 \,.\, \exp(-046 \,.\, f_{ck}) + 75 - RH] \,.\, (t - t_s).\, 10^{-6}}{(t - t_s) + \beta_{cd} \,.\, h_0^2}$$

$$\varepsilon_{cd}(365\,000) = \frac{K(f_{ck}).\, [72 \,.\, \exp(-046 \,.\, 161) + 75 - RH] \,.\, (36\,500 - 28).\, 10^{-6}}{(36\,500 - 28) + \beta_{cd} \,.\, h_0^2}$$

Pro f_{ck} > 55 MPa

$$K(f_{ck}) = 30 - 0{,}21 \,.\, f_{ck}$$

$$K(161) = 30 - 0{,}21 \,.\, 161 = -3{,}81$$

$$\Rightarrow \varepsilon_{cd}(t) = 0$$

6.3.3. Dotvarování

Součet základního dotvarování a dotvarování při vysychání je počítáno ze vztahu

$$\varepsilon_{cc} = \frac{\sigma(t_0)}{E_c} \,.\, [\varphi_b(t, t_0) + \varphi_d(t, t_0)]$$

Základní dotvarování

$$\varphi_b(t, t_0) = \varphi_{b0} \,.\, \frac{\sqrt{t - t_0}}{[\sqrt{t - t_0} + \beta_{cd}}$$

$$\varphi_b(t, t_0) = 1{,}4 \,.\, \frac{\sqrt{36500 - 28}}{\sqrt{36500 - 28} + 8{,}8792} = 1{,}3378$$

Pro beton bez křemičitého úletu

φ_{b0}=1,4

$$\beta_{cd} = 0{,}4 \,.\, \exp\left(3{,}1 \,.\, \frac{f_{cm}(t_0)}{f_{ck}}\right)$$

$$\beta_{cd} = 0{,}4 \,.\, \exp\left(3{,}1 \,.\, \frac{161}{161}\right) = 8{,}8792$$

Dotvarování pří vysychání

$$\varphi_d(t, t_0) = \varphi_{d0} \,.\, [\varepsilon_{cd}(t) - \varepsilon_{cd}(t_0)]$$

$$\varphi_d(t, t_0) = 1000 \,.\, [\varepsilon_{cd}(28) - \varepsilon_{cd}(36\,500)]$$

Pro beton s mikrosilikou$\varphi_{d0} = 1000$

Osazení betonových segmentů bude uvažováno až po uplynutí 28 dní, z tohoto důvodu dotvarování od vysychání bude rovno 0.

Dosažením do vztahu součtu dotvarování:

$$\varepsilon_{cc} = \frac{5{,}0}{50\,000} \,.\, [0 + 1{,}3792] = 1{,}3792 \,.\, 10^{-4}$$

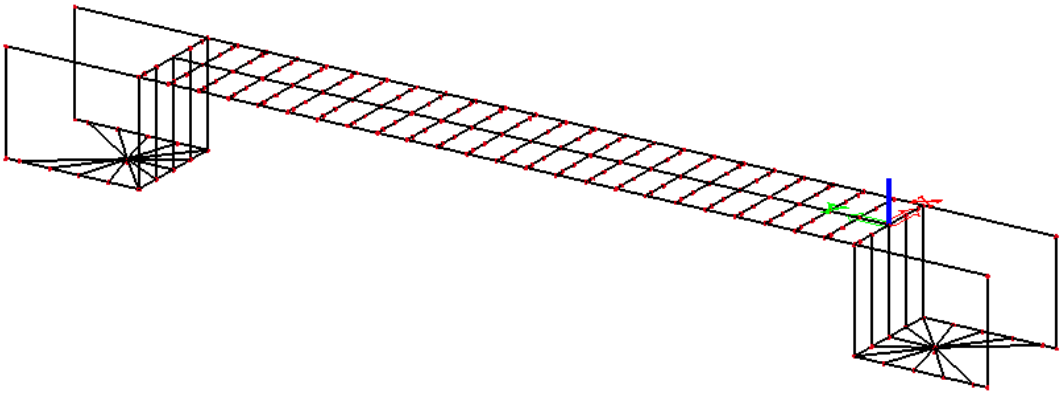
Celkové přetvoření je:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{cc} = (3{,}948 + 1{,}3792) \,.\, 10^{-4} = 5{,}3272 \,.\, 10^{-4}$$

7. 3D MODEL

Dále sestavíme 3D model v programu Scia Engineer, nejprve sestavíme drátěný model, výpočet vnitřních sil, momentů, posouvajících i normálových sil potřebných pro další výpočet. K dosavadním výpočtům v tomto modelu budeme uvažovat také zatížení zeminou na podpěry mostu a pro výpočet zatížení pilot budeme uvažovat tlak zeminy na piloty v prostoru mezi křídly mostu.

Obr. 54: 3D drátěný model



7.1. Průběhy vnitřních sil

Nyní aplikujeme zatěžovací stavy jako v kapitole 6, pouze nyní budeme zatěžovat 3D drátěný model. Budeme sledovat jak momenty, tak posouvající síly na konstrukci. Tyto hodnoty budou sloužit pro návrh pilot a následně stanoveny jejich tuhosti pro detailnější výpočet konstrukce. Následně budou v místech umístění pilot vloženy pružiny o dané tuhosti pilot a provede se výpočet vnitřních sil v konstrukci. Tentokrát vynecháme vykreslení momentů z důvodu úspory místa, průběhy byly uvedeny již v předchozí kapitole, a následně budou vykresleny všechny průběhy na konstrukci s pružinami. V tabulce uvedeme pouze průběhy momentů v průřezu ½ a 0, následně posouvající síly v ½ a reakce ve vetknutí pro výpočet pilot. Ostatní hodnoty jsou uvedeny pro kontrolu změny vnitřních sil.

Tab. 3: Přehled vnitřních sil

Zatížení		M0	M1/2	V0	REAKCE		
		[MNm]	[MNm]	[MN]	Vz [MN]	Vy [MN]	M [MNm]
g0		-9,088	4,974	1,089	7,507	1,338	3,633
g0m		-5,645	3,134	0,662	0,738	0,954	1,877
poklesy		0,345	0,000	0,014	0,014	0,000	0,309
LM1	TS	-5,368	2,961	0,646	0,698	0,901	1,775
	UDL	-4,653	4,670	0,770	0,791	0,172	1,948
	Σ	-10,021	7,631	1,416	1,489	1,073	2,899
LM3 900/150		-5,175	4,633	0,668	0,863	0,323	2,899
Zatížení teplotou	nerov. ohřátí	1,932	1,932	0,000	0,000	0,053	-1,591
	nerov. ochlazení	-0,965	-0,965	0,000	0,000	0,261	-0,077
zatížení zeminou		0,000	0,000	-0,080	7,401	-1,688	-1,963
zatížení zeminou přitížení		0,003	0,004	0,000	0,000	0,093	0,140

7.1.1. Výpočet kombinací

Pro výpočet zatížení pilot budou kombinace sestaveny kombinace na výsledky vnitřních sil ve vetknutí. Budou uvažovány všechny zatěžovací stavy a piloty budou posouzeny na nejnepříznivější z nich.

Znaménková konvence:

Vy…..Příčná síla na piloty

Vz…..Svislá síla na piloty

Sestavy zatížení pro vetknutí Vz:

Sestava zatížení 6.10

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \,.\, G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_p \,.\, P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \,.\, Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \gamma_{Q,i} \,.\, \psi_{0,i} \,.\, Q_{k,i} =$$

1,35 . (7,507+ 0,738) + 1,2 . 0,014 + 1,35 . (1,489 + 7,401) + 1,5 . 0,6 . 0,00 = 23,149 MN

Sestava zatížení 6.10a

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\ .\ G_{k,j}\ "+"\ \gamma_p\ .\ P\ "+"\gamma_{Q,1}\ .\ \psi_{0,1}\ .\ \ Q_{k,1}"+"\sum_{i\geq 1}\gamma_{Q,i}\ .\ \psi_{0,i}\ .\ Q_{k,i}=$$

1,35 . (7,507+ 0,738) + 1,2 . 0,014 + 1,35 . (0,75 . 0,698 + 0,4 . 0,791) + 1,35 . 0,75 . 7,401 + 1,5 . 0,6 . 0,00 = 19,775 MN

Sestava zatížení 6.10b

$$\sum_{j\geq 1}\varsigma_j\ .\gamma_{G,j}\ .\ G_{k,j}\ "+"\ \gamma_p\ .\ P\ "+"\gamma_{Q,1}\ .\ Q_{k,1}"+"\sum_{i\geq 1}\gamma_{Q,i}\ .\ \psi_{0,i}\ .\ Q_{k,i}=$$

0,85 . 1,35 . (7,507+ 0,738) + 0,85 . 1,2 . 0,014 + 1,35 . (1,489 + 7,401)+ 1,5 . 0,6 . 0,00 = 21,479 MN

Sestavy zatížení pro vetknutí Vy:

Sestava zatížení 6.10

1,35 . (1,338+ 0,954) + 1,2 . 0,00 + 1,35 . (1,073-1,688 + 0,093) + 1,5 . 0,6 . 0,261 = 2,624 MN

Sestava zatížení 6.10a

1,35 . (1,338+ 0,954) + 1,2 . 0,00 + 1,35 . (0,75 . 0,901 + 0,4 . 0,172) + 1,35 . 0,75 . (-1,688 + 0,093) + 1,5 . 0,6 . 0,261 = 2,719 MN

Sestava zatížení 6.10b

0,85 . 1,35 . (1,338+ 0,954) + 0,85 . 1,2 . 0,00 + 1,35 . (1,073 -1,688 + 0,093) + 1,5 . 0,6 . 0,261 = 2,160 MN

Sestavy zatížení pro vetknutí My:

Sestava zatížení 6.10

1,35 . (3,633 + 1,877) + 1,2 . 0,308 + 1,35 . (2,899 -1,963 + 0,140) - 1,5 . 0,6 . 0,077 = 9,191MNm

Sestava zatížení 6.10a

1,35 . (3,633 + 1,877) + 1,2 . 0,308 + 1,35 . (0,75 . 1,775 + 0,4 . 1,948) + 1,35 . 0,75 . (-1,936 + 0,140) - 1,5 . 0,6 . 0,077 = 8,769MNm

Sestava zatížení 6.10b

0,85 . 1,35 . (3,633 + 1,877) + 0,85 . 1,2 . 0,308 + 1,35 . (2,899 -1,963 + 0,140) - 1,5 . 0,6 . 0,077 = 8,020MNm

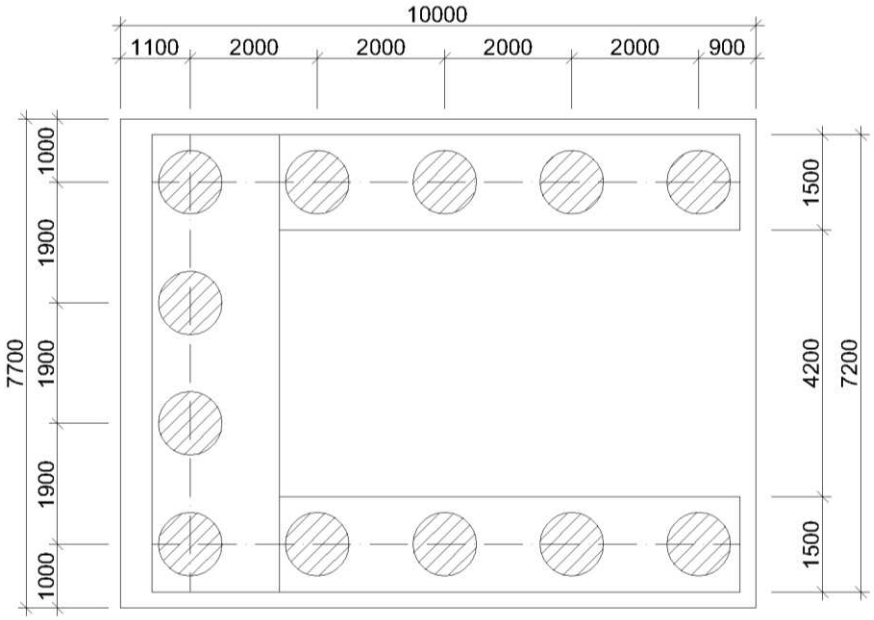
Tab. 4: Kombinace pro návrh piloty

KOMBINACE	REAKCE		
	Vz [MN]	Vy [MN]	M [MNm]
6.10	23,149	2,624	9,191
6.10a	19,775	2,719	8,769
6.10b	21,479	2,160	8,020

7.1.2. Návrh piloty

Pro návrh piloty použijeme vypočtené kombinace vnitřních sil ve vetknutí, z důvodu rozmístění pilot, převedeme moment na normálovou sílu v pilotě, z pohledu základu na sílu V_z. Poté pomocí programu GEO5 navrhneme piloty s vhodnou únosností. Předpokládáme 12 velkoprůměrových pilot o průměru 1000 mm a na toto rozmístění pilot přepočteme moment M.

Obr. 55: Návrh rozmístění pilot



Pro výpočet momentu na normálovou sílu musíme nejprve vypočítat těžiště pilotové sestavy a následně moment setrvačnosti a poté vypočítat normálové síly na nejzatíženější pilotu.

Těžiště pilotové sestavy

$$z_t = \frac{\sum A_i \,.\, z_i}{\sum A_i} = \frac{1{,}5708 \,.\, (2+4+6+8)}{6 \,.\, 1{,}5708} = 3{,}333\ m$$

Moment setrvačnosti

$$I = \sum \frac{\pi \,.\, r^4}{4} + A_i \,.\, d^2 = 12 \,.\, \frac{3{,}14 \,.\, 0{,}5^4}{4} + 1{,}5708 \,.\, (2 \,.\, 3{,}333^2 + 1{,}333^2 + 0{,}692^2 + 2{,}667^2 + 4{,}667^2) = 84{,}426\ m^4$$

Průřezový modul

$$W_i = \frac{I}{z_i}$$

$$W_d = \frac{84{,}426}{3{,}333} = 25{,}328\ m^3$$

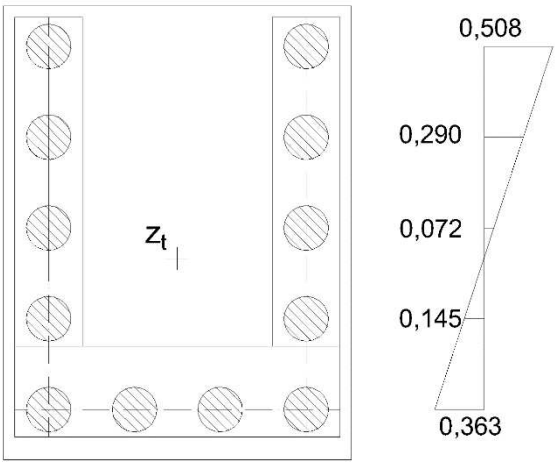
$$W_h = \frac{84{,}426}{4{,}666} = 18{,}092\ m^3$$

Výpočet normálových sil v pilotách

$$\tau_d = \frac{9{,}191}{25{,}328} = 0{,}363\ MPa$$

$$\tau_h = \frac{9{,}191}{18{,}0915} = 0{,}508\ MPa$$

Obr. 56: Průběh napětí na pilotách



Plocha jedné piloty

$A = 3{,}14 \,.\, 0{,}5^2 = 0{,}785\ m^2$

V horních pilotách (vnějších) vzhledem k výsledku kombinace momentů bude docházet k tahu a v dolních pilotách (vnitřních) bude docházet k tlaku.

$N_{p,h}$ = 0,785 . 0,508 = 0,399 MN

$N_{p,d}$ = 0,785 . 0,363 = -0,285 MN

Vzhledem k výsledkům kombinací Vz, budeme pro návrh piloty uvažovat sílu v pilotě, ve které vzniká nejvyšší tlak, tedy 0,285 MN, tuto hodnotu přičteme k výsledkům kombinace Vz a navrhneme pilotu v programu GEO5.

Zatížení na jednu pilotu:

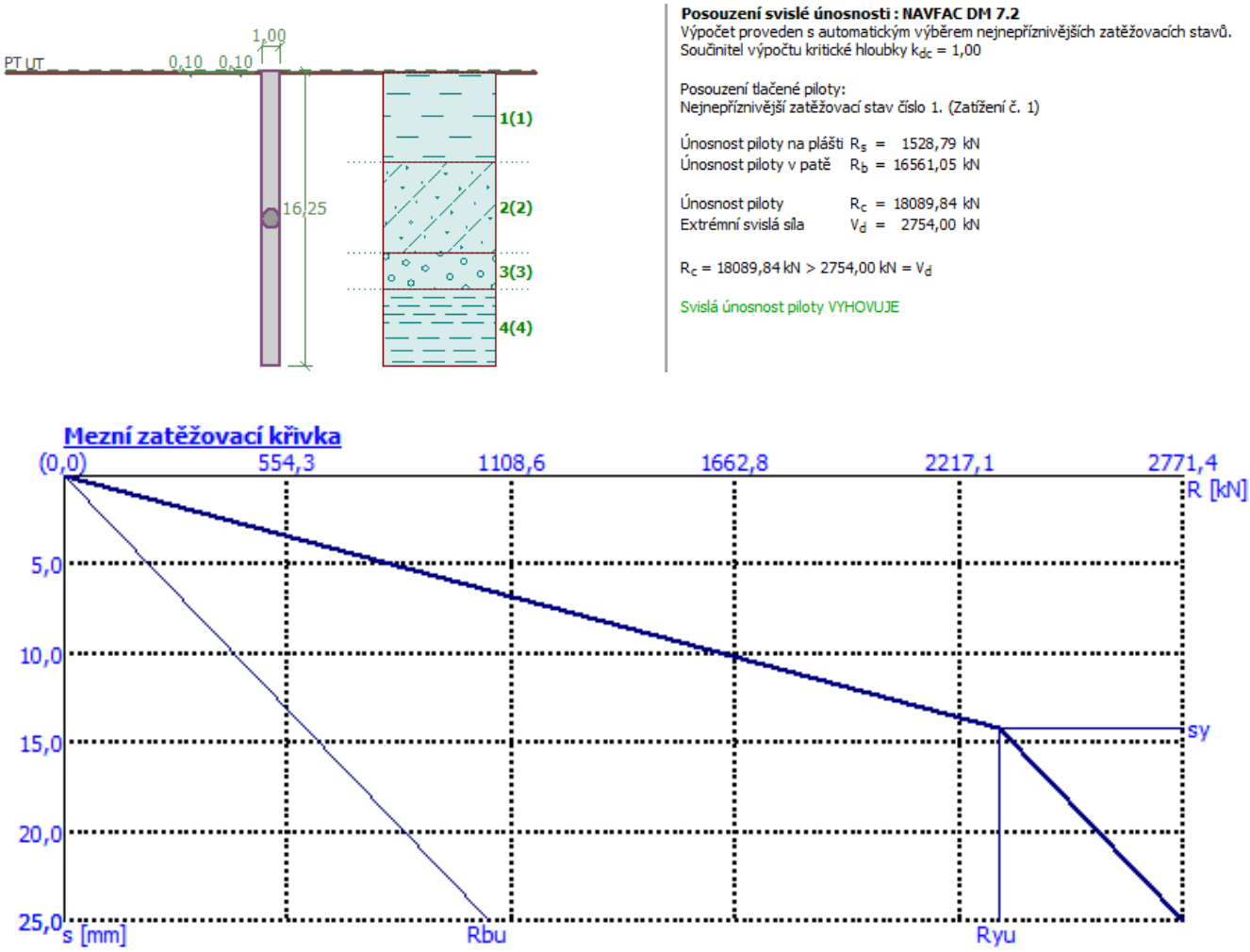
Vzhledem k tomu že uvažujeme návrh 12 pilot, tak musíme výsledky reakcí vydělit počtem pilot.

Vy = 2,719 / 12 = 0,227 MN
Vz = 23,149 / 12 + 0,825 = 2,754 MN

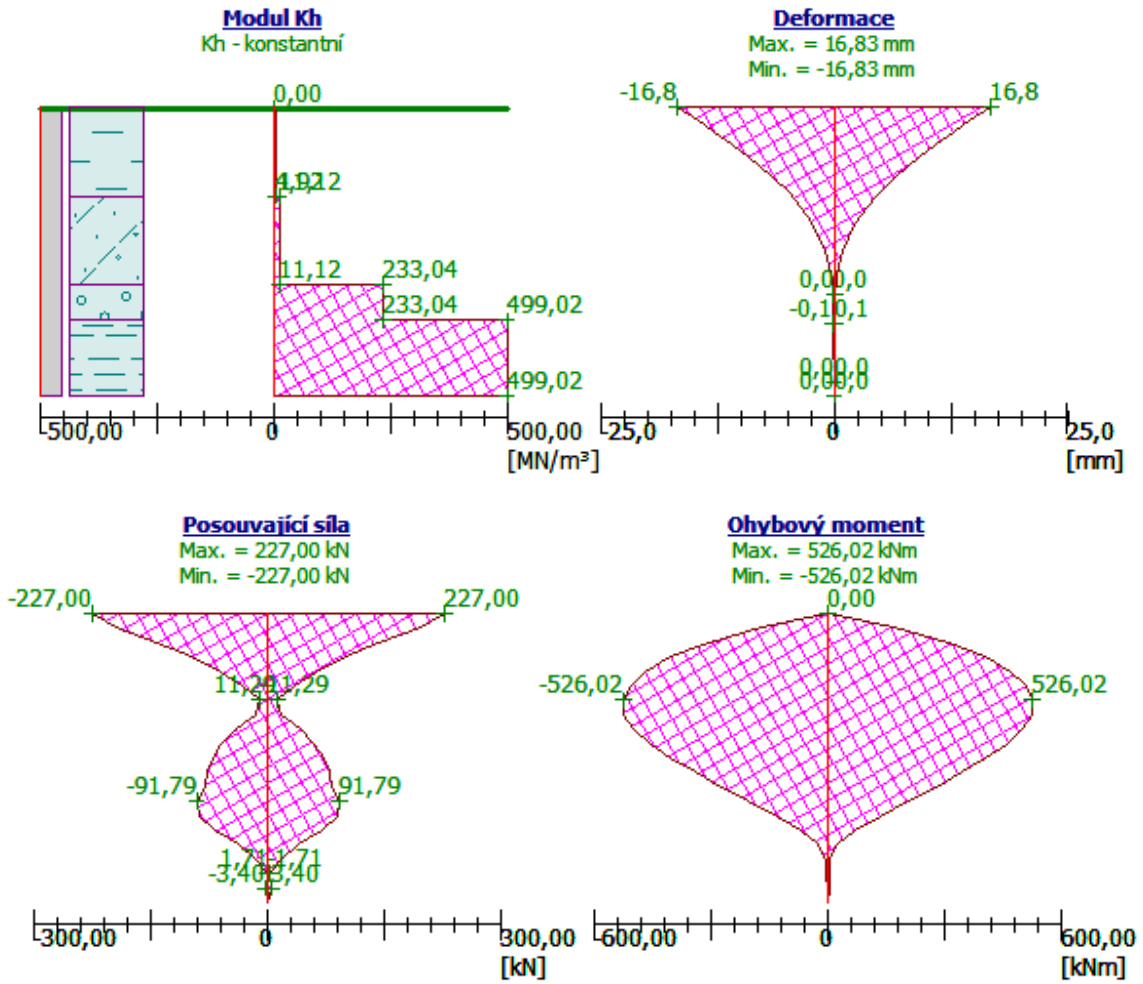
Tab. 5: Nastavení výpočtu GEO5

Nastavení výpočtu :	Standardní - EN 1997 - DA2
Betonové konstrukce :	EN 1992-1-1 (EC2)
Součinitele EN 1992-1-1 :	standardní
Ocelové konstrukce :	EN 1993-1-1 (EC3)
Dílčí součinitel únosnosti ocelového průřezu :	γ_{M0} = 1,00
Dřevěné konstrukce :	EN 1995-1-1 (EC5)
Dílčí součinitel vlastností dřeva :	γ_M = 1,30
Součinitel vlivu zatížení a vlhkosti (dřevo) :	k_{mod} = 0,50
Součinitel šířky průřezu ve smyku (dřevo) :	k_{cr} = 0,67
Výpočet pro odvodněné podmínky :	NAVFAC DM 7.2
Zatěžovací křivka :	lineární (Poulos)
Vodorovná únosnost :	pružný poloprostor
Metodika posouzení :	výpočet podle EN 1997
Návrhový přístup :	2 - redukce zatížení a odporu

Obr. 57: Výstup z GEO5: Svislá únosnost piloty



Obr. 58: Výstup z GEO5: Vodorovná únosnost piloty



Maximální vnitřní síly a deformace:

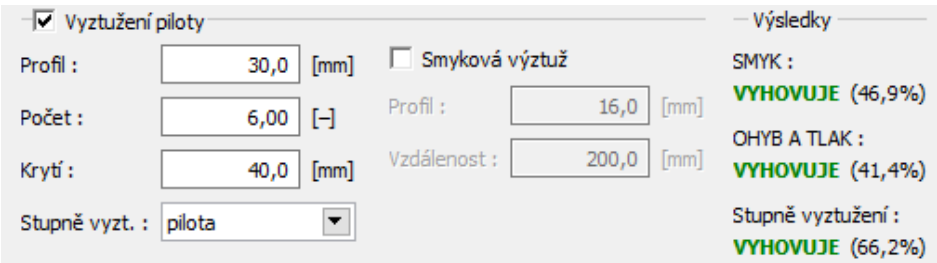
Max.deformace piloty = 16,8 mm
Max.posouvající síla = 227,00 kN
Maximální moment = 526,02 kNm

Posouzení na tlak a ohyb

Vyztužení - 6 ks profil 30,0 mm; krytí 40,0 mm
Typ konstrukce (stupně vyztužení) : pilota
Stupeň vyztužení ρ = 0,540 % > 0,357 % = ρ_{min}
Zatížení : N_{Ed} = -2754,00 kN (tlak) ; M_{Ed} = 526,02 kNm
Únosnost : N_{Rd} = -6658,39 kN; M_{Rd} = 1271,77 kNm
Navržená výztuž piloty VYHOVUJE

Posouzení na smyk

Posouvající síla na mezi únosnosti: V_{Rd} = 484,04 kN > 227,00 kN = V_{Ed}
Průřez VYHOVUJE.



Výpočet tuhosti piloty:

Ze svislých a vodorovných deformací vypočteme tuhost piloty a tu pomocí pružin vložíme do výpočetního modelu Scia Engineer. Následně provedeme výpočet vnitřních sil, který bude přesnější než dosavadní, co se týče chování konstrukce, a tyto výsledky použijeme pro další posuzování konstrukce.

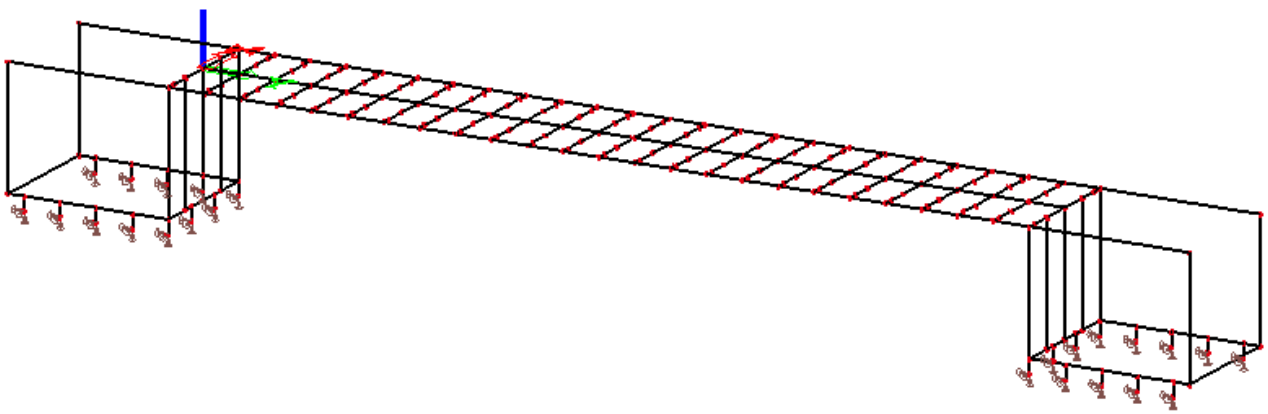
$$k_n = \frac{F}{\delta} = \frac{2752}{0{,}0245} = 112\,327\ kN$$

$$k_v = \frac{F}{\delta} = \frac{227}{0{,}0063} = 36\,031\ kN$$

7.2. Přesné výsledky vnitřních sil

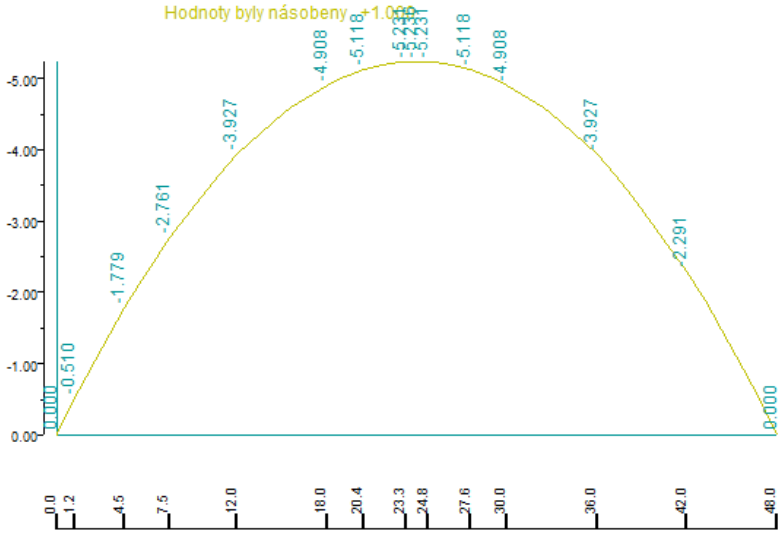
V této kapitole máme 3D model v programu Scie Engineer, ve kterém jsou místo pilot umístěny pružiny o vypočtených tuhostech, které zapříčiní změny průběhu vnitřních sil, směrem k vyšší přesnosti. Tyto vnitřní síly budou vykresleny a také uvedeny v přehledné tabulce a dále s nimi bude počítáno v kombinacích, které budou použity pro návrh předpětí konstrukce.

Obr. 59: 3D Model s pružinami

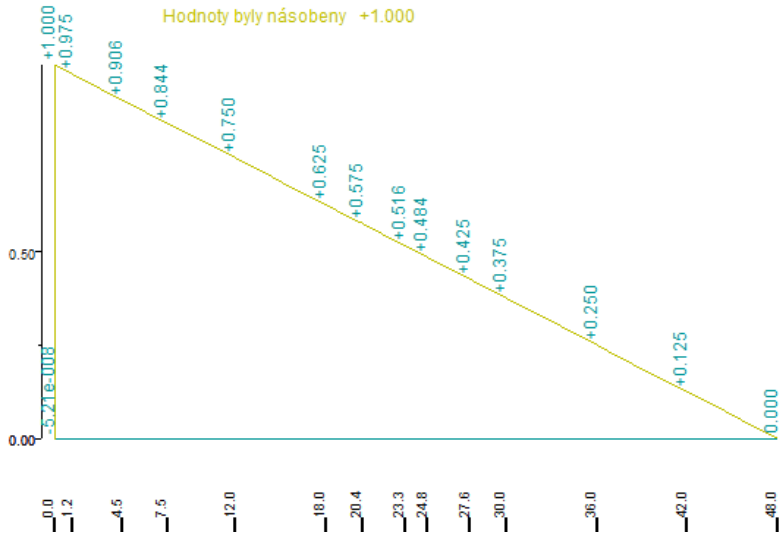


Pro návrh zatěžovacích stavů stanovíme pro rámovou konstrukci příčinkové čáry, pomocí kterých konstrukci zatížíme pro vyvolání největších vnitřních sil. Konstrukci budeme zatěžovat symetricky a pro zatěžovací stavy vždy stejně z obou stran konstrukce, aby nedocházelo v kombinacích k jiným vnitřním silám na koncích konstrukce, které by byly zapříčiněny například nerovnoměrnými poklesy opěr, nebo při nesymetrickém přitížení zemního tlaku od dopravy

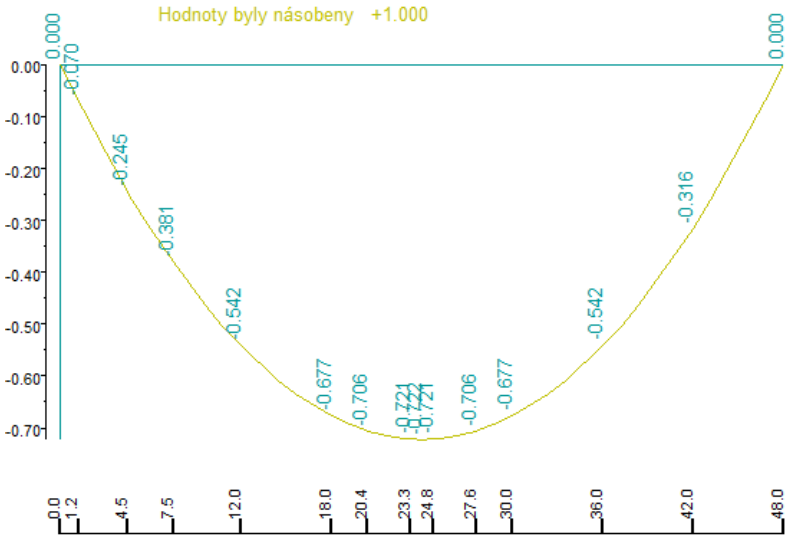
Obr. 60: Příčinkové čáry pro $M_{y,max}$ nad opěrou



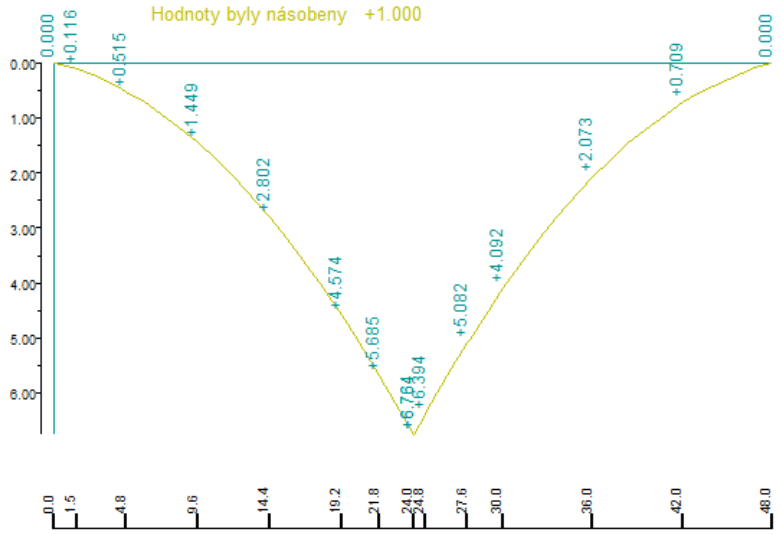
Obr. 61: Příčinkové čáry pro $V_{z,max}$ nad opěrou



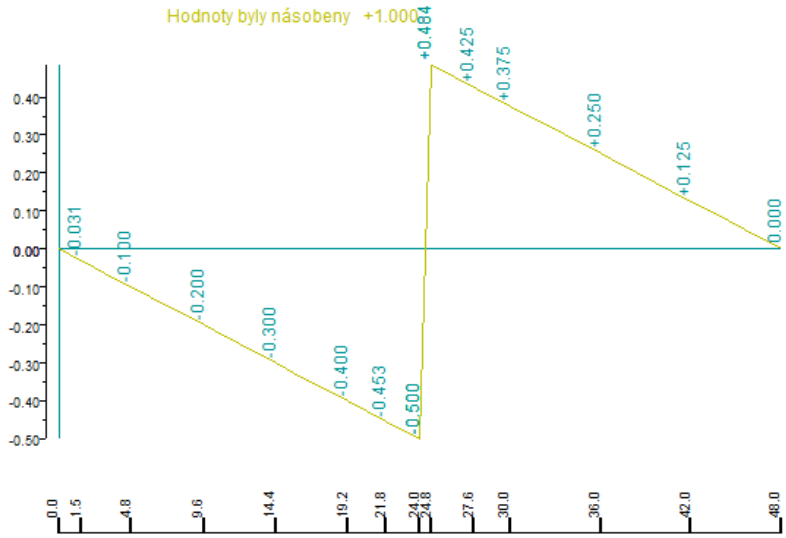
Obr. 62: Příčinkové čáry pro N nad opěrou = N uprostřed rozpětí



Obr. 63: Příčinkové čáry pro $M_{y,max}$ uprostřed rozpětí

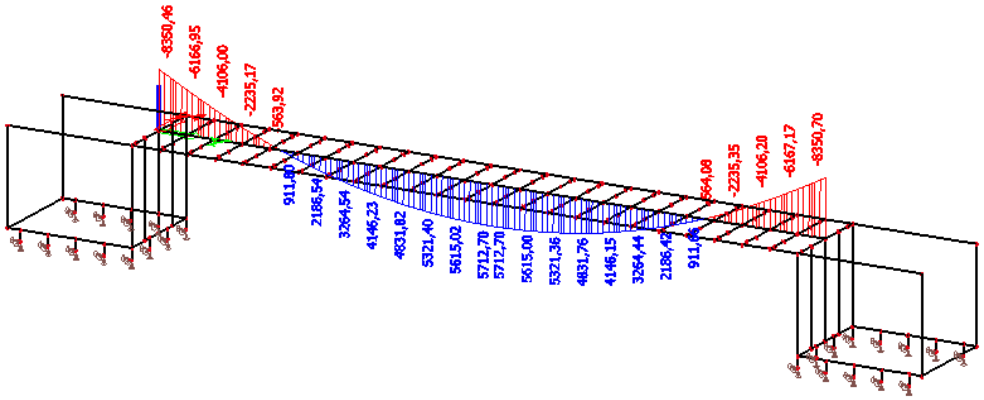


Obr. 64: Příčinkové čáry pro $V_{z,max}$ uprostřed rozpětí

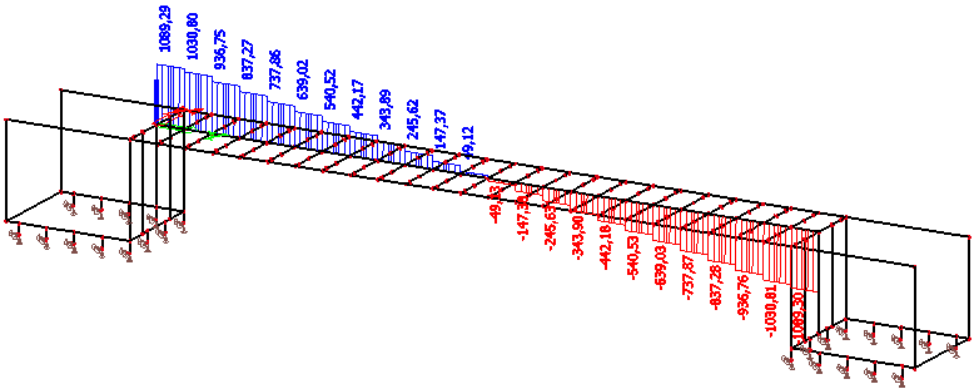


7.2.1. Vnitřní síly na komoru

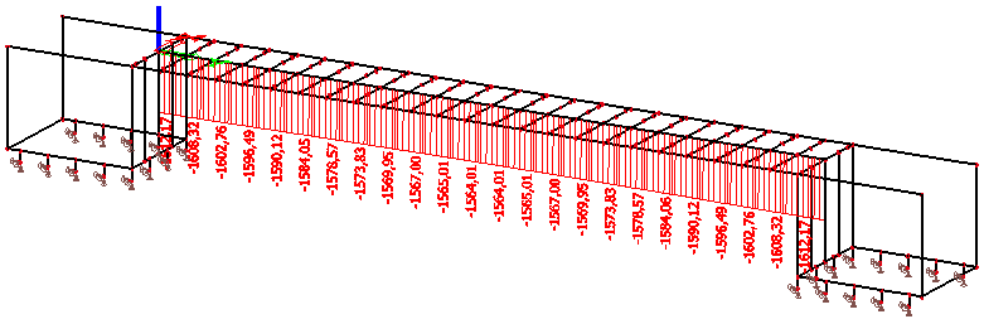
Obr. 65: Moment:Vlastní tíha [kNm]



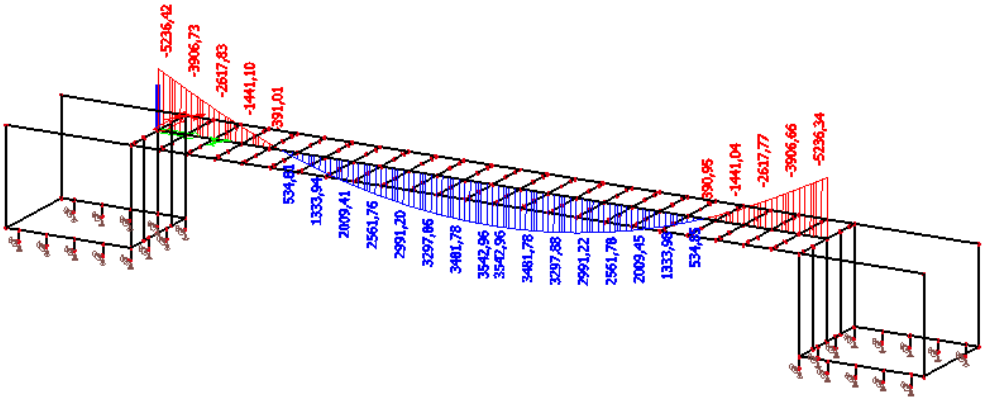
Obr. 66: Posouvající síla: Vlastní tíha [kN]



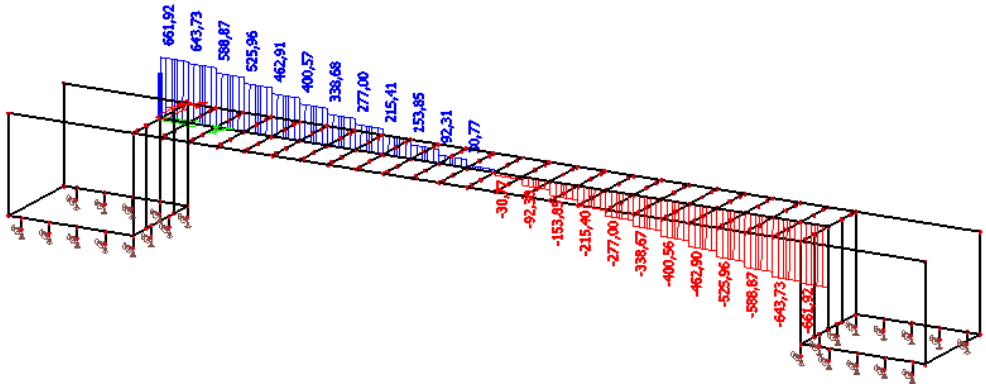
Obr. 67: Normálová síla: Vlastní tíha [kN]



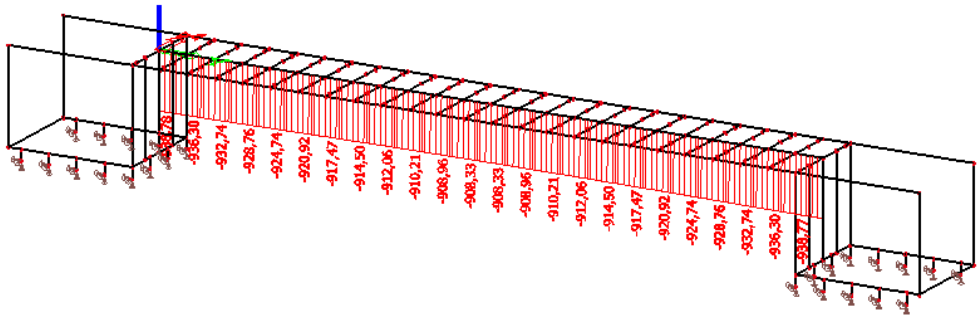
Obr. 68: Moment: Ostatní stálé zatížení [kNm]



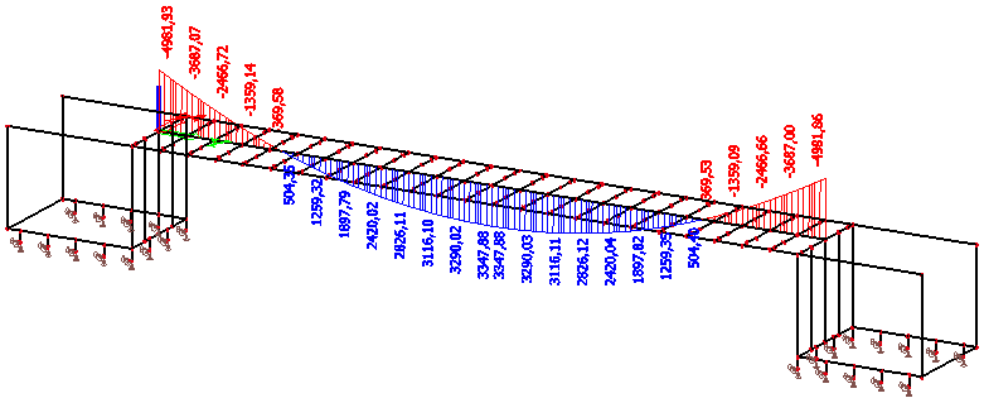
Obr. 69: Posouvající síla: Ostatní stálé zatížení [kN]



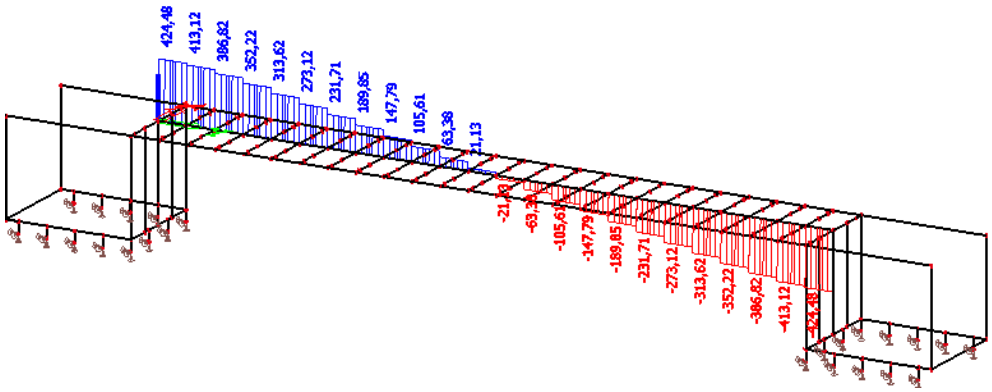
Obr. 70: Normálová síla: Ostatní stálé zatížení [kN]



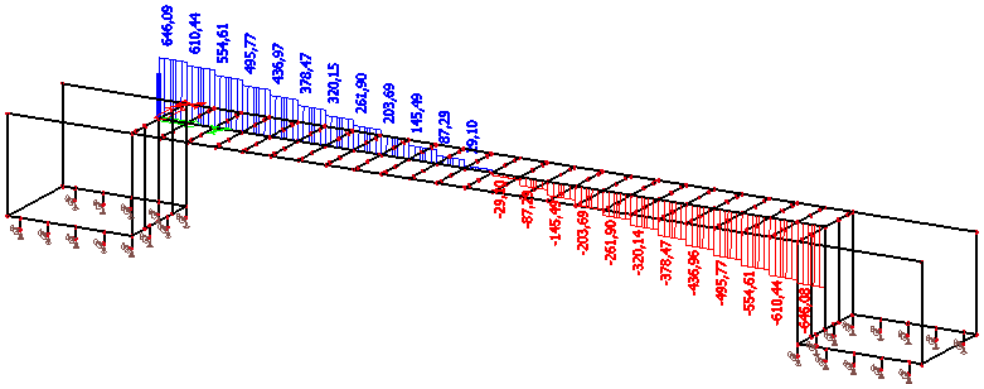
Obr. 71: Moment: LM1 spojité zatížení [kNm]



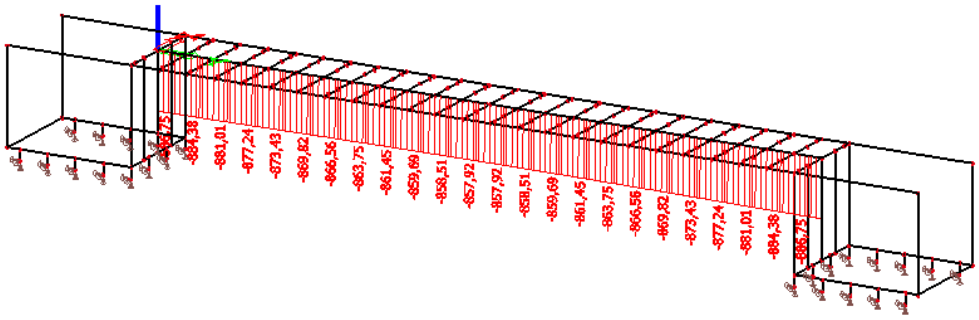
Obr. 72: Kroutící moment: LM1 spojité zatížení [kNm]



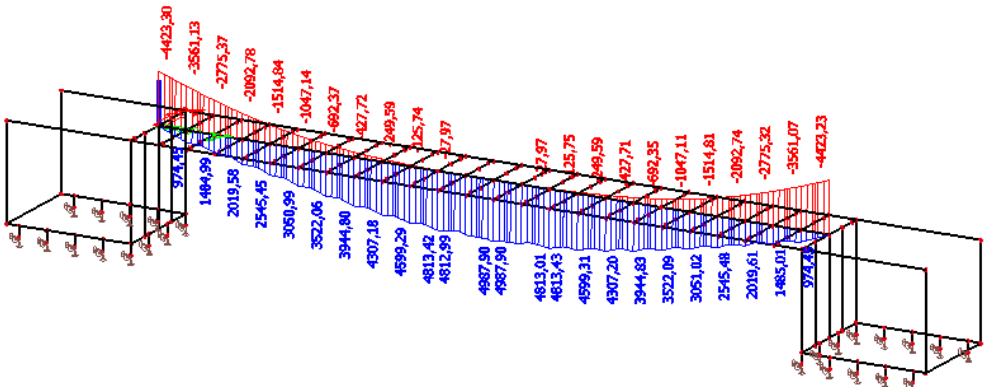
Obr. 73: Posouvající síla: LM1 spojité zatížení [kN]



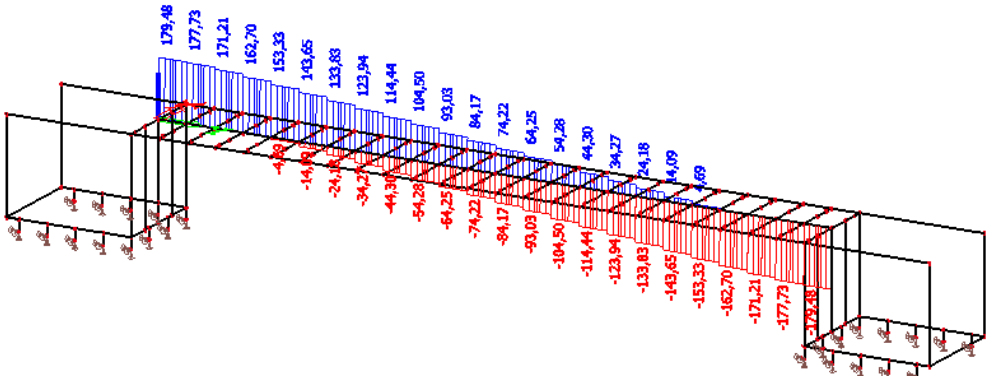
Obr. 74: Normálová síla: LM1 spojité zatížení [kN]



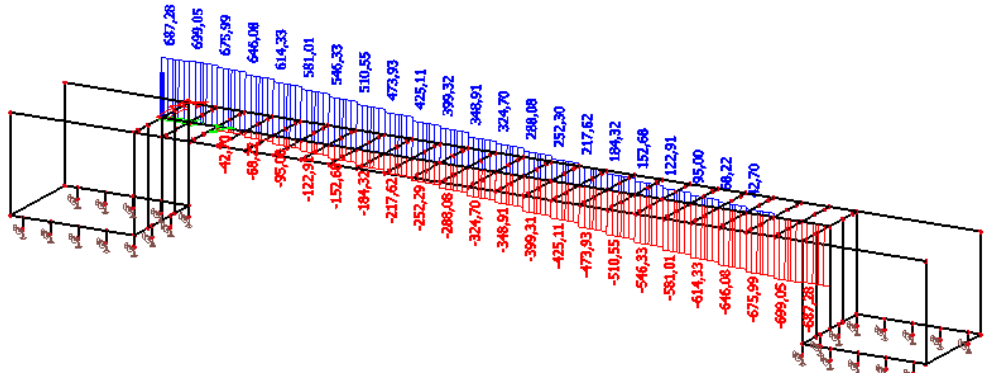
Obr. 75: Obálka momentů M_y: LM1 nápravové síly [kNm]



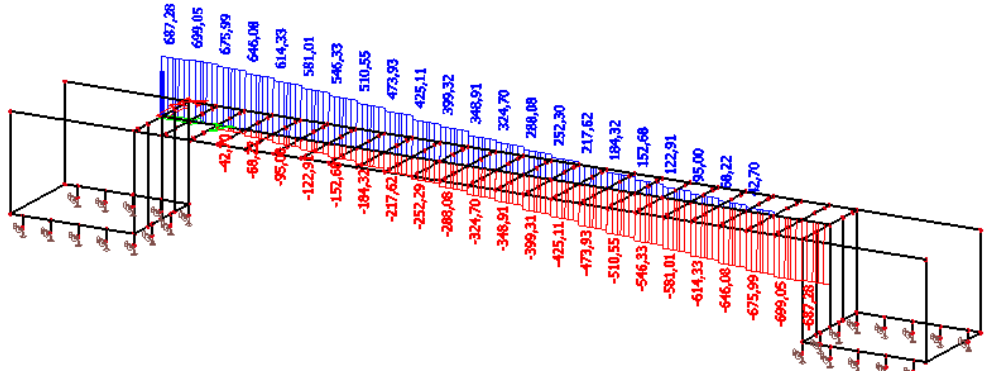
Obr. 76: Obálka kroutících momentů: LM1 nápravové síly [kNm]



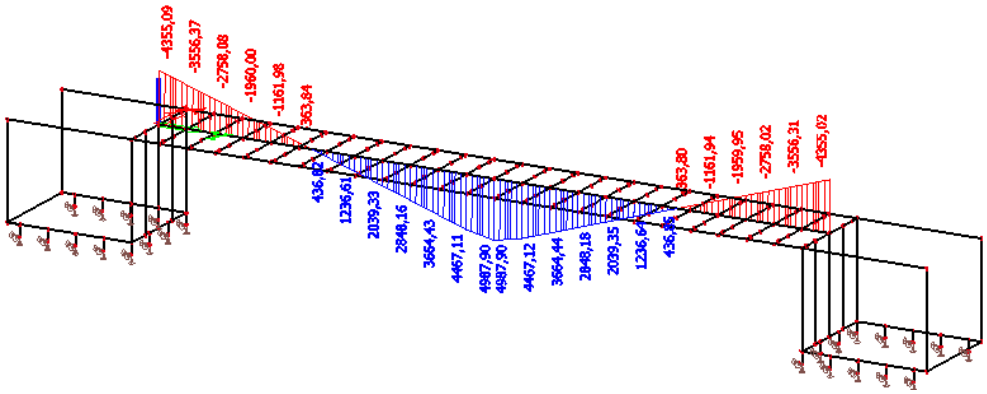
Obr. 77: Obálka posouvajících sil: LM1 nápravové síly [kN]



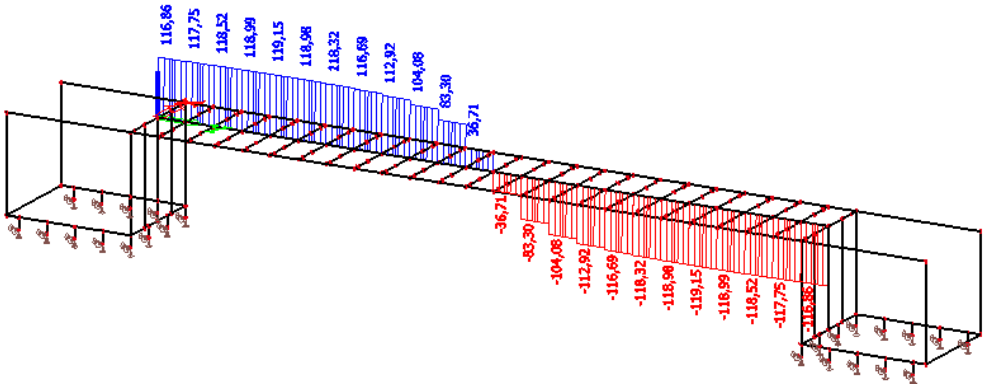
Obr. 78: Obálka normálových sil: LM1 nápravové síly [kN]



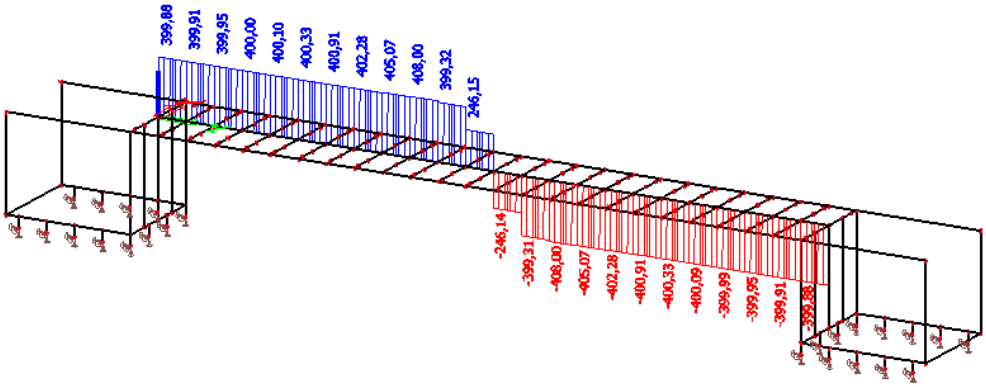
Obr. 79: Moment(M_{max}): LM1 nápravové síly [kNm]



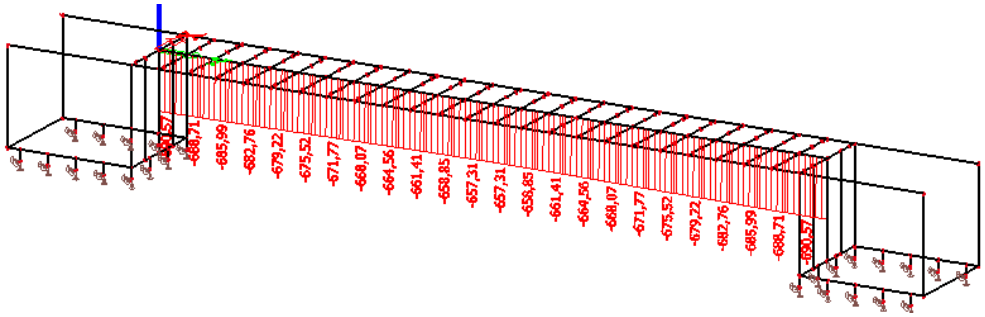
Obr. 80: Kroutící moment(M_{max}): LM1 nápravové síly [kNm]



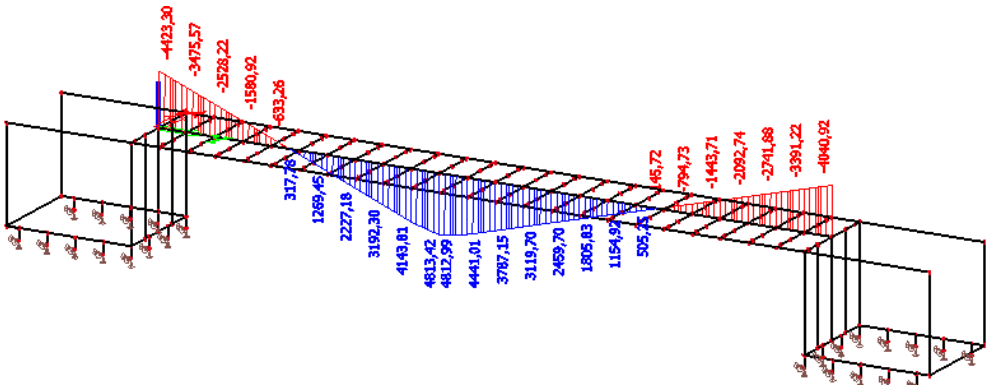
Obr. 81: Posouvající síla (M_{max}): LM1 nápravové síly [kN]



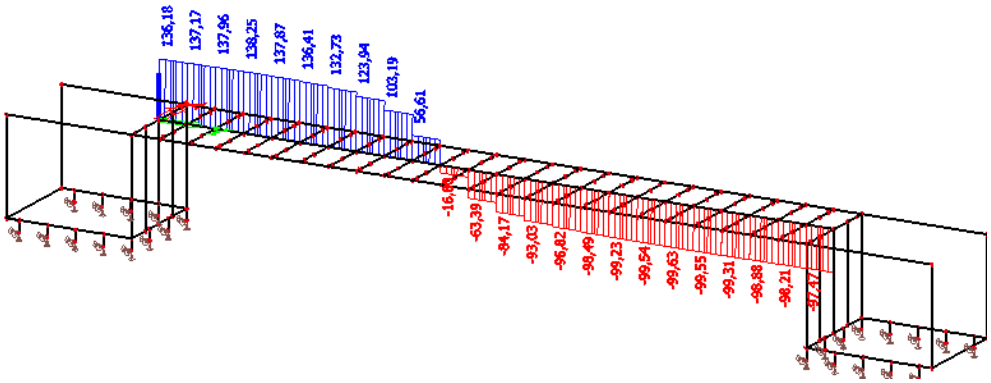
Obr. 82: Normálová síla(M_{max}): LM1 nápravové síly [kN]



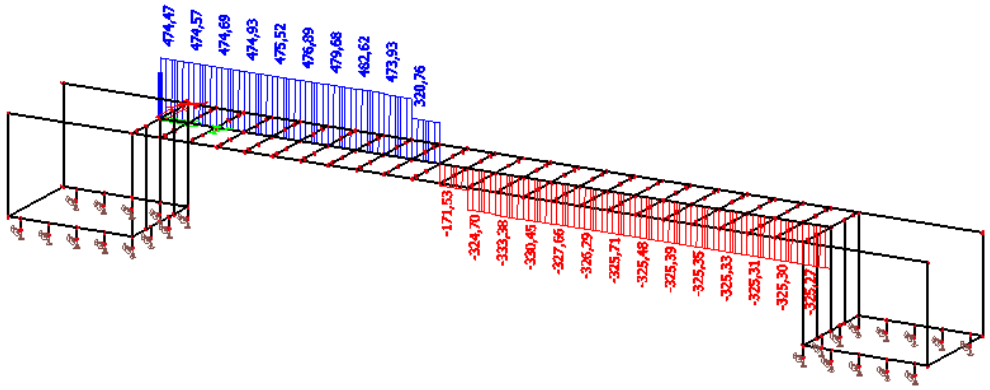
Obr. 83: Moment (M_{min}): LM1 nápravové síly [kNm]



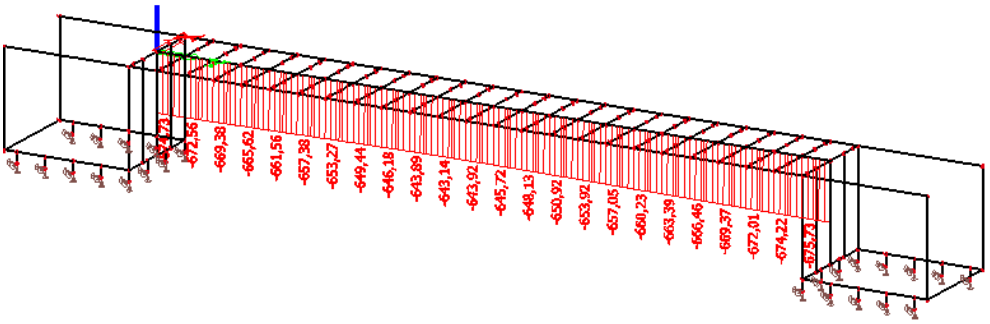
Obr. 84: Kroutící moment (M_{min}): LM1 nápravové síly [kNm]



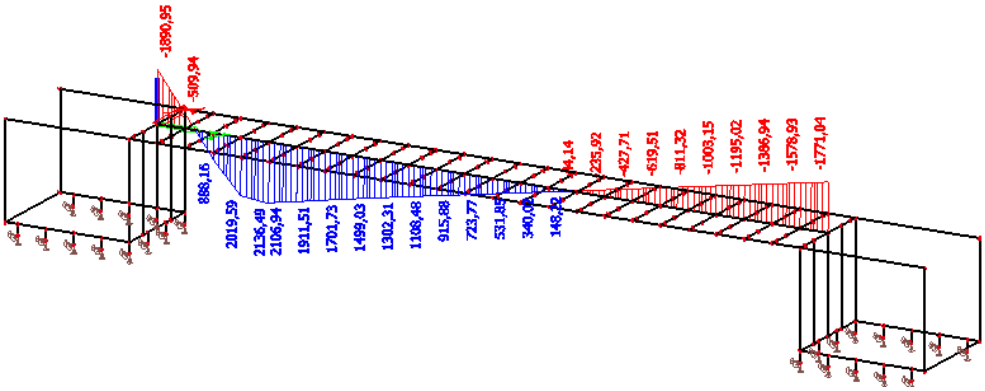
Obr. 85: Posouvající síla (M_{min}): LM1 nápravové síly [kN]



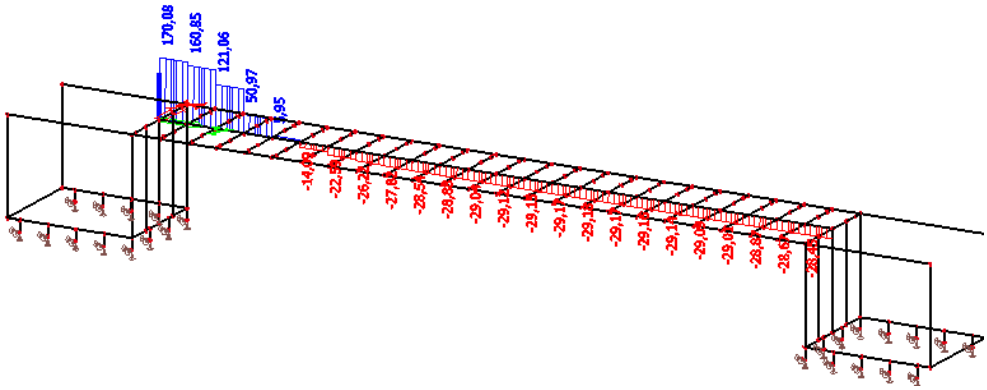
Obr. 86: Normálová síla (M_{min}): LM1 nápravové síly [kN]



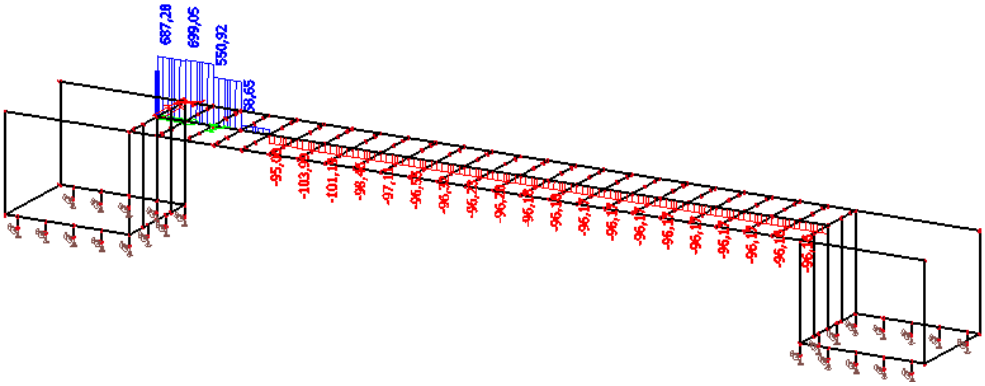
Obr. 87: Moment (V_{max}): LM1 nápravové síly [kNm]



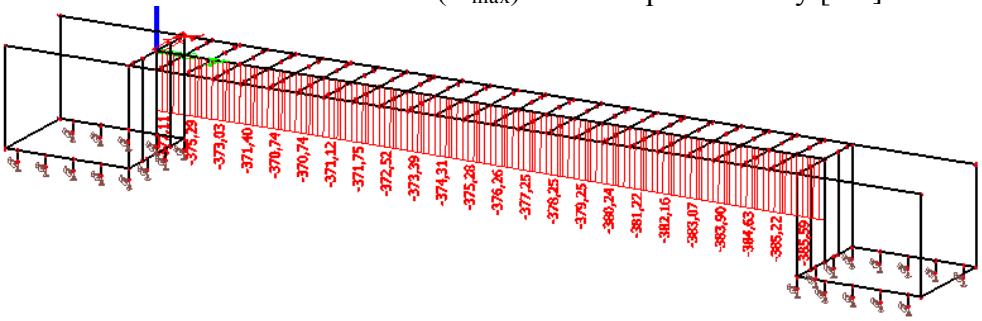
Obr. 88: Kroutící moment (V_{max}): LM1 nápravové síly [kNm]



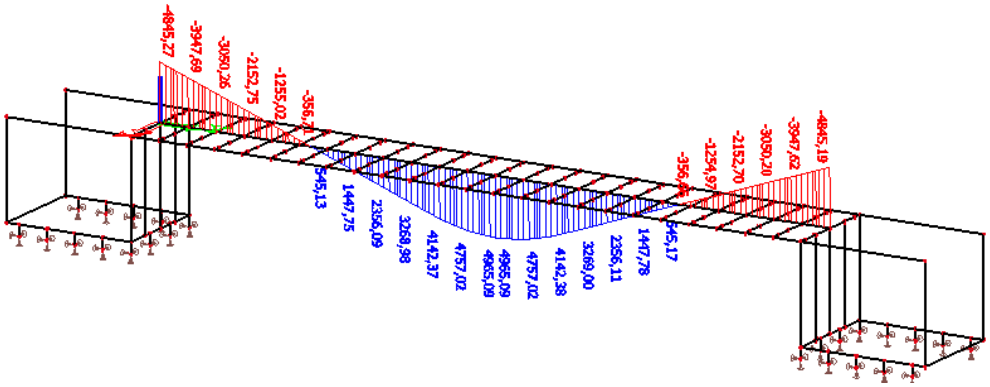
Obr. 89: Posouvající síla (V_{max}): LM1 nápravové síly [kN]



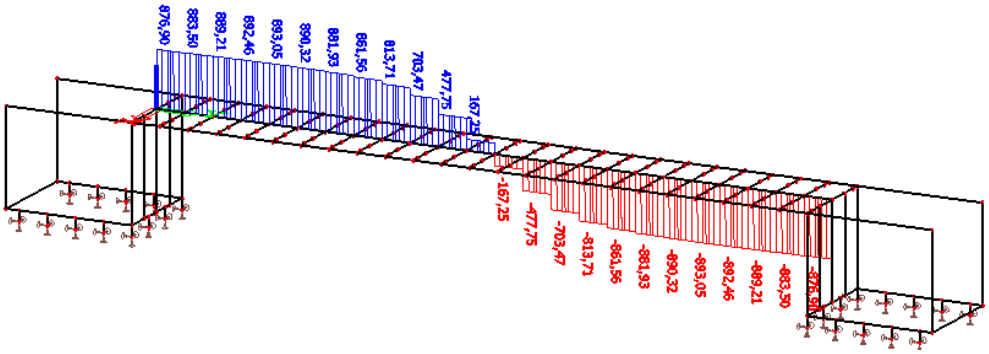
Obr. 90: Normálová síla (V_{max}): LM1 nápravové síly [kN]



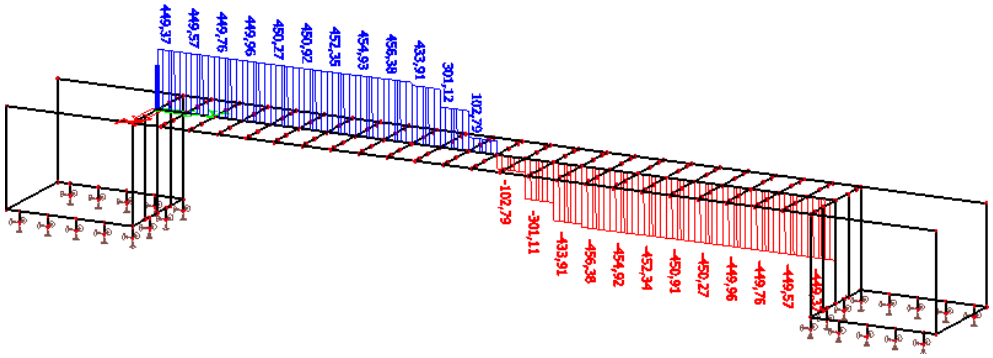
Obr. 91: Moment (M_{max}): LM3 nápravové síly [kNm]



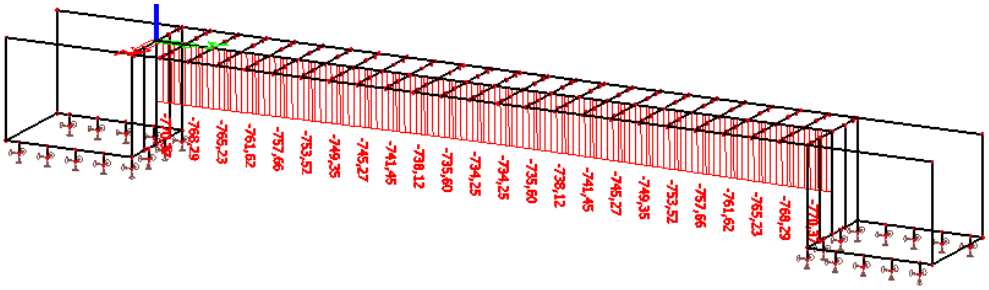
Obr. 92: Kroutící moment (M_{max}): LM3 nápravové síly [kNm]



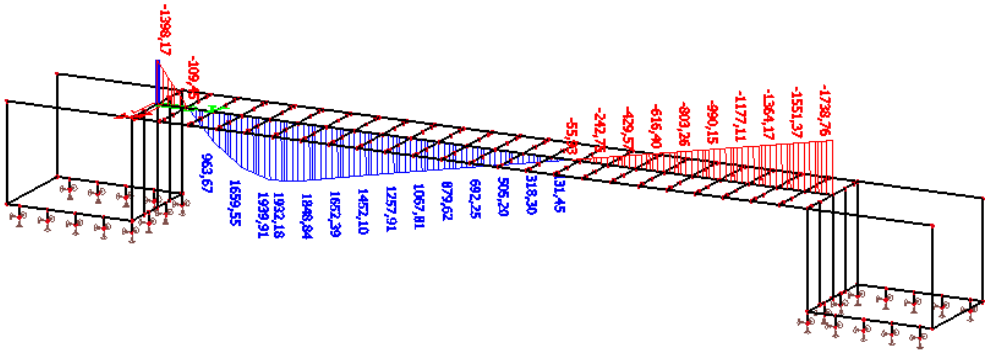
Obr. 93: Posouvající síla (M_{max}): LM3 nápravové síly [kN]



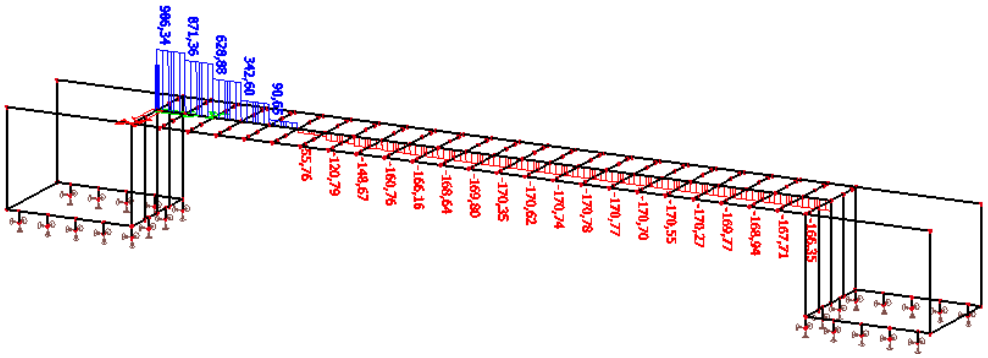
Obr. 94: Normálová síla (M_{max}): LM3 nápravové síly [kN]



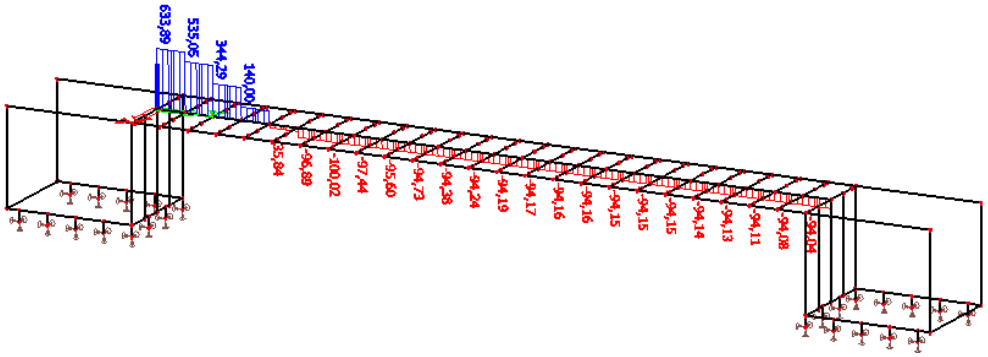
Obr. 95: Moment (V_{max}): LM3 nápravové síly [kNm]



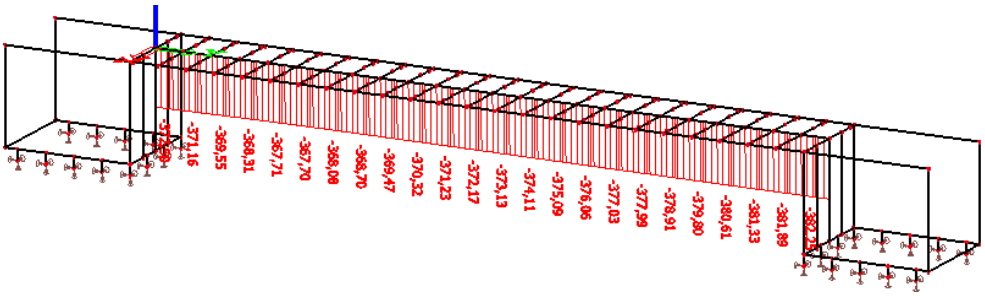
Obr. 96: Kroutící moment (V_{max}): LM3 nápravové síly [kNm]



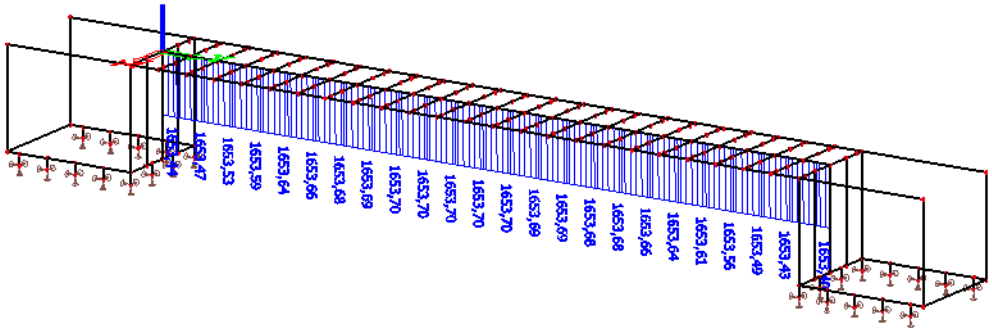
Obr. 97: Posouvající síla (V_{max}): LM3 nápravové síly [kN]



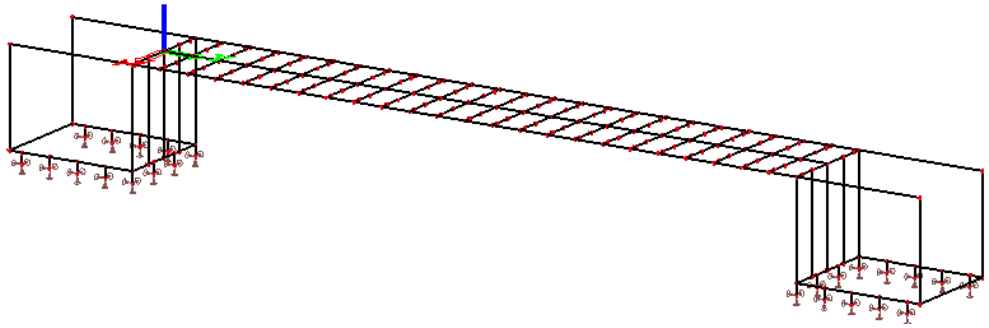
Obr. 98: Normálová síla (V_{max}): LM3 nápravové síly [kN]



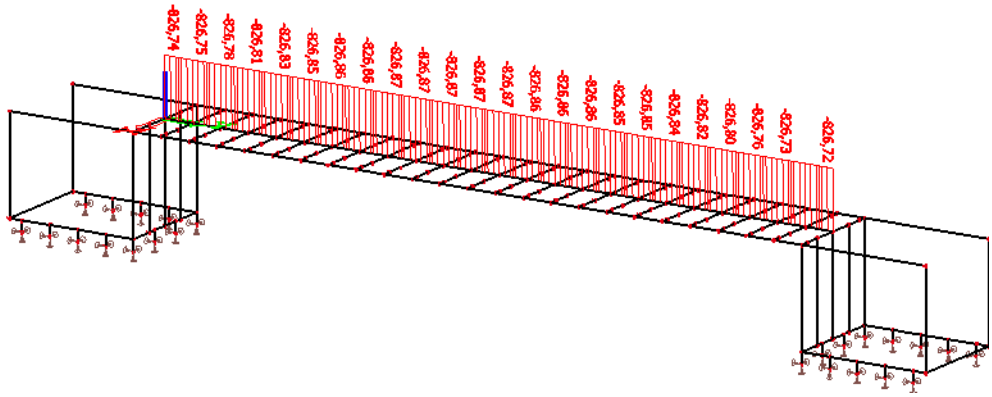
Obr. 99: Moment: Teplota – horní povrch teplejší [kNm]



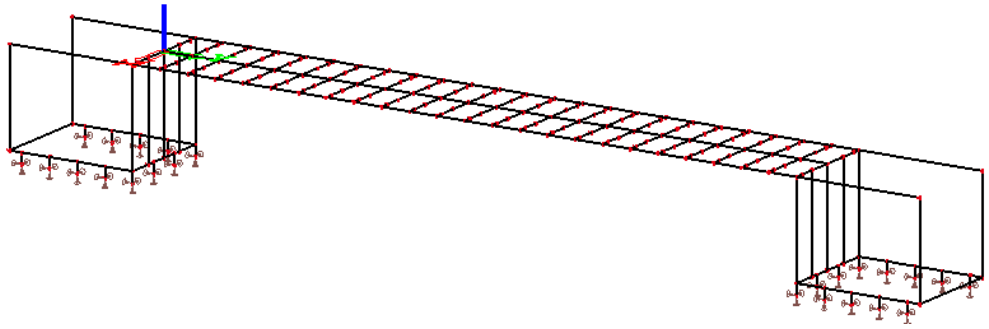
Obr. 100: Posouvající a normálová síla: Teplota – horní povrch teplejší [kN]



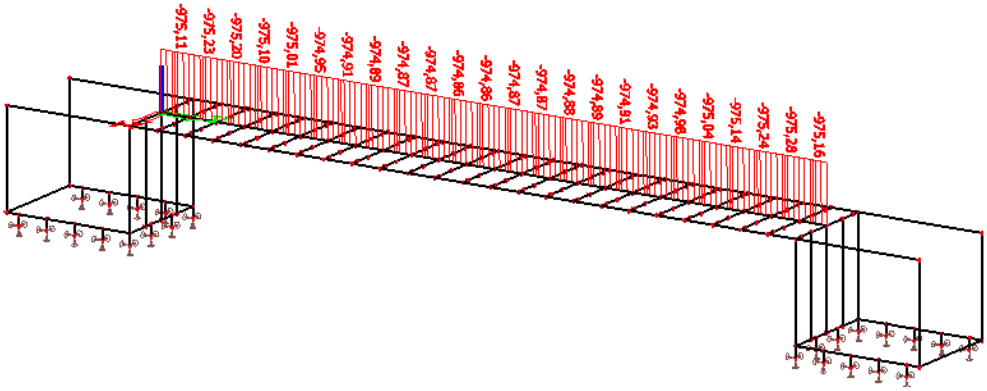
Obr. 101: Moment: Teplota – dolní povrch teplejší [kNm]



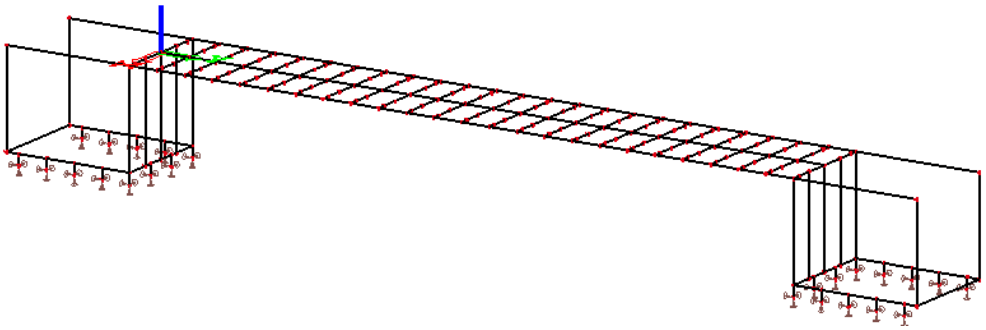
Obr. 102: Posouvající a normálová síla: Teplota – dolní povrch teplejší [kN]



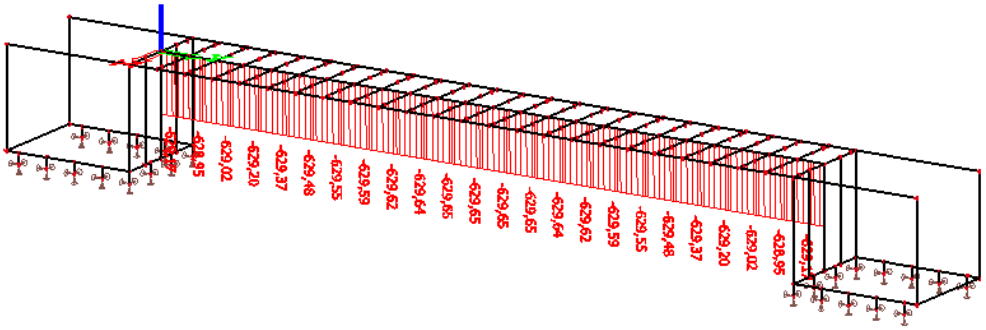
Obr. 103: Moment: Teplota – konstantní ohřátí[kNm]



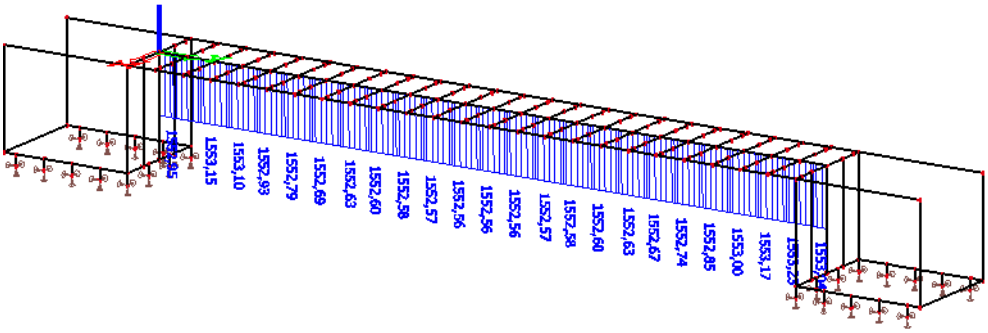
Obr. 104: Posouvající síla: Teplota – konstantní ohřátí [kN]



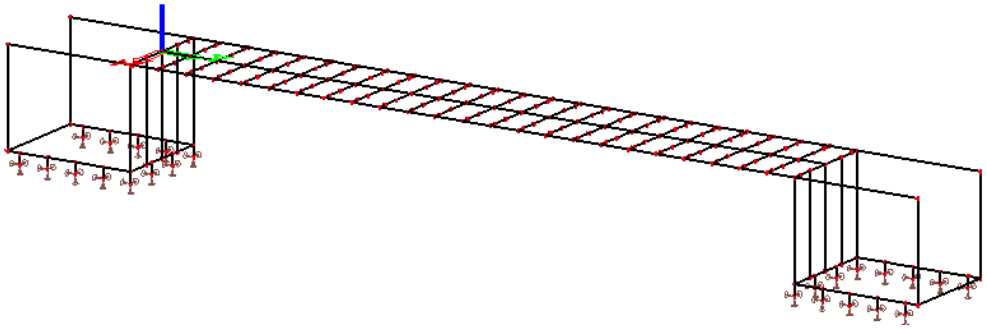
Obr. 105: Normálová síla: Teplota – konstantní ohřátí [kN]



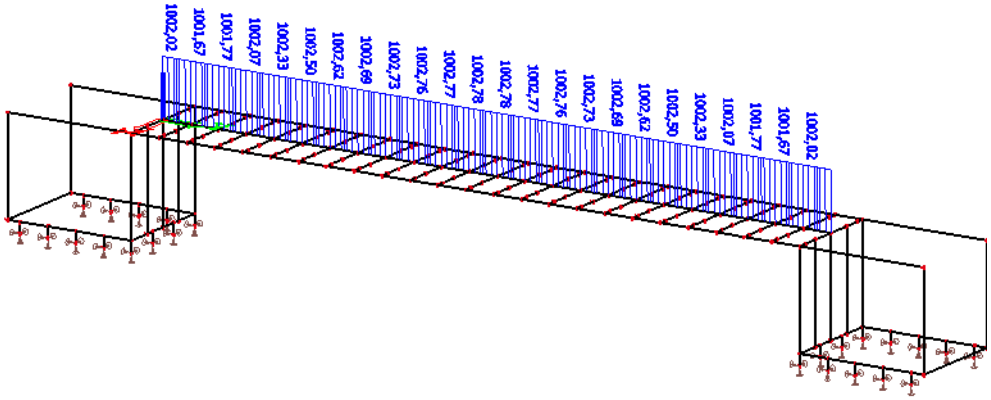
Obr. 106: Moment: Teplota – konstantní ochlazení [kNm]



Obr. 107: Posouvající síla: Teplota – konstantní ochlazení [kN]

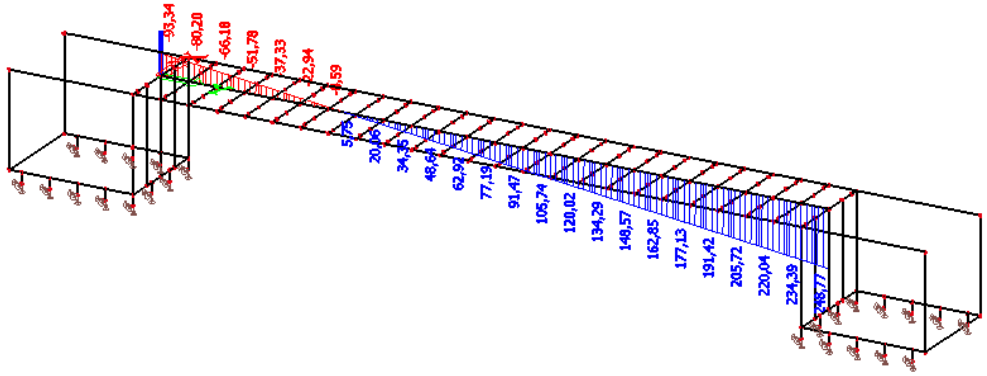


Obr. 108: normálová síla: Teplota – konstantní ochlazení [kN]

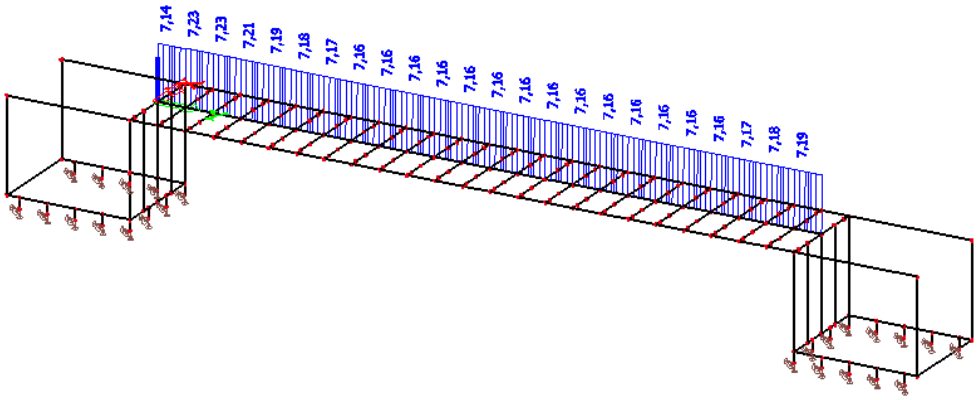


Nerovnoměrný pokles je uvažován jako celkový pokles celé opěry konstantně jako celku, nikoli natočení konstrukce jako celku a nerovnoměrnému zatlačení pilot. Z tohoto důvodu nejsou momenty vyvolané poklesem symetrické.

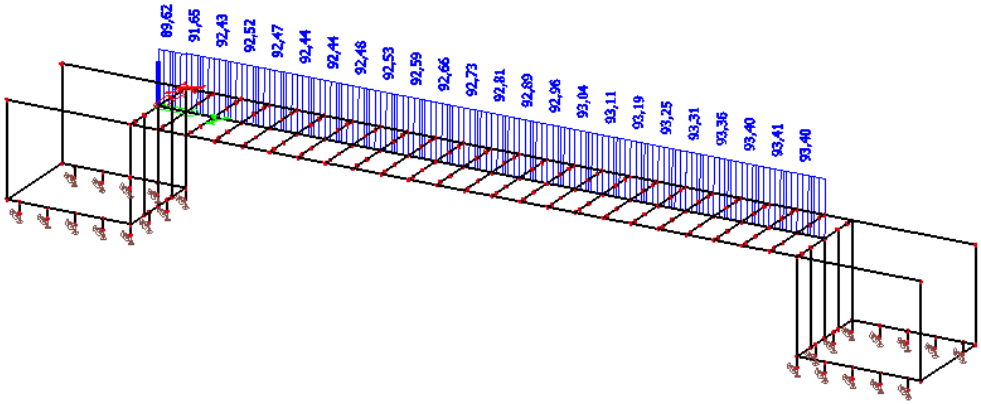
Obr. 109: Moment: Nerovnoměrný pokles opěry [kNm]



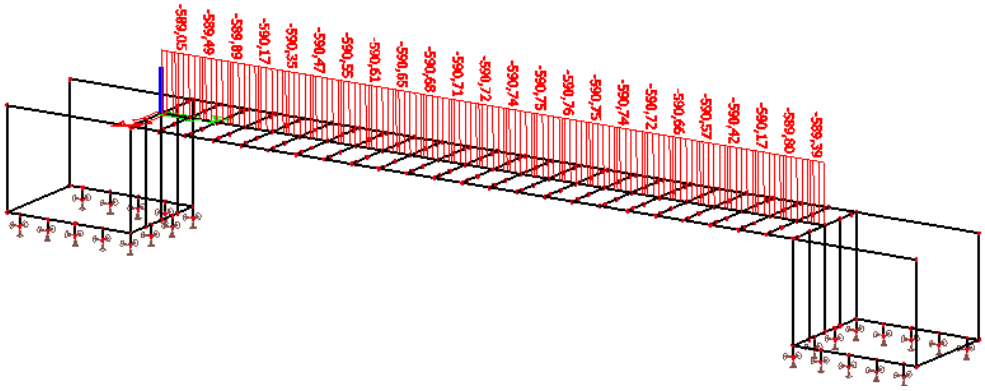
Obr. 110: Posouvající síla: Nerovnoměrný pokles opěry [kN]



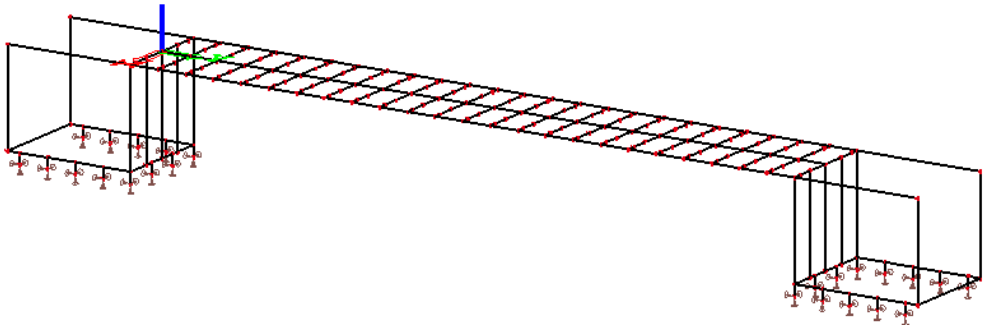
Obr. 111: Normálová síla: Nerovnoměrný pokles opěry [kN]



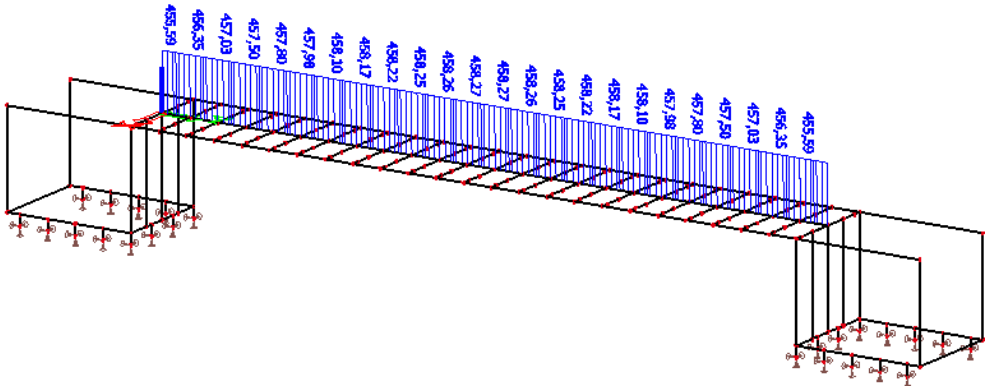
Obr. 112: Moment: Zatížení zeminou [kNm]



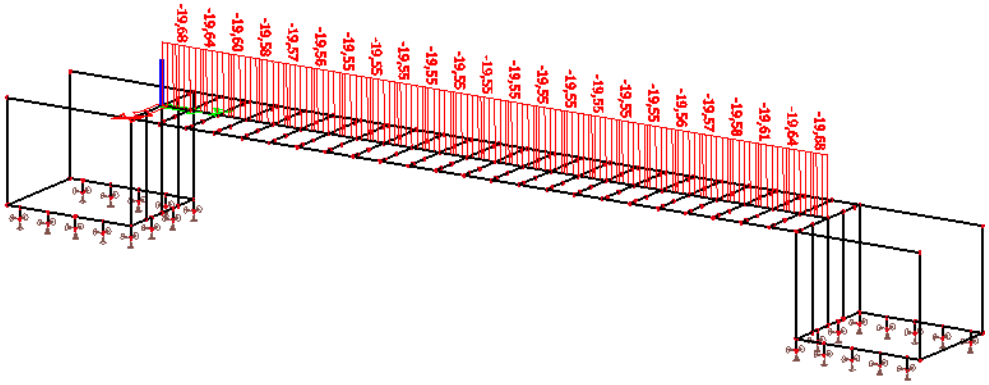
Obr. 113: Posouvající síla: Zatížení zeminou [kN]



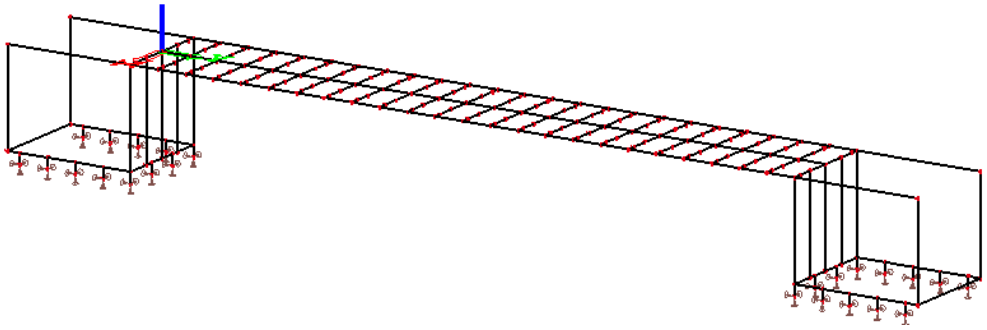
Obr. 114: Normálová síla: Zatížení zeminou [kN]



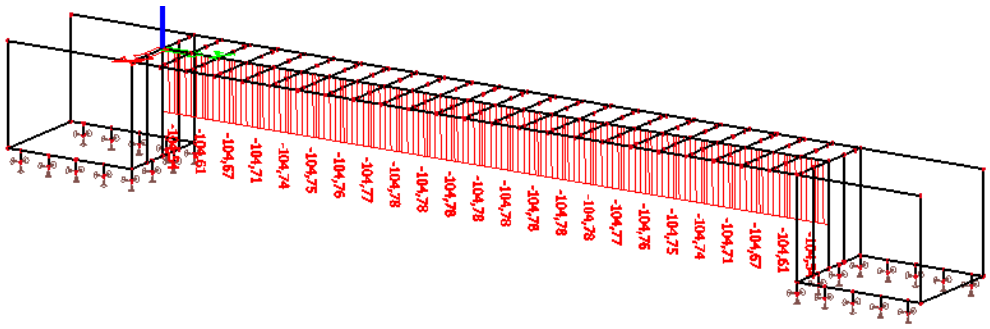
Obr. 115: Moment: Zatížení zeminou přitížení symetrické[kNm]



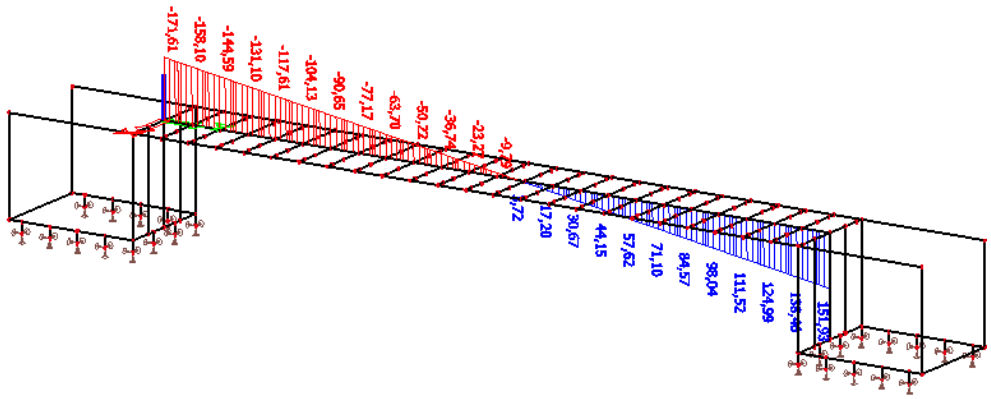
Obr. 116: Posouvající síla: Zatížení zeminou přitížení symetrické [kN]



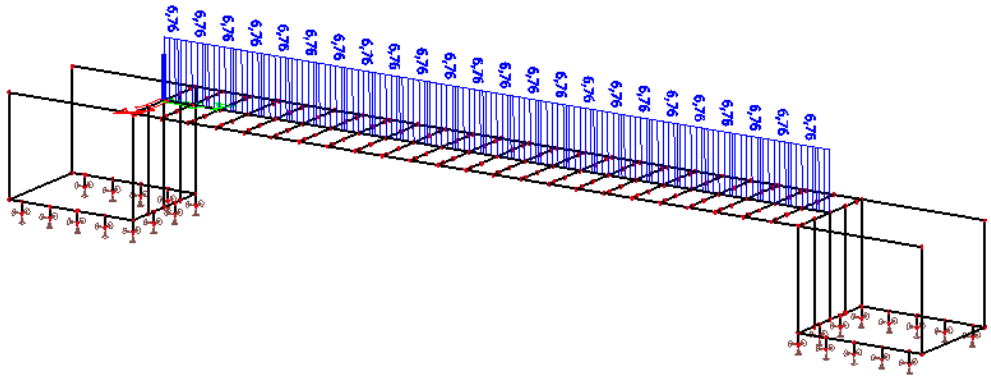
Obr. 117: Normálová síla: Zatížení zeminou přitížení symetrické [kN]



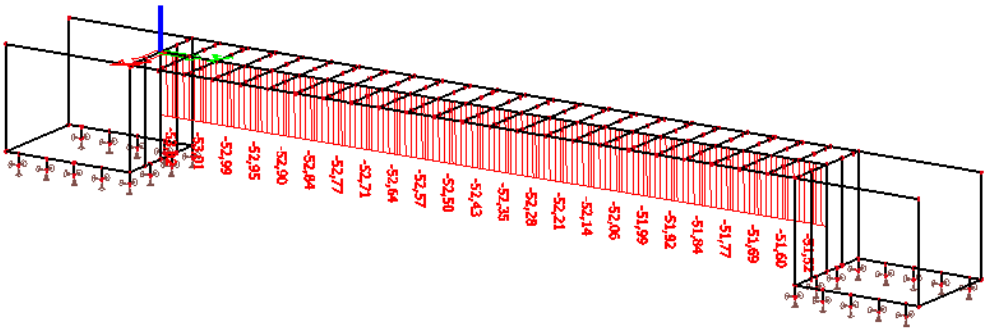
Obr. 118: Moment: Zatížení zeminou přitížení nesymetrické [kNm]



Obr. 119: Posouvající síla: Zatížení zeminou přitížení nesymetrické [kN]



Obr. 120: Normálová síla: Zatížení zeminou přitížení nesymetrické [kN]



Pro přehled a volbu zatěžovacích stavů pro kombinace na návrh předpětí uvedeme všechny zatěžovací stavy v přehledné tabulce a ve všech řezech.

Tab. 6: Vnitřní síly na nosníku od dopravy [M kNm; V,N kN]

ŘEZ	LM1 [kNm]											LM3 [kNm]							
	TS			UDL								UDL							
[m]	M	V	N	Mmax	Mmin	Vmax	Vmin	Tmax	Tmin	Nmax	Nmin	Mmax	Mmin	Vmax	Vmin	Tmax	Tmin	Nmax	Nmin
0	**-4981,86**	**-646,08**	**-886,75**	**0**	**-4423,23**	**699,05**	**0**	**179,48**	**0**	**0**	**-690,57**	**0**	**-4845,19**	**737,99**	**0**	**1278**	**0**	**0**	**-770,37**
2	-3687	-610,44	-884,38	974,45	-3561,07	687,28	0	177,73	0	0	-688,71	127,25	-3947,62	737,79	-64,7	1231,79	-39,18	0	-768,29
4	-2466,66	-554,61	-881,01	1485,01	-2775,32	675,99	0	171,21	0	0	-685,99	246,12	-3050,2	620,68	-70,2	1168,89	-61,95	0	-765,23
6	-1359,09	-495,77	-877,24	2019,61	-2092,74	646,08	-42,7	162,7	0	0	-682,76	1065,44	-2238,05	619,17	-82,61	1154,08	-105,74	0	-761,62
8	-369,53	-436,96	-873,43	2545,48	-1514,81	614,33	-68,22	153,33	0	0	-679,22	1609,52	-1668,54	616,46	-82,64	1109,55	-135,94	0	-757,66
10	504,4	-378,47	-869,82	3051,02	-1047,11	581,01	-95	143,65	-4,69	0	-675,52	2249,44	-1099,02	598,25	-82,67	1001,17	-137,07	0	-753,52
12	**1259,35**	**-320,14**	**-866,56**	**3522,09**	**-692,35**	**546,33**	**-122,91**	**133,83**	**-14,09**	**0**	**-671,77**	**2661,4**	**-730,05**	**465,47**	**-88,32**	**881,93**	**-138,09**	**0**	**-749,35**
14	1897,82	-261,9	-863,75	3944,83	-427,71	510,55	-152,68	123,94	-24,18	0	-668,13	2728,92	-448,59	456,38	-125,03	861,56	-138,78	0	-745,27
16	2420,04	-203,69	-861,45	4307,2	-249,59	473,93	-184,32	114,44	-34,27	0	-664,68	3671,48	-248,7	454,93	-143,55	813,71	-210,56	0	-741,45
18	2826,12	-145,49	-859,69	4599,31	-125,75	425,11	-217,62	104,5	-44,3	0	-661,5	4207,42	-83,76	433,91	-146,12	703,47	-258,09	0	-738,12
20	3116,11	-87,29	-858,51	4813,01	-27,97	399,32	-252,29	93,03	-54,28	0	-658,85	4329,69	0	301,12	-147,55	582,94	-278,61	0	-735,6
22	3290,03	-29,1	-857,92	4813,43	0	348,91	-288,08	84,17	-64,25	0	-657,31	4757,02	0	292	-269,53	562,18	-403,83	0	-734,25
24	**3347,88**	**0**	**-857,92**	**4987,9**	**0**	**324,7**	**-324,7**	**74,22**	**-74,22**	**0**	**-657,31**	**4965,08**	**0**	**290,56**	**-290,55**	**514,14**	**-514,14**	**0**	**-734,25**
26	3290,03	29,1	-857,92	4813,43	0	288,08	-348,91	64,25	-84,17	0	-657,31	4757,02	0	269,53	-292	403,83	-562,18	0	-734,25
28	3116,11	87,29	-858,51	4813,01	-27,97	252,3	-399,31	54,28	-93,03	0	-658,85	4329,69	0	147,55	-301,11	278,61	-582,94	0	-735,6
30	2826,12	145,49	-859,69	4599,31	-125,75	217,62	-425,11	44,3	-104,5	0	-661,5	4207,42	-83,76	146,12	-433,91	258,09	-703,47	0	-738,12
32	2420,04	203,69	-861,45	4307,2	-249,59	184,32	-473,93	34,27	-114,44	0	-664,68	3671,48	-248,7	143,55	-454,92	210,56	-813,71	0	-741,45
34	1897,82	261,9	-863,75	3944,83	-427,71	152,68	-510,55	24,18	-123,94	0	-668,13	2728,92	-448,59	125,03	-456,38	138,78	-861,56	0	-745,27
36	**1259,35**	**320,15**	**-866,56**	**3522,09**	**-692,35**	**122,91**	**-546,33**	**14,09**	**-133,83**	**0**	**-671,77**	**2661,4**	**-730,05**	**88,32**	**-465,47**	**138,09**	**-881,93**	**0**	**-749,35**
38	504,4	378,47	-869,82	3051,02	-1047,11	95	-581,01	4,69	-143,65	0	-675,52	2249,44	-1099,02	82,67	-598,25	137,07	-1001,17	0	-753,52
40	-369,53	436,97	-873,43	2545,48	-1514,81	68,22	-614,33	0	-153,33	0	-679,22	1609,52	-1668,54	82,64	-616,45	135,94	-1109,55	0	-757,66
42	-1359,09	495,77	-877,24	2019,61	-2092,74	42,7	-646,08	0	-162,7	0	-682,76	1065,44	-2238,05	82,61	-619,16	105,74	-1154,08	0	-761,62
44	-2466,66	554,61	-881,01	1485,01	-2775,32	0	-675,99	0	-171,21	0	-685,99	246,12	-3050,2	70,2	-620,68	61,95	-1168,89	0	-765,23
46	-3687	610,44	-884,38	974,45	-3561,07	0	-687,28	0	-177,73	0	-688,71	127,25	-3947,62	64,7	-737,79	39,18	-1231,79	0	-768,29
48	**-4981,86**	**646,09**	**-886,75**	**0**	**-4423,23**	**0**	**-699,05**	**0**	**-179,48**	**0**	**-690,57**	**0**	**-4845,19**	**0**	**-737,98**	**0**	**-1278**	**0**	**-770,37**

Tab. 7: Vnitřní síly na nosníku od teploty a zemních tlaků (M [kNm]; V, N [kN])

ŘEZ	ZATÍŽENÍ TEPLOTOU												ZEMNÍ TLAKY								
[m]	KONST. OHŘÁTÍ ONSTRUKCE			KONST. OCHLAZENÍ ONSTRUKCE			NEROV. OHŘÁTÍ KONSTRUKCE			NEROV. OCHLAZENÍ KONSTRUKCE			ZEMNI TLAK V KLIDU			PŘITÍŽENÍ			ASYM. PŘITÍŽENÍ		
	M	V	N	M	V	N	M	V	N	M	V	N	M	V	N	M	V	N	M	V	N
0	**-975,28**	**0**	**-629,17**	**1553,23**	**0**	**1002,02**	**1653,47**	**0**	**0**	**-826,75**	**0**	**0**	**-589,39**	**0**	**455,59**	**-19,68**	**0**	**-104,54**	**151,93**	**6,76**	**-51,52**
2	-975,16	0	-628,95	1553,04	0	1001,67	1653,44	0	0	-826,74	0	0	-589,8	0	456,35	-19,64	0	-104,61	138,46	6,76	-51,6
4	-975,24	0	-629,02	1553,17	0	1001,77	1653,53	0	0	-826,78	0	0	-590,17	0	457,03	-19,61	0	-104,67	124,99	6,76	-51,69
6	-975,14	0	-629,2	1552,99	0	1002,07	1653,59	0	0	-826,81	0	0	-590,42	0	457,5	-19,58	0	-104,71	111,52	6,76	-51,77
8	-975,04	0	-629,37	1552,85	0	1002,33	1653,64	0	0	-826,83	0	0	-590,57	0	457,8	-19,57	0	-104,74	98,04	6,76	-51,84
10	-974,97	0	-629,48	1552,74	0	1002,5	1653,66	0	0	-826,85	0	0	-590,66	0	457,98	-19,56	0	-104,75	84,57	6,76	-51,92
12	**-974,93**	**0**	**-629,55**	**1552,67**	**0**	**1002,62**	**1653,68**	**0**	**0**	**-826,86**	**0**	**0**	**-590,72**	**0**	**458,1**	**-19,55**	**0**	**-104,76**	**71,1**	**6,76**	**-51,99**
14	-974,91	0	-629,59	1552,63	0	1002,68	1653,69	0	0	-826,86	0	0	-590,74	0	458,17	-19,55	0	-104,77	57,62	6,76	-52,06
16	-974,89	0	-629,62	1552,6	0	1002,73	1653,69	0	0	-826,87	0	0	-590,75	0	458,22	-19,55	0	-104,78	44,15	6,76	-52,14
18	-974,88	0	-629,64	1552,58	0	1002,76	1653,7	0	0	-826,87	0	0	-590,76	0	458,25	-19,55	0	-104,78	30,67	6,76	-52,21
20	-974,87	0	-629,65	1552,57	0	1002,77	1653,7	0	0	-826,87	0	0	-590,75	0	458,26	-19,55	0	-104,78	17,2	6,76	-52,28
22	-974,87	0	-629,65	1552,56	0	1002,78	1653,7	0	0	-826,87	0	0	-590,74	0	458,27	-19,55	0	-104,78	3,72	6,76	-52,35
24	**-974,86**	**0**	**-629,65**	**1552,56**	**0**	**1002,78**	**1653,7**	**0**	**0**	**-826,87**	**0**	**0**	**-590,72**	**0**	**458,27**	**-19,55**	**0**	**-104,78**	**-9,79**	**6,76**	**-52,43**
26	-974,87	0	-629,65	1552,56	0	1002,78	1653,7	0	0	-826,87	0	0	-590,74	0	458,27	-19,55	0	-104,78	-23,27	6,76	-52,5
28	-974,87	0	-629,65	1552,57	0	1002,77	1653,7	0	0	-826,87	0	0	-590,75	0	458,26	-19,55	0	-104,78	-36,74	6,76	-52,55
30	-974,88	0	-629,64	1552,58	0	1002,76	1653,7	0	0	-826,87	0	0	-590,76	0	458,25	-19,55	0	-104,78	-50,22	6,76	-52,57
32	-974,89	0	-629,62	1552,6	0	1002,73	1653,69	0	0	-826,87	0	0	-590,75	0	458,22	-19,55	0	-104,78	-63,7	6,76	-52,64
34	-974,91	0	-629,59	1552,63	0	1002,68	1653,69	0	0	-826,86	0	0	-590,74	0	458,17	-19,55	0	-104,77	-77,17	6,76	-52,71
36	**-974,93**	**0**	**-629,55**	**1552,67**	**0**	**1002,62**	**1653,68**	**0**	**0**	**-826,86**	**0**	**0**	**-590,72**	**0**	**458,1**	**-19,55**	**0**	**-104,76**	**-90,65**	**6,76**	**-52,77**
38	-974,97	0	-629,48	1552,74	0	1002,5	1653,66	0	0	-826,85	0	0	-590,66	0	457,98	-19,56	0	-104,75	-104,13	6,76	-52,84
40	-975,04	0	-629,37	1552,85	0	1002,33	1653,64	0	0	-826,83	0	0	-590,57	0	457,8	-19,57	0	-104,74	-117,61	6,76	-52,9
42	-975,14	0	-629,2	1552,99	0	1002,07	1653,59	0	0	-826,81	0	0	-590,42	0	457,5	-19,58	0	-104,71	-131,1	6,76	-52,95
44	-975,24	0	-629,02	1553,17	0	1001,77	1653,53	0	0	-826,78	0	0	-590,17	0	457,03	-19,61	0	-104,67	-144,59	6,76	-52,99
46	-975,16	0	-628,95	1553,04	0	1001,67	1653,44	0	0	-826,74	0	0	-589,8	0	456,35	-19,64	0	-104,61	-158,1	6,76	-53,01
48	**-975,28**	**0**	**-629,17**	**1553,23**	**0**	**1002,02**	**1653,47**	**0**	**0**	**-826,75**	**0**	**0**	**-589,39**	**0**	**455,59**	**-19,68**	**0**	**-104,54**	**-171,61**	**6,76**	**-53,02**

Tab. 8: Vnitřní síly na nosníku od stálého zatížení (M [kNm]; V, N [kN])

ŘEZ [m]	STÁLÉ ZATÍŽENÍ								
	VLASTNÍ TÍHA N.K.			OSTATNÍ STÁLÉ m			POKLESY		
	M	V	N	M	V	N	M	V	N
0	**-8350,7**	**-1089,3**	**-1612,17**	**-5236,42**	**-661,92**	**-938,78**	**248,77**	**7,19**	**93,4**
2	-6167,17	-1030,81	-1608,32	-3906,73	-643,73	-936,3	234,39	7,18	93,41
4	-4106,2	-936,76	-1602,76	-2617,83	-588,87	-932,74	220,04	7,17	93,4
6	-2235,35	-837,28	-1596,49	-1441,1	-525,96	-928,76	205,72	7,16	93,36
8	-564,08	-737,87	-1590,12	-391,01	-462,9	-924,74	191,42	7,16	93,31
10	911,66	-639,03	-1584,06	534,81	-400,56	-920,92	177,13	7,16	93,25
12	**2186,42**	**-540,53**	**-1578,57**	**1333,94**	**-338,67**	**-917,47**	**162,85**	**7,16**	**93,19**
14	3264,44	-442,18	-1573,83	2009,41	-277	-914,5	148,57	7,16	93,11
16	4146,15	-343,9	-1569,95	2561,76	-215,4	-912,06	134,29	7,16	93,04
18	4831,76	-245,63	-1567	2991,2	-153,85	-910,21	120,02	7,16	92,96
20	5321,36	-147,38	-1565,01	3297,86	-92,3	-908,96	105,74	7,16	92,89
22	5615	-49,13	-1565,01	3481,78	-30,77	-908,33	91,47	7,16	92,81
24	**5712,7**	**0**	**-1564,01**	**3542,96**	**0**	**-908,33**	**77,19**	**7,16**	**92,73**
26	5615	49,12	-1564,01	3481,78	30,77	-908,33	62,92	7,16	92,66
28	5321,36	147,37	-1564,01	3297,86	92,31	-908,96	48,64	7,16	92,59
30	4831,76	245,62	-1567	2991,2	153,85	-910,21	34,35	7,16	92,53
32	4146,15	343,89	-1569,95	2561,76	215,41	-912,06	20,06	7,16	92,48
34	3264,44	442,17	-1573,83	2009,41	277	-914,5	5,75	7,16	92,42
36	**2186,42**	**540,52**	**-1578,57**	**1333,94**	**338,68**	**-917,47**	**-8,59**	**7,17**	**92,36**
38	911,66	639,02	-1584,05	534,81	400,57	-920,92	-22,94	7,18	92,44
40	-564,08	737,86	-1590,12	-391,01	462,91	-924,74	-37,33	7,19	92,47
42	-2235,35	837,27	-1596,48	-1441,1	525,96	-928,76	-51,78	7,21	92,52
44	-4106,2	936,75	-1602,76	-2617,83	588,87	-932,74	-66,18	7,23	92,43
46	-6167,17	1030,8	-1608,32	-3906,73	643,73	-936,3	-80,2	7,23	91,65
48	**-8350,7**	**1089,29**	**-1612,17**	**-5236,42**	**661,92**	**-938,78**	**-93,34**	**7,14**	**89,62**

Tab. 9: Použité vnitřní síly pro M_{max} [kNm]

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [MNm]			LM3	zat. Teplo [kNm]		zat. Zem, [kNm]	
[M]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	TS	UDL	Σ	[kNm]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0	**0**	**-5236,42**	**248,77**	**-4981,86**	**0**	**-4981,86**	**0**	**1653,47**	**-826,75**	**-589,39**	**151,93**
2	0	-3906,73	234,39	-3687	974,45	-2712,55	127,25	1653,44	-826,74	-589,8	138,46
4	0	-2617,83	220,04	-2466,66	1485,01	-981,65	246,12	1653,53	-826,78	-590,17	124,99
6	0	-1441,1	205,72	-1359,09	2019,61	660,52	1065,44	1653,59	-826,81	-590,42	111,52
8	0	-391,01	191,42	-369,53	2545,48	3049,88	1609,52	1653,64	-826,83	-590,57	98,04
10	0	534,81	177,13	504,4	3051,02	3152,56	2249,44	1653,66	-826,85	-590,66	84,57
12	**0**	**1333,94**	**162,85**	**1259,35**	**3522,09**	**4310,37**	**2661,4**	**1653,68**	**-826,86**	**-590,72**	**71,1**
14	0	2009,41	148,57	1897,82	3944,83	5842,65	2728,92	1653,69	-826,86	-590,74	57,62
16	0	2561,76	134,29	2420,04	4307,2	6727,24	3671,48	1653,69	-826,87	-590,75	44,15
18	0	2991,2	120,02	2826,12	4599,31	7425,43	4207,42	1653,7	-826,87	-590,76	30,67
20	0	3297,86	105,74	3116,11	4813,01	7929,12	4329,69	1653,7	-826,87	-590,75	17,2
22	0	3481,78	91,47	3290,03	4813,43	8103,46	4757,02	1653,7	-826,87	-590,74	3,72
24	**0**	**3542,96**	**77,19**	**3347,88**	**4987,9**	**8335,78**	**4965,08**	**1653,7**	**-826,87**	**-590,72**	**-9,79**
26	0	3481,78	62,92	3290,03	4813,43	8103,46	4757,02	1653,7	-826,87	-590,74	-23,27
28	0	3297,86	48,64	3116,11	4813,01	7929,12	4329,69	1653,7	-826,87	-590,75	-36,74
30	0	2991,2	34,35	2826,12	4599,31	7425,43	4207,42	1653,7	-826,87	-590,76	-50,22
32	0	2561,76	20,06	2420,04	4307,2	6727,24	3671,48	1653,69	-826,87	-590,75	-63,7
34	0	2009,41	5,75	1897,82	3944,83	5842,65	2728,92	1653,69	-826,86	-590,74	-77,17
36	**0**	**1333,94**	**-8,59**	**1259,35**	**3522,09**	**4310,37**	**2661,4**	**1653,68**	**-826,86**	**-590,72**	**-90,65**
38	0	534,81	-22,94	504,4	3051,02	3152,56	2249,44	1653,66	-826,85	-590,66	-104,13
40	0	-391,01	-37,33	-369,53	2545,48	3049,88	1609,52	1653,64	-826,83	-590,57	-117,61
42	0	-1441,1	-51,78	-1359,09	2019,61	660,52	1065,44	1653,59	-826,81	-590,42	-131,1
44	0	-2617,83	-66,18	-2466,66	1485,01	-981,65	246,12	1653,53	-826,78	-590,17	-144,59
46	0	-3906,73	-80,2	-3687	974,45	-2712,55	127,25	1653,44	-826,74	-589,8	-158,1
48	**0**	**-5236,42**	**-93,34**	**-4981,86**	**0**	**-4981,86**	**0**	**1653,47**	**-826,75**	**-589,39**	**-171,61**

Z důvodu redistribuce vnitřních sil od vlastní tíhy nosné konstrukce, tedy redistribuce vnitřních sil od montážního stavu nosníku neuvažujeme v této tabulce vnitřní síly g_0.

Tab. 10: Použité vnitřní síly pro M_{min} [Nm]

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [MNm]			LM3	zat. Teplo [kNm]		zat. Zem, [kNm]	
[M]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	TS	UDL	Σ	[kNm]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0	**0**	**-5236,42**	**248,77**	**-4981,86**	**-4423,23**	**-9405,09**	**-4845,19**	**-975,28**	**1553,23**	**-589,39**	**-19,68**
2	0	-3906,73	234,39	-3687	-3561,07	-7248,07	-3947,62	-975,16	1553,04	-589,8	-19,64
4	0	-2617,83	220,04	-2466,66	-2775,32	-5241,98	-3050,2	-975,24	1553,17	-590,17	-19,61
6	0	-1441,1	205,72	-1359,09	-2092,74	-3451,83	-2238,05	-975,14	1552,99	-590,42	-19,58
8	0	-391,01	191,42	-369,53	-1514,81	-1010,41	-1668,54	-975,04	1552,85	-590,57	-19,57
10	0	534,81	177,13	504,4	-1047,11	-1061,88	-1099,02	-974,97	1552,74	-590,66	-19,56
12	**0**	**1333,94**	**162,85**	**1259,35**	**-692,35**	**212,24**	**-730,05**	**-974,93**	**1552,67**	**-590,72**	**-19,55**
14	0	2009,41	148,57	1897,82	-427,71	1470,11	-448,59	-974,91	1552,63	-590,74	-19,55
16	0	2561,76	134,29	2420,04	-249,59	2170,45	-248,7	-974,89	1552,6	-590,75	-19,55
18	0	2991,2	120,02	2826,12	-125,75	2700,37	-83,76	-974,88	1552,58	-590,76	-19,55
20	0	3297,86	105,74	3116,11	-27,97	3088,14	0	-974,87	1552,57	-590,75	-19,55
22	0	3481,78	91,47	3290,03	0	3290,03	0	-974,87	1552,56	-590,74	-19,55
24	**0**	**3542,96**	**77,19**	**3347,88**	**0**	**3347,88**	**0**	**-974,86**	**1552,56**	**-590,72**	**-19,55**
26	0	3481,78	62,92	3290,03	0	3290,03	0	-974,87	1552,56	-590,74	-19,55
28	0	3297,86	48,64	3116,11	-27,97	3088,14	0	-974,87	1552,57	-590,75	-19,55
30	0	2991,2	34,35	2826,12	-125,75	2700,37	-83,76	-974,88	1552,58	-590,76	-19,55
32	0	2561,76	20,06	2420,04	-249,59	2170,45	-248,7	-974,89	1552,6	-590,75	-19,55
34	0	2009,41	5,75	1897,82	-427,71	1470,11	-448,59	-974,91	1552,63	-590,74	-19,55
36	**0**	**1333,94**	**-8,59**	**1259,35**	**-692,35**	**212,24**	**-730,05**	**-974,93**	**1552,67**	**-590,72**	**-19,55**
38	0	534,81	-22,94	504,4	-1047,11	-1061,88	-1099,02	-974,97	1552,74	-590,66	-19,56
40	0	-391,01	-37,33	-369,53	-1514,81	-1010,41	-1668,54	-975,04	1552,85	-590,57	-19,57
42	0	-1441,1	-51,78	-1359,09	-2092,74	-3451,83	-2238,05	-975,14	1552,99	-590,42	-19,58
44	0	-2617,83	-66,18	-2466,66	-2775,32	-5241,98	-3050,2	-975,24	1553,17	-590,17	-19,61
46	0	-3906,73	-80,2	-3687	-3561,07	-7248,07	-3947,62	-975,16	1553,04	-589,8	-19,64
48	**0**	**-5236,42**	**-93,34**	**-4981,86**	**-4423,23**	**-9405,09**	**-4845,19**	**-975,28**	**1553,23**	**-589,39**	**-19,68**

Tab. 11: Použité vnitřní síly pro N_{max} [N]:

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [kN]			LM3	zat. Teplo. [kN]		zat. Zem, [kN]	
[M]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	TS	UDL	Σ	[kN]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0	**0**	**-938,78**	**93,4**	**-886,75**	**-690,57**	**-1577,32**	**-770,37**	**-629,17**	**1553,23**	**455,59**	**-51,52**
2	0	-936,3	93,41	-884,38	-688,71	-1573,09	-768,29	-628,95	1553,04	456,35	-51,6
4	0	-932,74	93,4	-881,01	-685,99	-1567	-765,23	-629,02	1553,17	457,03	-51,69
6	0	-928,76	93,36	-877,24	-682,76	-1560	-761,62	-629,2	1552,99	457,5	-51,77
8	0	-924,74	93,31	-873,43	-679,22	-1552,65	-757,66	-629,37	1552,85	457,8	-51,84
10	0	-920,92	93,25	-869,82	-675,52	-1545,34	-753,52	-629,48	1552,74	457,98	-51,92
12	**0**	**-917,47**	**93,19**	**-866,56**	**-671,77**	**-1538,33**	**-749,35**	**-629,55**	**1552,67**	**458,1**	**-51,99**
14	0	-914,5	93,11	-863,75	-668,13	-1531,88	-745,27	-629,59	1552,63	458,17	-52,06
16	0	-912,06	93,04	-861,45	-664,68	-1526,13	-741,45	-629,62	1552,6	458,22	-52,14
18	0	-910,21	92,96	-859,69	-661,5	-1521,19	-738,12	-629,64	1552,58	458,25	-52,21
20	0	-908,96	92,89	-858,51	-658,85	-1517,36	-735,6	-629,65	1552,57	458,26	-52,28
22	0	-908,33	92,81	-857,92	-657,31	-1515,23	-734,25	-629,65	1552,56	458,27	-52,35
24	**0**	**-908,33**	**92,73**	**-857,92**	**-657,31**	**-1515,23**	**-734,25**	**-629,65**	**1552,56**	**458,27**	**-52,43**
26	0	-908,33	92,66	-857,92	-657,31	-1515,23	-734,25	-629,65	1552,56	458,27	-52,5
28	0	-908,96	92,59	-858,51	-658,85	-1517,36	-735,6	-629,65	1552,57	458,26	-52,55
30	0	-910,21	92,53	-859,69	-661,5	-1521,19	-738,12	-629,64	1552,58	458,25	-52,57
32	0	-912,06	92,48	-861,45	-664,68	-1526,13	-741,45	-629,62	1552,6	458,22	-52,64
34	0	-914,5	92,42	-863,75	-668,13	-1531,88	-745,27	-629,59	1552,63	458,17	-52,71
36	**0**	**-917,47**	**92,36**	**-866,56**	**-671,77**	**-1538,33**	**-749,35**	**-629,55**	**1552,67**	**458,1**	**-52,77**
38	0	-920,92	92,44	-869,82	-675,52	-1545,34	-753,52	-629,48	1552,74	457,98	-52,84
40	0	-924,74	92,47	-873,43	-679,22	-1552,65	-757,66	-629,37	1552,85	457,8	-52,9
42	0	-928,76	92,52	-877,24	-682,76	-1560	-761,62	-629,2	1552,99	457,5	-52,95
44	0	-932,74	92,43	-881,01	-685,99	-1567	-765,23	-629,02	1553,17	457,03	-52,99
46	0	-936,3	91,65	-884,38	-688,71	-1573,09	-768,29	-628,95	1553,04	456,35	-53,01
48	**0**	**-938,78**	**89,62**	**-886,75**	**-690,57**	**-1577,32**	**-770,37**	**-629,17**	**1553,23**	**455,59**	**-53,02**

Tab. 12: Použité vnitřní síly pro N_{min} [N]

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [kN]			LM3	zat. Teplo. [kN]		zat. Zem, [kN]	
[M]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	TS	UDL	Σ	[kN]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0	**0**	**-938,78**	**93,4**	**-886,75**	**-690,57**	**-1577,32**	**-770,37**	**-629,17**	**1553,23**	**455,59**	**-104,54**
2	0	-936,3	93,41	-884,38	-688,71	-1573,09	-768,29	-628,95	1553,04	456,35	-104,61
4	0	-932,74	93,4	-881,01	-685,99	-1567	-765,23	-629,02	1553,17	457,03	-104,67
6	0	-928,76	93,36	-877,24	-682,76	-1560	-761,62	-629,2	1552,99	457,5	-104,71
8	0	-924,74	93,31	-873,43	-679,22	-1552,65	-757,66	-629,37	1552,85	457,8	-104,74
10	0	-920,92	93,25	-869,82	-675,52	-1545,34	-753,52	-629,48	1552,74	457,98	-104,75
12	**0**	**-917,47**	**93,19**	**-866,56**	**-671,77**	**-1538,33**	**-749,35**	**-629,55**	**1552,67**	**458,1**	**-104,76**
14	0	-914,5	93,11	-863,75	-668,13	-1531,88	-745,27	-629,59	1552,63	458,17	-104,77
16	0	-912,06	93,04	-861,45	-664,68	-1526,13	-741,45	-629,62	1552,6	458,22	-104,78
18	0	-910,21	92,96	-859,69	-661,5	-1521,19	-738,12	-629,64	1552,58	458,25	-104,78
20	0	-908,96	92,89	-858,51	-658,85	-1517,36	-735,6	-629,65	1552,57	458,26	-104,78
22	0	-908,33	92,81	-857,92	-657,31	-1515,23	-734,25	-629,65	1552,56	458,27	-104,78
24	**0**	**-908,33**	**92,73**	**-857,92**	**-657,31**	**-1515,23**	**-734,25**	**-629,65**	**1552,56**	**458,27**	**-104,78**
26	0	-908,33	92,66	-857,92	-657,31	-1515,23	-734,25	-629,65	1552,56	458,27	-104,78
28	0	-908,96	92,59	-858,51	-658,85	-1517,36	-735,6	-629,65	1552,57	458,26	-104,78
30	0	-910,21	92,53	-859,69	-661,5	-1521,19	-738,12	-629,64	1552,58	458,25	-104,78
32	0	-912,06	92,48	-861,45	-664,68	-1526,13	-741,45	-629,62	1552,6	458,22	-104,78
34	0	-914,5	92,42	-863,75	-668,13	-1531,88	-745,27	-629,59	1552,63	458,17	-104,77
36	**0**	**-917,47**	**92,36**	**-866,56**	**-671,77**	**-1538,33**	**-749,35**	**-629,55**	**1552,67**	**458,1**	**-104,76**
38	0	-920,92	92,44	-869,82	-675,52	-1545,34	-753,52	-629,48	1552,74	457,98	-104,75
40	0	-924,74	92,47	-873,43	-679,22	-1552,65	-757,66	-629,37	1552,85	457,8	-104,74
42	0	-928,76	92,52	-877,24	-682,76	-1560	-761,62	-629,2	1552,99	457,5	-104,71
44	0	-932,74	92,43	-881,01	-685,99	-1567	-765,23	-629,02	1553,17	457,03	-104,67
46	0	-936,3	91,65	-884,38	-688,71	-1573,09	-768,29	-628,95	1553,04	456,35	-104,61
48	**0**	**-938,78**	**89,62**	**-886,75**	**-690,57**	**-1577,32**	**-770,37**	**-629,17**	**1553,23**	**455,59**	**-104,54**

Pro tyto vnitřní síly budou nyní vypočteny všechny kombinace v řezech po 2 m, výpočet proběhne v programu Microsoft Excel, detailnější vyčíslení nebude nyní uváděno pro úsporu místa, kombinace budou uvažovány jako v předchozí kapitole.

Kombinace zatížení pro MSÚ:

Sestava zatížení 6.10

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_p \cdot P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Sestava zatížení 6.10a

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_p \cdot P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Sestava zatížení 6.10b

$$\sum_{j\geq 1} \varsigma_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_p \cdot P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kombinace zatížení pro MSP

Charakteristická kombinace

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Častá kombinace

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kvazitálá kombinace

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Tab. 13: Kombinace pro M_{max} [MNm], N_{max}[MN]:

ŘEZ	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace
[m]	[MNm]						[MN]					
0	**-12,599**	**-8,658**	**-11,583**	**-9,415**	**-8,279**	**-4,750**	**-1,341**	**-0,266**	**-1,168**	**-1,087**	**-0,689**	**0,387**
2	-7,776	-5,523	-7,027	-5,844	-5,608	-3,435	-1,331	-0,260	-1,159	-1,079	-0,684	0,390
4	-3,735	-2,753	-3,245	-2,853	-3,220	-2,161	-1,318	-0,250	-1,145	-1,069	-0,676	0,394
6	0,035	-0,197	0,290	-0,062	-1,018	-0,999	-1,302	-0,241	-1,131	-1,058	-0,668	0,399
8	4,643	2,108	4,687	3,350	0,965	0,037	-1,287	-0,231	-1,116	-1,046	-0,659	0,403
10	5,996	4,161	5,855	4,351	2,728	0,948	-1,272	-0,221	-1,102	-1,035	-0,651	0,407
12	**8,602**	**5,948**	**8,303**	**6,280**	**4,262**	**1,733**	**-1,258**	**-0,213**	**-1,089**	**-1,025**	**-0,644**	**0,410**
14	11,547	7,467	11,114	8,460	5,566	2,394	-1,245	-0,205	-1,077	-1,016	-0,637	0,413
16	13,452	8,713	12,909	9,869	6,635	2,932	-1,234	-0,198	-1,066	-1,008	-0,632	0,416
18	14,939	9,681	14,311	10,969	7,467	3,347	-1,225	-0,193	-1,058	-1,001	-0,628	0,417
20	15,997	10,366	15,310	11,751	8,057	3,640	-1,219	-0,189	-1,051	-0,996	-0,624	0,418
22	16,446	10,695	15,724	12,082	8,351	3,809	-1,215	-0,188	-1,048	-0,993	-0,623	0,419
24	**16,807**	**10,878**	**16,075**	**12,348**	**8,506**	**3,856**	**-1,215**	**-0,188**	**-1,048**	**-0,993**	**-0,623**	**0,419**
26	16,375	10,633	15,659	12,026	8,312	3,781	-1,216	-0,188	-1,048	-0,994	-0,623	0,419
28	15,856	10,242	15,179	11,640	7,978	3,583	-1,219	-0,190	-1,052	-0,996	-0,625	0,418
30	14,727	9,496	14,115	10,802	7,349	3,262	-1,226	-0,194	-1,059	-1,002	-0,628	0,417
32	13,169	8,467	12,647	9,647	6,478	2,818	-1,236	-0,199	-1,068	-1,009	-0,633	0,415
34	11,194	7,159	10,786	8,182	5,369	2,251	-1,247	-0,206	-1,078	-1,017	-0,638	0,412
36	**8,178**	**5,578**	**7,909**	**5,947**	**4,026**	**1,561**	**-1,260**	**-0,214**	**-1,091**	**-1,027**	**-0,645**	**0,409**
38	5,501	3,729	5,397	3,962	2,453	0,748	-1,274	-0,223	-1,104	-1,037	-0,652	0,406
40	4,077	1,615	4,163	2,906	0,650	-0,192	-1,289	-0,232	-1,119	-1,048	-0,660	0,402
42	-0,602	-0,752	-0,301	-0,562	-1,373	-1,257	-1,305	-0,242	-1,134	-1,060	-0,669	0,398
44	-4,442	-3,370	-3,900	-3,408	-3,614	-2,447	-1,320	-0,252	-1,148	-1,071	-0,677	0,393
46	-8,554	-6,200	-7,748	-6,455	-6,041	-3,750	-1,335	-0,262	-1,162	-1,083	-0,686	0,388
48	**-13,446**	**-9,396**	**-12,369**	**-10,081**	**-8,750**	**-5,092**	**-1,348**	**-0,271**	**-1,174**	**-1,092**	**-0,693**	**0,383**

Tab. 14: Kombinace pro M_{min} [MNm], N_{min}[MN]:

ŘEZ	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace
[m]	[MNm]						[MN]					
0	**-21,168**	**-13,587**	**-20,152**	**-15,587**	**-11,431**	**-6,065**	**-3,377**	**-2,259**	**-3,204**	**-2,449**	**-1,801**	**-0,704**
2	-16,478	-10,498	-15,729	-12,115	-8,800	-4,750	-3,367	-2,252	-3,194	-2,442	-1,796	-0,701
4	-12,048	-7,566	-11,557	-8,835	-6,296	-3,476	-3,353	-2,243	-3,181	-2,431	-1,788	-0,697
6	-8,060	-4,917	-7,805	-5,882	-4,030	-2,313	-3,338	-2,233	-3,167	-2,420	-1,780	-0,693
8	-3,363	-2,570	-3,319	-2,405	-2,021	-1,278	-3,322	-2,223	-3,152	-2,409	-1,771	-0,688
10	-2,200	-0,524	-2,340	-1,545	-0,267	-0,366	-3,307	-2,214	-3,138	-2,397	-1,763	-0,684
12	**0,581**	**1,214**	**0,282**	**0,514**	**1,226**	**0,419**	**-3,293**	**-2,205**	**-3,124**	**-2,387**	**-1,756**	**-0,681**
14	3,174	2,662	2,741	2,433	2,472	1,080	-3,280	-2,197	-3,112	-2,378	-1,750	-0,678
16	4,848	3,822	4,305	3,671	3,473	1,618	-3,269	-2,191	-3,101	-2,369	-1,744	-0,676
18	6,126	4,713	5,499	4,616	4,242	2,033	-3,260	-2,186	-3,093	-2,363	-1,740	-0,674
20	7,047	5,349	6,360	5,297	4,791	2,325	-3,254	-2,182	-3,086	-2,358	-1,737	-0,673
22	7,550	5,707	6,829	5,668	5,102	2,495	-3,250	-2,180	-3,083	-2,355	-1,735	-0,672
24	**7,694**	**5,809**	**6,963**	**5,773**	**5,193**	**2,542**	**-3,250**	**-2,180**	**-3,083**	**-2,355**	**-1,735**	**-0,672**
26	7,516	5,672	6,800	5,640	5,074	2,467	-3,250	-2,180	-3,083	-2,355	-1,735	-0,672
28	6,978	5,280	6,302	5,239	4,734	2,268	-3,254	-2,182	-3,087	-2,358	-1,737	-0,673
30	6,024	4,610	5,412	4,531	4,157	1,947	-3,261	-2,186	-3,093	-2,363	-1,740	-0,674
32	4,711	3,685	4,189	3,557	3,359	1,504	-3,270	-2,192	-3,102	-2,370	-1,745	-0,676
34	3,003	2,491	2,595	2,290	2,329	0,937	-3,281	-2,198	-3,113	-2,378	-1,750	-0,679
36	**0,376**	**1,009**	**0,107**	**0,342**	**1,055**	**0,247**	**-3,294**	**-2,206**	**-3,125**	**-2,388**	**-1,757**	**-0,682**
38	-2,440	-0,764	-2,545	-1,745	-0,467	-0,566	-3,308	-2,215	-3,138	-2,398	-1,764	-0,685
40	-3,638	-2,844	-3,552	-2,634	-2,250	-1,506	-3,323	-2,224	-3,153	-2,409	-1,772	-0,689
42	-8,369	-5,226	-8,068	-6,140	-4,288	-2,571	-3,339	-2,234	-3,167	-2,421	-1,781	-0,693
44	-12,391	-7,910	-11,849	-9,121	-6,582	-3,762	-3,354	-2,244	-3,182	-2,432	-1,789	-0,698
46	-16,856	-10,875	-16,050	-12,430	-9,114	-5,064	-3,369	-2,254	-3,196	-2,443	-1,797	-0,703
48	**-21,578**	**-13,997**	**-20,501**	**-15,929**	**-11,773**	**-6,407**	**-3,382**	**-2,263**	**-3,208**	**-2,453**	**-1,805**	**-0,708**

8. NÁVRH PŘEDPĚTÍ - MSP

V této kapitole se budeme věnovat návrhu předpínací výztuže, především počtem kabelů a jejich rozmístění na konstrukci a následně podrobným výpočtem navrženého řešení. Takováto konstrukce bude ze segmentů sestavena mimo dálnici, bude provedeno předpětí a následně bude celá konstrukce pomocí jeřábů přesunuta do finálního uložení na podpěry a bude zmonolitněna pro finální statické působení integrované konstrukce. Poté bude na konstrukci osazeno mostní zařízení, jako jsou římsy a mostní svodidla a následně bude zhotovena vozovka.Kabely budou vedeny jako volné bez soudržnosti a předpětí bude vneseno do konstrukce pomocí deviátorů umístěných uvnitř komory nosníků.

8.1. Návrh předpínacích kabelů

Pro předběžný návrh předpínacích kabelů stanovíme vliv dvou symetrických lan na konstrukci a dle těchto vnitřních sil dopočteme potřebný počet lan. Pro vhodnější průběh momentů od předpětí budeme uvažovat 4 deviátory.

Volné předpínací kabely:

-Kotvy v koncových průřezech by měly být umístěny v těžišti, nebo alespoň v jádrech průřezu.

-Mezi kotvami kabelů je nutné, aby byly dodrženy alespoň minimální osové vzdálenosti mezi kotvami kabelů a také mezi osou kotvy a krajním povrchem betonu, doporučené hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 15: Přibližných minimálních osových vzdáleností kotev

	počet lan v kabelu			
	12	15	19	22
A [mm]	410	460	520	550
B [mm]	205	230	260	275

A minimální osová vzdálenost mezi kotvami

B minimální vzdálenost mezi osou kotvy a nejbližším povrchem betonu

Počáteční napětí v předpínací výztuži navrhneme na $\sigma_{p,max}$=1470,0 MPa

Předpínací síla Np musí být na konstrukci zaručena po celou dobu její životnosti, na konci životnosti konstrukce předpokládáme pokles předpínací síly N_p o 25%.

σ_p= (1,00 - 0,25) . 1470,0 = 1102,5 MPa

Excentricita předpínacích kabelů

e_p= 0,760 m

Předpínací výztuž budou tvořit kabely z lan Ø 15,7 mm o ploše 150,0mm^2. Síla v jednom kabelu při uvedení do provozu se ztrátou 5% z důvodu pokluzu kabelů při předpínání. Další okamžik bude při uvedení do provozu 10% a na konci životnosti 25%.

$N_{p0,95}$ = 1470 . 0,95 . 0,000150 = 0,2095 MN

$N_{p0,90}$ = 1470 . 0,90 . 0,000150 = 0,1985 MN

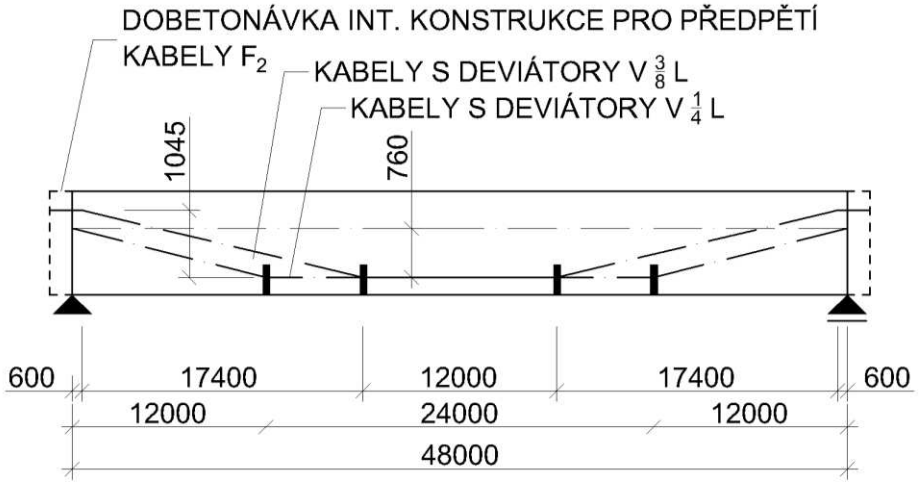
$N_{p0,75}$ = 1470 . 0,75 . 0,000150 = 0,1654 MN

Síly v místech deviátorů se vypočítají poměrem excentricity a vzdálenosti od kotev.

F= P . (e_p/L)

Pro návrh montáže mostu ze segmentů budeme uvažovat mostní nosník jako prostý, zatížení bude uvažováno pouze vlastní tíha konstrukce zvětšená o dynamickou složku α=1,1 z důvodu zavěšení celé konstrukce na jeřáb a nutné pohyby pro jeho osazení.

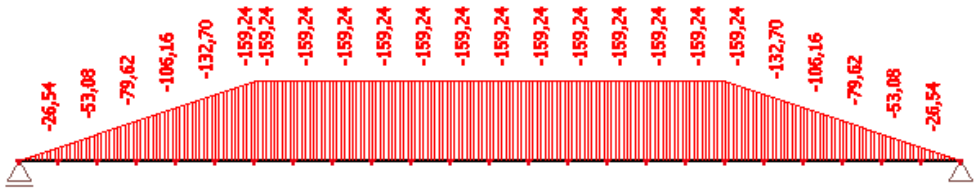
Obr. 121: Návrh průběhu a umístění deviátorů



V montážním stádiu konstrukce působí jako prostý nosník. Pro návrh kabelů v montážním stádium, budeme uvažovat pouze kabely, které mají deviátory pouze v ¼L, Ostatní kabely budou dle potřeby předepnuty po zmonolitnění konstrukce, která od té chvíle bude působit jako integrovaná konstrukce.

Sílá od předpětí jednoho lana v ¼L bude $F_{1,0,95}$= 0,2095 . 0,76 / 12,0 = 13,27 KN

Obr. 122: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano), montážní stav [kNm]



Z důvodu ideálního návrhu předpětí je nutné znát síly, které vyvodí jedno lano, pro jednodušší výpočet a dimenzaci konstrukce.

Obr. 123: Průběh ohybových momentů vlastní tíha nosné konstrukce[kNm]

Napětí v betonu v době vnášení předpětí má být omezeno maximálně na hodnotu 0,45 . f_{ck}.

0,45. f_{ck} = 0,45 . 161,0 = 72,45 MPa

$$\sigma_c = \frac{N_p}{A_c}" + "\frac{M_g}{W_i}" + "\frac{M_p}{W_i}$$

Tab. 16: Návrh počtu předpínacích lan pro montážní stav

ŘEZ [M]	g0 . 1,1 [kNm]	Mp [kNm]	Np [kN]	počet lan	$\sigma_{g+p,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g+p,d}$ [Mpa]	σ_{lim} [Mpa]
0	0	0	-0,2095		-9,09101	-9,09101	-72,45
2	3,349848	-0,02654	-0,2095		-10,8285	-8,11674	-72,45
4	6,408414	-0,05308	-0,2095		-12,1862	-7,35539	-72,45
6	9,175681	-0,07962	-0,2095		-13,1642	-6,80698	-72,45
8	11,65167	-0,10616	-0,2095		-13,7625	-6,47149	-72,45
10	13,83635	-0,1327	-0,2095		-13,9811	-6,34894	-72,45
12	15,72974	-0,15924	-0,2095		-13,8199	-6,43933	-72,45
14	17,33185	-0,15924	-0,2095		-15,9084	-5,2682	-72,45
16	18,64266	-0,15924	-0,2095		-17,6172	-4,31	-72,45
18	19,66219	-0,15924	-0,2095		-18,9462	-3,56474	-72,45
20	20,39042	-0,15924	-0,2095		-19,8956	-3,0324	-72,45
22	20,82735	-0,15924	-0,2095		-20,4652	-2,71301	-72,45
24	20,973	-0,15924	-0,2095	**76**	-20,655	-2,60654	-72,45
26	20,82735	-0,15924	-0,2095		-20,4652	-2,71301	-72,45
28	20,39042	-0,15924	-0,2095		-19,8956	-3,0324	-72,45
30	19,66219	-0,15924	-0,2095		-18,9462	-3,56474	-72,45
32	18,64266	-0,15924	-0,2095		-17,6172	-4,31	-72,45
34	17,33185	-0,15924	-0,2095		-15,9084	-5,2682	-72,45
36	15,72974	-0,15924	-0,2095		-13,8199	-6,43933	-72,45
38	13,83635	-0,1327	-0,2095		-13,9811	-6,34894	-72,45
40	11,65167	-0,10616	-0,2095		-13,7625	-6,47149	-72,45
42	9,175681	-0,07962	-0,2095		-13,1642	-6,80698	-72,45
44	6,408414	-0,05308	-0,2095		-12,1862	-7,35539	-72,45
46	3,349848	-0,02654	-0,2095		-10,8285	-8,11674	-72,45
48	0	0	-0,2095		-9,09101	-9,09101	-72,45

Budeme uvažovat kabely s 19 lany, pro montážní stav bude potřeba využít 4 kabely, tedy 76 lan s deviátory v ¼L.

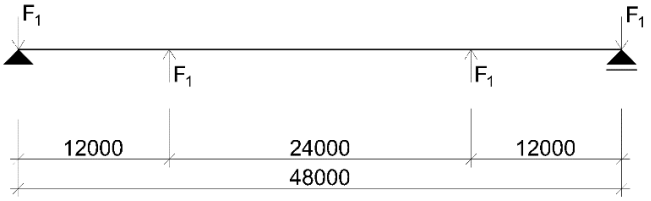
Pro návrh finálního stavu předpětí v integrované konstrukci budeme uvažovat nyní účinky předpínacích lan na integrované konstrukci a ne na prostém nosníků jako doposud. Stanovíme vlivy předpětí s deviátory jak v 1/4L tak v 3/8L a následně vypočteme napětí v průřezu pro všechny stádia výstavby.

F_1….1/4L

$F_{1,0,95}$= 0,2095 . 0,76 / 12,0 = 13,27 kN

$F_{1,0,90}$= 0,1985 . 0,76 / 12,0 = 12,571 kN

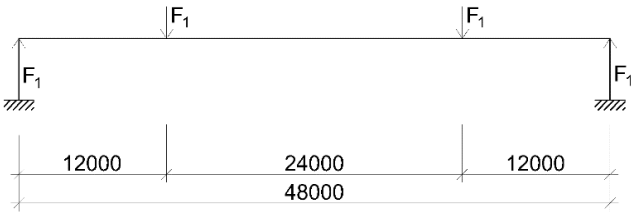
$F_{1,0,75}$= 0,1654 . 0,76 / 18,0 = 10,34 kN



Ztráty oproti prostému nosníku na integrované konstrukci

$F_{1,0,90}$= 13,27 – 12,571 = 0,599 kN

$F_{1,0,75}$= 13,27 – 10,34 = 2,93 kN

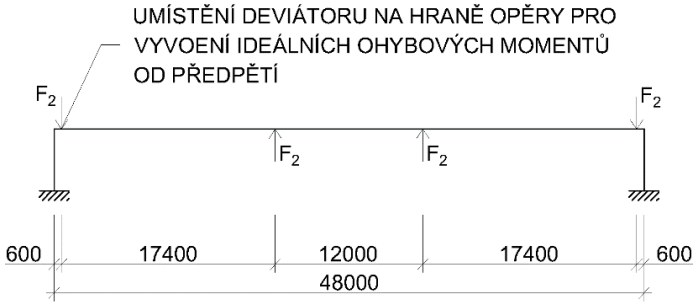


F_2….3/8L

$F_{2,0,95}$= 0,2095 . 1,045 / 17,4 = 12,58kN

$F_{2,0,90}$= 0,1985 . 1,045 / 17,4 = 11,92kN

$F_{2,0,75}$= 0,1654 . 1,045 / 17,4 = 9,93kN

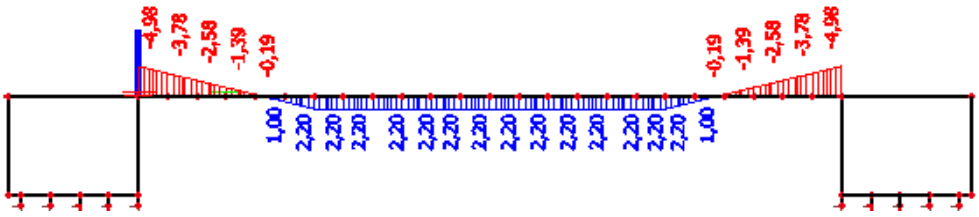


Průběh ohybových momentů od předpětí se bude měnit v závislosti na ztrátách, při zmonolitnění bude průběh stejný jako na prostém nosníku. Dále bude při dalších ztrátách uvažována síla v opačném směru sil od předpětí, aby nastal pokles momentů od předpětí, nyní už na integrované konstrukci.

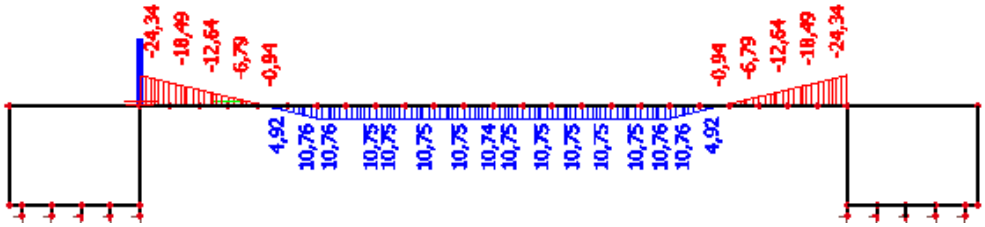
Obr. 124: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{1,0,95}$

Z důvodu vypočtu redistribuce ohybových momentů od předpínacích kabelů, které byly použity pro montáž nosníku, je nutné stanovit vnitřní síly jako by konstrukce byla integrovaná a poté vypočíst velikost redistribuce.

Obr. 125: Průběh ohybových momentů od ztát předpětí (1 lano) $F_{1,0,90}$

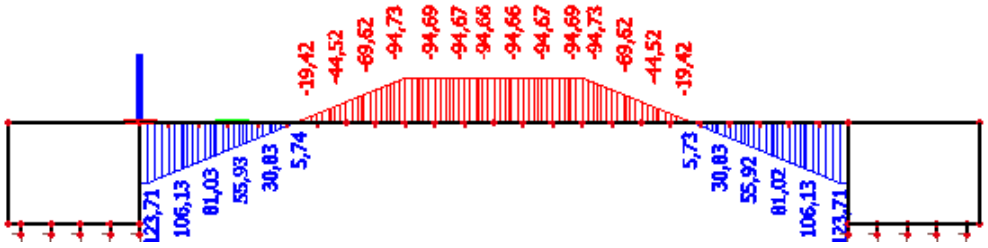


Obr. 126: Průběh ohybových momentů od ztrát předpětí (1 lano) $F_{1,0,75}$

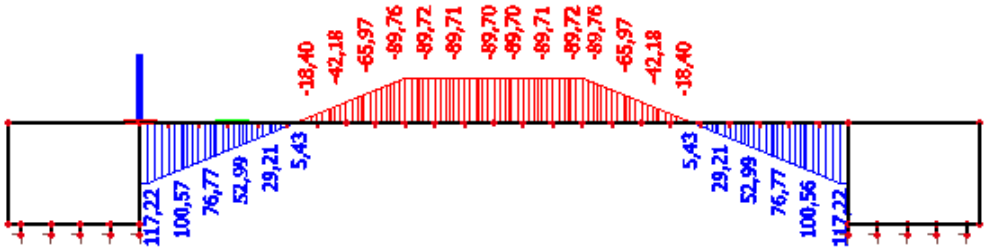


Obr. 125 a 126 znázorňuje úbytek předpínací síly na integrované konstrukci po zmonolitnění nosníku se zbytek konstrukce, při výpočtu se tyto hodnoty na jeden kabel odečítají od redistribuovaných momentů které se stanový výpočtem.

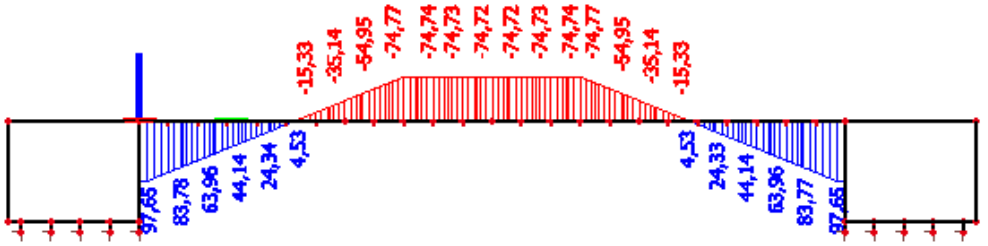
Obr. 127: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{2,0,95}$



Obr. 128: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{2,0,90}$



Obr. 129: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{2,0,75}$



Z důvodu vnesení zatížení na prostý nosník a poté jeho spřažení s konstrukcí pro vytvoření integrované konstrukce musíme uvažovat redistribuci momentů jak pro zatížení od vlastní tíhy, tak pro předpětí. Vnitřní síly vnesené před zmonolitněním se budou stárnutím konstrukce

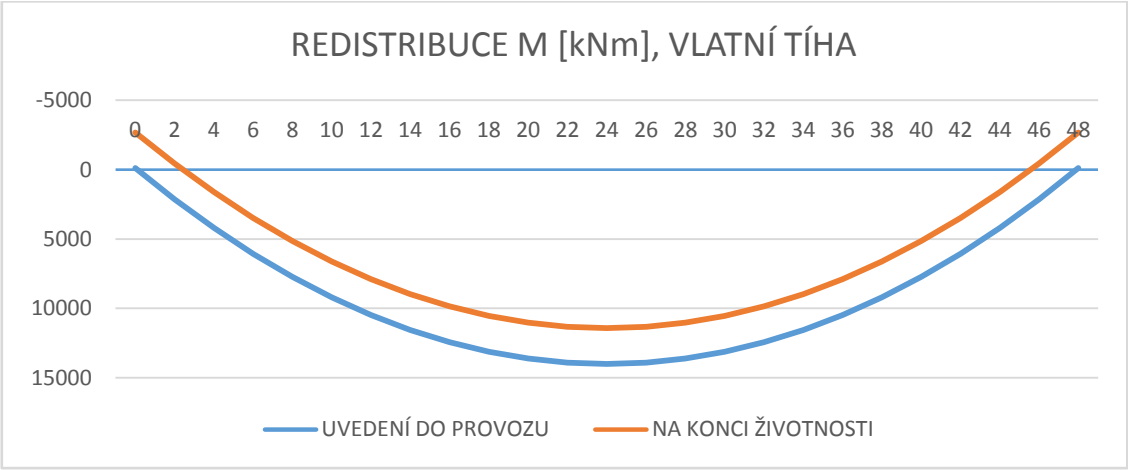
stále více přibližovat vnitřním silám konstrukce integrované, avšak nikdy nenabydou hodnot odpovídajícím stavu jako by na integrované konstrukci působily od začátku. Z tohoto důvodu u kombinací byly vnitřní síly od vlastní tíhy uvažovány nulové a budu přidány dále. Redistribuce vnitřních sil bude stanovena dle vztahu:

$$S_t = S_0 + (S_1 - S_0).\frac{E_c(t_1)}{E_c(t_0)}.\left[\frac{\varphi(t,t_0) - \varphi(t_1,t_0)}{1 + \chi.\varphi(t,t_1)}\right]$$

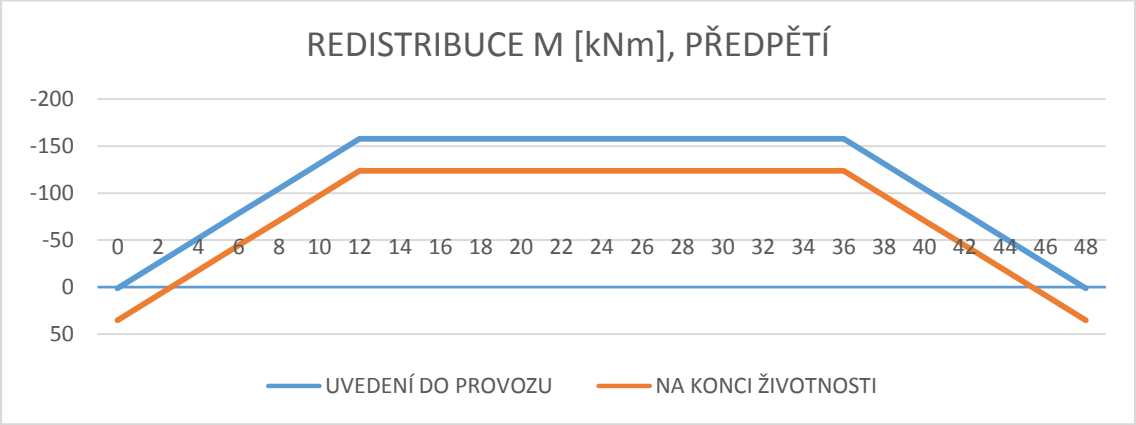
Tab. 17: Redistribuce ohybových momentů:

ŘEZ	VLASTNÍ TÍHA N.K. [kNm]				PŘEDPĚTÍ [kNm]			
[m]	Mg	Mg	Mg	Mg	Mp	Mp	Mp	Mp
	nosník	t=50	t=36500	int	nosník	t=50	t=36500	int
0	0,000	-103,232	-2682,090	-8350,700	0,000	1,363	35,404	110,230
2	2255,790	2151,664	-449,509	-6167,170	-26,540	-25,177	8,867	83,700
4	4315,430	4211,321	1610,558	-4106,200	-53,080	-51,717	-17,663	57,190
6	6178,910	6074,892	3476,406	-2235,350	-79,620	-78,256	-44,184	30,710
8	7846,240	7742,271	5145,001	-564,080	-106,160	-104,795	-70,708	4,220
10	9317,410	9213,497	6617,639	911,660	-132,700	-131,335	-97,229	-22,260
12	10592,420	10488,504	7892,569	2186,420	-159,240	-157,874	-123,753	-48,750
14	11671,280	11567,354	8971,159	3264,440	-159,240	-157,874	-123,740	-48,710
16	12553,980	12450,042	9853,541	4146,150	-159,240	-157,873	-123,733	-48,690
18	13240,530	13136,580	10539,789	4831,760	-159,240	-157,873	-123,730	-48,680
20	13730,920	13626,960	11029,925	5321,360	-159,240	-157,873	-123,727	-48,670
22	14025,150	13921,183	11323,966	5615,000	-159,240	-157,873	-123,727	-48,670
24	14123,230	14019,258	11421,924	5712,700	-159,240	-157,873	-123,724	-48,660
26	14025,150	13921,183	11323,966	5615,000	-159,240	-157,873	-123,727	-48,670
28	13730,920	13626,960	11029,925	5321,360	-159,240	-157,873	-123,727	-48,670
30	13240,530	13136,580	10539,789	4831,760	-159,240	-157,873	-123,730	-48,680
32	12553,980	12450,042	9853,541	4146,150	-159,240	-157,873	-123,733	-48,690
34	11671,280	11567,354	8971,159	3264,440	-159,240	-157,874	-123,740	-48,710
36	10592,420	10488,504	7892,569	2186,420	-159,240	-157,874	-123,753	-48,750
38	9317,410	9213,497	6617,639	911,660	-132,700	-131,335	-97,229	-22,260
40	7846,240	7742,271	5145,001	-564,080	-106,160	-104,795	-70,708	4,220
42	6178,910	6074,892	3476,406	-2235,350	-79,620	-78,256	-44,184	30,710
44	4315,430	4211,321	1610,558	-4106,200	-53,080	-51,717	-17,663	57,190
46	2255,790	2151,664	-449,509	-6167,170	-26,540	-25,177	8,867	83,700
48	0,000	-103,232	-2682,090	-8350,700	0,000	1,363	35,404	110,230

Graf 2: Redistribuce ohybových momentů od vlastní tíhy



Graf 3: Redistribuce ohybových momentů od předpětí



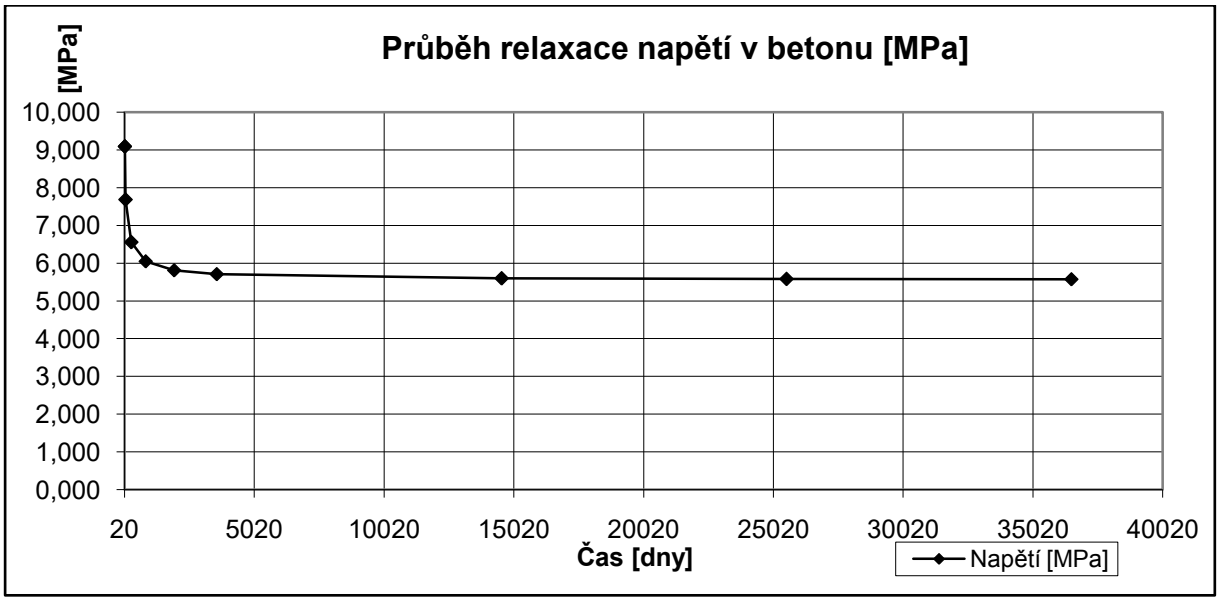
Pro přesnější výsledky budeme uvažovat relaxaci napětí v betonu vypočítané pomocí programu Microsoft Excel dle knihy [ŠMERDA, Zdeněk a Vladimír KŘÍSTEK. *Creep and Shrinkage of Concrete Elements and Structures*. Přeložil Prokop MAXA. Prague: SNTL, 1988]. Napětí v betonu při vnesení předpětí je -9,091MPa, do uvedení do provozu zatížení zrelaxuje na hodnotu -7,934MPa, síla vyvozená na opěry je tedy:

$$N = A \,.\, \sigma_c = 1{,}7514 \,.\, 1{,}157 = 2{,}026\ MN$$

Při konci životnosti, teda v 36500 dnech klesne napětí až na hodnotu 5,577MPa.

$$N = A \,.\, \sigma_c = 1{,}7514 \,.\, 3{,}514 = 6{,}154\ MN$$

Graf 4: Průběh relaxace napětí v betonu



Dále musíme pro lepší výpočet síly stanovit modul pružnosti $E_{c,def}$ pro C70/85:

$$E_{c,def} = \frac{E_{cm} \,.\, 1{,}05}{1 + \emptyset \,.\, 0{,}8} = \frac{41\,000 \,.\, 1{,}05}{1 + 2{,}747 \,.\, 0{,}8} = 13\,463{,}22\ MPa$$

Pro další výpočet vyčíslíme všechny síly působící od jednotlivých lan F_1 a F_2, které budou přehledně uvedeny v následující tabulce, kde budou zohledněny všechny ztráty, relaxace a redistribuce vnitřních sil od předpětí. Následně bude vypočteno napětí na horním a dolním povrchu komory od všech vypočtených kombinací pro MSP a také pro vlastní tíhu konstrukce, ve výpočtech jsou zahrnuty také veškeré síly od předpětí v jednotlivých stádiích životnosti konstrukce. Pro maximální a minimální dimenzační momenty jsou také vykresleny náležité grafy podél celé nosné konstrukce komorového nosníku pro horní a dolní vlákna.

Tab. 18: Vnitřní síly od předpětí

ŘEZ	F1,0,95		F1,0,90		F1,0,75		F2,0,95		F2,0,90		F2,0,75	
[M]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]
0	0	-0,2095	-0,00354	-0,19574	0,011454	-0,16768	0,12371	-0,2095	0,11722	-0,1985	0,09765	-0,1654
2	-0,02654	-0,2095	-0,02888	-0,19574	-0,00923	-0,16768	0,10613	-0,2095	0,10057	-0,1985	0,08378	-0,1654
4	-0,05308	-0,2095	-0,05422	-0,19574	-0,02991	-0,16768	0,08103	-0,2095	0,07677	-0,1985	0,06396	-0,1654
6	-0,07962	-0,2095	-0,07957	-0,19574	-0,05058	-0,16768	0,05593	-0,2095	0,05299	-0,1985	0,04414	-0,1654
8	-0,10616	-0,2095	-0,10491	-0,19574	-0,07126	-0,16768	0,03083	-0,2095	0,02921	-0,1985	0,02434	-0,1654
10	-0,1327	-0,2095	-0,13025	-0,19574	-0,09192	-0,16768	0,00574	-0,2095	0,00543	-0,1985	0,00453	-0,1654
12	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,01942	-0,2095	-0,0184	-0,1985	-0,01533	-0,1654
14	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,04452	-0,2095	-0,04218	-0,1985	-0,03514	-0,1654
16	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11258	-0,16768	-0,06962	-0,2095	-0,06597	-0,1985	-0,05495	-0,1654
18	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11258	-0,16768	-0,09473	-0,2095	-0,08976	-0,1985	-0,07477	-0,1654
20	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,09469	-0,2095	-0,08972	-0,1985	-0,07474	-0,1654
22	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,09467	-0,2095	-0,08971	-0,1985	-0,07473	-0,1654
24	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11258	-0,16768	-0,09466	-0,2095	-0,0897	-0,1985	-0,07472	-0,1654
26	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,09467	-0,2095	-0,08971	-0,1985	-0,07473	-0,1654
28	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,09469	-0,2095	-0,08972	-0,1985	-0,07474	-0,1654
30	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,09473	-0,2095	-0,08976	-0,1985	-0,07477	-0,1654
32	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11258	-0,16768	-0,06962	-0,2095	-0,06597	-0,1985	-0,05495	-0,1654
34	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,11259	-0,16768	-0,04452	-0,2095	-0,04218	-0,1985	-0,03514	-0,1654
36	-0,15924	-0,2095	-0,15559	-0,19574	-0,1126	-0,16768	-0,01942	-0,2095	-0,0184	-0,1985	-0,01533	-0,1654
38	-0,1327	-0,2095	-0,13025	-0,19574	-0,08607	-0,16768	0,00574	-0,2095	0,00543	-0,1985	0,00453	-0,1654
40	-0,10616	-0,2095	-0,10491	-0,19574	-0,0654	-0,16768	0,03083	-0,2095	0,02921	-0,1985	0,02434	-0,1654
42	-0,07962	-0,2095	-0,07957	-0,19574	-0,05058	-0,16768	0,05593	-0,2095	0,05299	-0,1985	0,04414	-0,1654
44	-0,05308	-0,2095	-0,05422	-0,19574	-0,02991	-0,16768	0,08103	-0,2095	0,07677	-0,1985	0,06396	-0,1654
46	-0,02654	-0,2095	-0,02888	-0,19574	-0,00923	-0,16768	0,10613	-0,2095	0,10057	-0,1985	0,08378	-0,1654
48	0	-0,2095	-0,00354	-0,19574	0,011454	-0,16768	0,12371	-0,2095	0,11722	-0,1985	0,09765	-0,1654

Tabulka obsahuje kompletní účinky od předpětí na jedno lano F_1 a F_2. Síly jsou uvedeny v dobách TR, UP a KZ.

Tab. 19: Posouzeni M_{max} pro MSP v době TR.

TR											
ŘEZ	počet lan	počet lan	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	F1	F2	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	σ_{lim} [Mpa]
0			-19,509	-19,536	-20,763	-18,478	-24,749	-17,245	-31,162	-12,033	-72,45
2			-22,728	-17,721	-22,809	-17,323	-25,029	-17,099	-29,730	-12,833	-72,45
4			-24,188	-16,889	-23,484	-16,933	-24,253	-17,526	-27,296	-14,194	-72,45
6			-25,129	-16,346	-23,659	-16,823	-23,076	-18,175	-24,606	-15,697	-72,45
8			-26,624	-15,493	-23,294	-17,016	-21,478	-19,062	-21,660	-17,344	-72,45
10			-24,722	-16,545	-22,388	-17,512	-19,463	-20,182	-18,460	-19,134	-72,45
12			-23,769	-17,067	-20,921	-18,324	-17,022	-21,544	-14,997	-21,072	-72,45
14			-25,522	-16,071	-21,534	-17,970	-16,799	-21,663	-13,914	-21,675	-72,45
16			-26,017	-15,784	-21,587	-17,933	-16,162	-22,016	-12,576	-22,423	-72,45
18			-25,853	-15,868	-21,074	-18,215	-15,108	-22,603	-10,982	-23,314	-72,45
20			-27,512	-14,931	-22,484	-17,420	-16,130	-22,028	-11,624	-22,953	-72,45
22			-28,327	-14,471	-23,252	-16,987	-16,736	-21,687	-12,010	-22,736	-72,45
24	**76**	**76**	-28,802	-14,205	-23,583	-16,802	-16,926	-21,580	-12,138	-22,664	-72,45
26			-28,255	-14,512	-23,201	-17,016	-16,699	-21,708	-12,010	-22,736	-72,45
28			-27,368	-15,013	-22,381	-17,478	-16,056	-22,069	-11,624	-22,953	-72,45
30			-25,636	-15,990	-20,920	-18,301	-14,996	-22,666	-10,982	-23,314	-72,45
32			-25,728	-15,947	-21,382	-18,048	-16,013	-22,100	-12,576	-22,423	-72,45
34			-25,161	-16,275	-21,278	-18,115	-16,614	-21,768	-13,914	-21,675	-72,45
36			-23,335	-17,311	-20,614	-18,497	-16,799	-21,670	-14,997	-21,072	-72,45
38			-24,216	-16,830	-22,030	-17,714	-19,203	-20,329	-18,460	-19,134	-72,45
40			-26,046	-15,819	-22,884	-17,247	-21,180	-19,230	-21,660	-17,344	-72,45
42			-24,479	-16,713	-23,198	-17,083	-22,741	-18,364	-24,606	-15,697	-72,45
44			-23,464	-17,297	-22,972	-17,222	-23,881	-17,735	-27,296	-14,194	-72,45
46			-21,933	-18,170	-22,246	-17,641	-24,620	-17,330	-29,730	-12,833	-72,45
48			-18,645	-20,025	-20,151	-18,825	-24,305	-17,497	-31,162	-12,033	-72,45

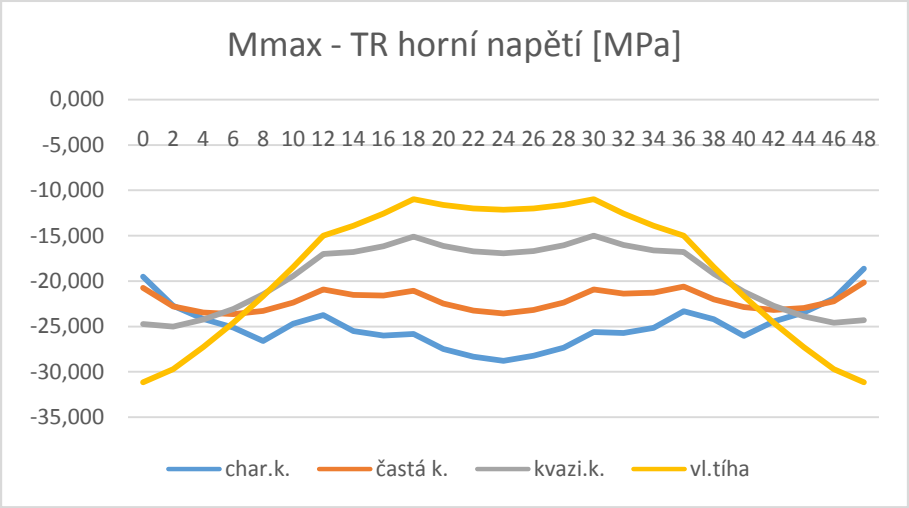
Tab. 20: Posouzeni M_{max} pro MSP v době UP.

UP											
ŘEZ	počet lan	počet lan	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	F1	F2	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	σ_{lim} [Mpa]
0			-17,307	-19,094	-18,561	-18,036	-22,546	-14,842	-28,960	-11,591	-72,45
2			-20,735	-17,162	-20,817	-16,763	-23,036	-14,562	-27,737	-12,273	-72,45
4			-22,443	-16,191	-21,739	-16,234	-22,508	-14,850	-25,551	-13,495	-72,45
6			-23,633	-15,508	-22,163	-15,985	-21,580	-15,362	-23,110	-14,859	-72,45
8			-25,378	-14,515	-22,047	-16,037	-20,231	-16,109	-20,414	-16,366	-72,45
10			-23,724	-15,428	-21,390	-16,394	-18,465	-17,092	-17,461	-18,017	-72,45
12			-23,021	-15,809	-20,173	-17,066	-16,274	-18,313	-14,249	-19,814	-72,45
14			-24,905	-14,740	-20,917	-16,639	-16,182	-18,358	-13,297	-20,344	-72,45
16			-25,530	-14,380	-21,100	-16,529	-15,674	-18,638	-12,089	-21,019	-72,45
18			-25,496	-14,390	-20,718	-16,737	-14,751	-19,152	-10,626	-21,837	-72,45
20			-27,156	-13,454	-22,127	-15,943	-15,774	-18,576	-11,268	-21,475	-72,45
22			-27,969	-12,995	-22,895	-15,510	-16,379	-18,235	-11,652	-21,259	-72,45
24	**76**	**76**	-28,445	-12,728	-23,225	-15,325	-16,569	-18,129	-11,781	-21,187	-72,45
26			-27,897	-13,035	-22,844	-15,539	-16,342	-18,256	-11,652	-21,259	-72,45
28			-27,012	-13,535	-22,025	-16,000	-15,700	-18,618	-11,268	-21,475	-72,45
30			-25,280	-14,513	-20,564	-16,824	-14,640	-19,215	-10,626	-21,837	-72,45
32			-25,241	-14,543	-20,895	-16,644	-15,526	-18,722	-12,089	-21,019	-72,45
34			-24,544	-14,944	-20,661	-16,784	-15,997	-18,463	-13,297	-20,344	-72,45
36			-22,587	-16,053	-19,866	-17,239	-16,051	-18,439	-14,249	-19,814	-72,45
38			-23,218	-15,713	-21,031	-16,597	-18,205	-17,238	-17,461	-18,017	-72,45
40			-24,800	-14,841	-21,638	-16,268	-19,934	-16,277	-20,414	-16,366	-72,45
42			-22,983	-15,875	-21,702	-16,244	-21,245	-15,550	-23,110	-14,859	-72,45
44			-21,719	-16,598	-21,227	-16,523	-22,136	-15,059	-25,551	-13,495	-72,45
46			-19,940	-17,610	-20,253	-17,081	-22,627	-14,793	-27,737	-12,273	-72,45
48			-16,442	-19,583	-17,949	-18,383	-22,102	-15,095	-28,960	-11,591	-72,45

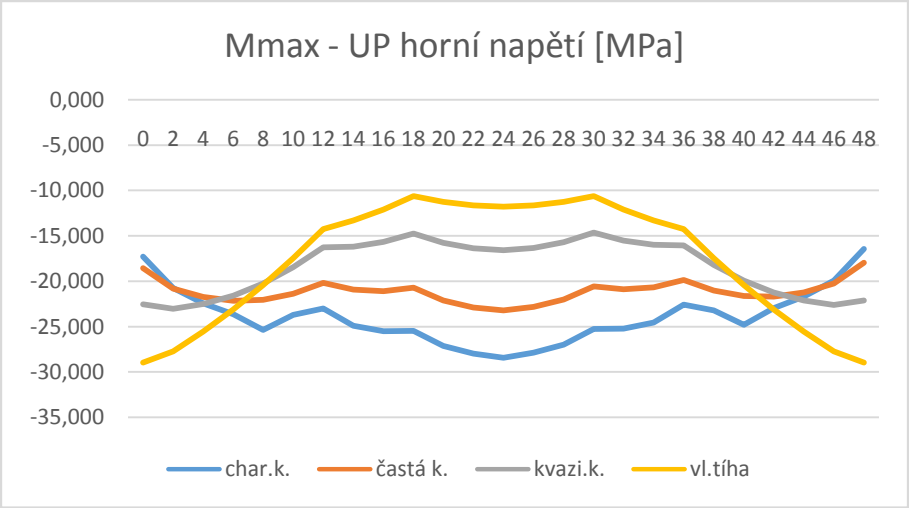
Tab. 21: Posouzeni M_{max}pro MSP v době KZ.

KZ											
ŘEZ	počet lan	počet lan	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	F1	F2	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	σ_{lim} [Mpa]
0			-10,838	-18,579	-12,092	-17,522	-16,077	-14,328	-22,490	-11,077	-72,45
2			-14,973	-16,251	-15,055	-15,852	-17,274	-13,651	-21,975	-11,363	-72,45
4			-17,537	-14,800	-16,834	-14,843	-17,603	-13,459	-20,645	-12,104	-72,45
6			-19,587	-13,636	-18,117	-14,112	-17,533	-13,489	-19,063	-12,986	-72,45
8			-22,190	-12,161	-18,859	-13,683	-17,043	-13,755	-17,225	-14,012	-72,45
10			-21,395	-12,592	-19,061	-13,559	-16,136	-14,256	-15,133	-15,181	-72,45
12			-21,548	-12,493	-18,700	-13,750	-14,801	-14,997	-12,776	-16,498	-72,45
14			-23,825	-11,204	-19,837	-13,103	-15,102	-14,822	-12,217	-16,808	-72,45
16			-24,844	-10,623	-20,415	-12,772	-14,989	-14,881	-11,404	-17,261	-72,45
18			-25,204	-10,413	-20,425	-12,759	-14,459	-15,174	-10,334	-17,859	-72,45
20			-26,862	-9,477	-21,833	-11,966	-15,480	-14,599	-10,974	-17,499	-72,45
22			-27,675	-9,018	-22,600	-11,533	-16,084	-14,259	-11,358	-17,283	-72,45
24	**76**	**76**	-28,150	-8,752	-22,931	-11,348	-16,275	-14,152	-11,487	-17,210	-72,45
26			-27,603	-9,059	-22,549	-11,562	-16,047	-14,280	-11,358	-17,283	-72,45
28			-26,717	-9,559	-21,731	-12,024	-15,405	-14,641	-10,974	-17,499	-72,45
30			-24,986	-10,535	-20,271	-12,847	-14,346	-15,238	-10,333	-17,860	-72,45
32			-24,555	-10,785	-20,210	-12,887	-14,840	-14,965	-11,404	-17,261	-72,45
34			-23,464	-11,408	-19,581	-13,248	-14,917	-14,927	-12,217	-16,808	-72,45
36			-21,113	-12,738	-18,392	-13,924	-14,577	-15,124	-12,775	-16,499	-72,45
38			-21,469	-12,552	-19,282	-13,436	-16,456	-14,078	-15,712	-14,856	-72,45
40			-22,192	-12,161	-19,030	-13,589	-17,326	-13,598	-17,806	-13,687	-72,45
42			-18,936	-14,002	-17,655	-14,372	-17,198	-13,678	-19,063	-12,986	-72,45
44			-16,814	-15,207	-16,321	-15,132	-17,230	-13,668	-20,645	-12,104	-72,45
46			-14,178	-16,700	-14,491	-16,170	-16,865	-13,882	-21,975	-11,363	-72,45
48			-9,973	-19,069	-11,480	-17,869	-15,633	-14,581	-22,490	-11,077	-72,45

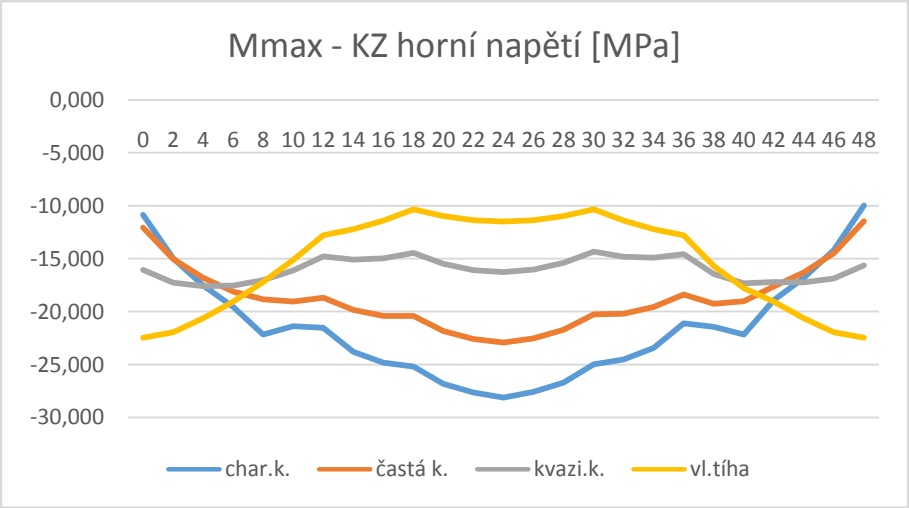
Graf 5: Průběh napětí po nosníku TR horní vlákna M_{max}



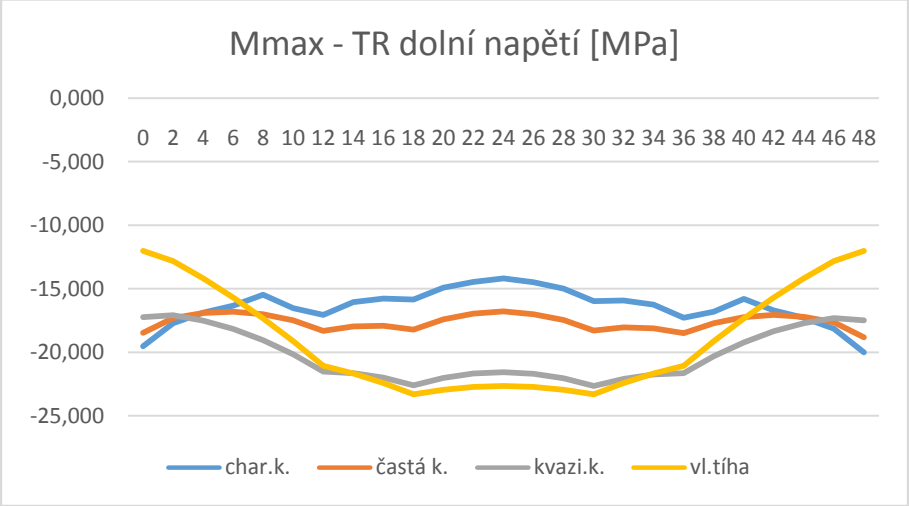
Graf 6: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{max}



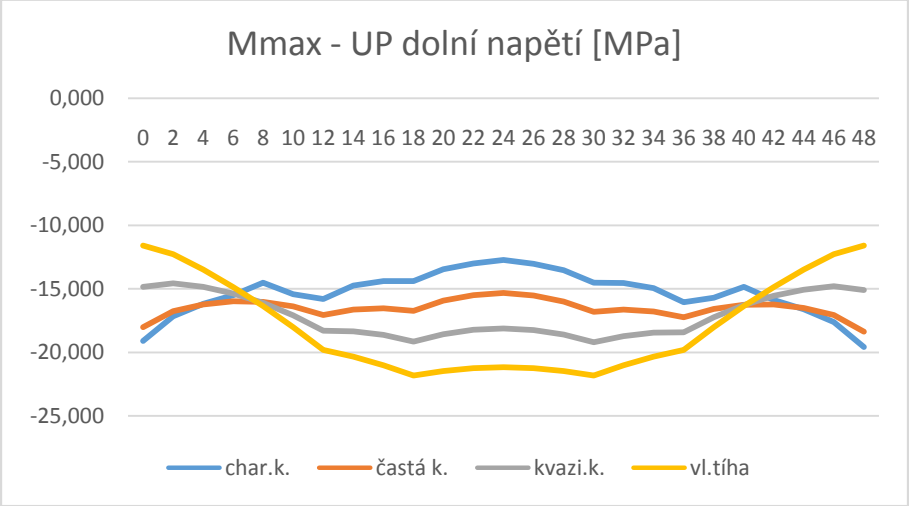
Graf 7: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{max}



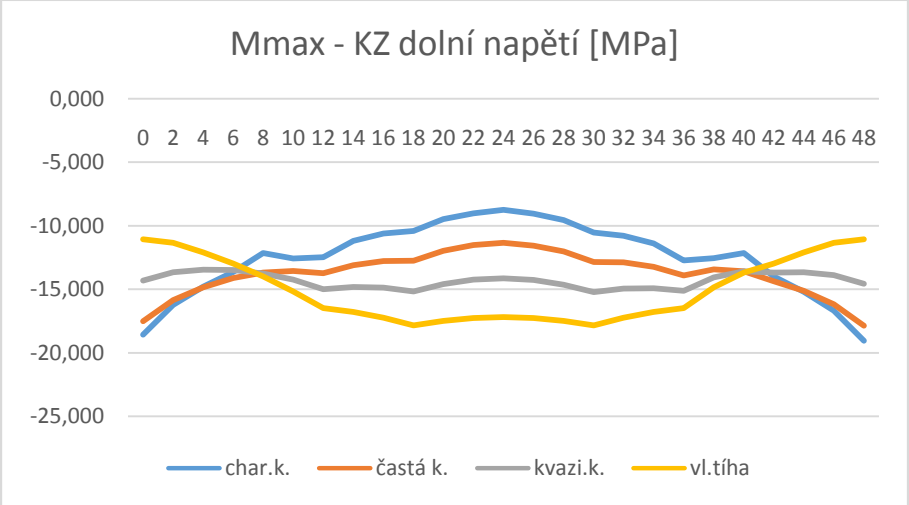
Graf 8: Průběh napětí po nosníku TR dolní vlákna M_{max}



Graf 9: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{max}



Graf 10: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{max}



Tab. 22: Posouzeni M_{min} pro MSP v době TR

TR											
ŘEZ	počet lan	počet lan	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	F1	F2	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	σ_{lim} [Mpa]
0	**76**	**76**	-12,241	-24,825	-17,289	-21,417	-23,658	-18,829	-31,162	-12,033	-72,45
2			-15,331	-23,083	-19,284	-20,291	-23,938	-18,683	-29,730	-12,833	-72,45
4			-17,167	-22,040	-20,109	-19,817	-23,163	-19,109	-27,296	-14,194	-72,45
6			-18,319	-21,379	-20,368	-19,659	-21,985	-19,759	-24,606	-15,697	-72,45
8			-18,761	-21,117	-20,037	-19,833	-20,387	-20,646	-21,660	-17,344	-72,45
10			-18,491	-21,253	-19,119	-20,336	-18,373	-21,766	-18,460	-19,134	-72,45
12			-17,492	-21,800	-17,598	-21,178	-15,931	-23,128	-14,997	-21,072	-72,45
14			-18,443	-21,254	-18,136	-20,867	-15,709	-23,247	-13,914	-21,675	-72,45
16			-18,715	-21,092	-18,100	-20,880	-15,071	-23,600	-12,576	-22,423	-72,45
18			-18,349	-21,289	-17,506	-21,207	-14,017	-24,187	-10,982	-23,314	-72,45
20			-19,875	-20,427	-18,862	-20,442	-15,040	-23,611	-11,624	-22,953	-72,45
22			-20,743	-19,937	-19,652	-19,997	-15,646	-23,270	-12,010	-22,736	-72,45
24			-21,009	-19,789	-19,898	-19,858	-15,836	-23,164	-12,138	-22,664	-72,45
26			-20,706	-19,958	-19,615	-20,018	-15,609	-23,291	-12,010	-22,736	-72,45
28			-19,801	-20,469	-18,788	-20,484	-14,966	-23,653	-11,624	-22,953	-72,45
30			-18,238	-21,352	-17,394	-21,269	-13,906	-24,250	-10,982	-23,314	-72,45
32			-18,567	-21,176	-17,951	-20,964	-14,923	-23,684	-12,576	-22,423	-72,45
34			-18,258	-21,359	-17,950	-20,972	-15,523	-23,352	-13,914	-21,675	-72,45
36			-17,269	-21,926	-17,375	-21,304	-15,708	-23,254	-14,997	-21,072	-72,45
38			-18,231	-21,400	-18,858	-20,483	-18,113	-21,913	-18,460	-19,134	-72,45
40			-18,463	-21,284	-19,739	-20,001	-20,090	-20,814	-21,660	-17,344	-72,45
42			-17,984	-21,568	-20,033	-19,848	-21,650	-19,948	-24,606	-15,697	-72,45
44			-16,794	-22,250	-19,737	-20,027	-22,790	-19,319	-27,296	-14,194	-72,45
46			-14,922	-23,314	-18,874	-20,522	-23,529	-18,914	-29,730	-12,833	-72,45
48			-11,797	-25,077	-16,845	-21,670	-23,215	-19,081	-31,162	-12,033	-72,45

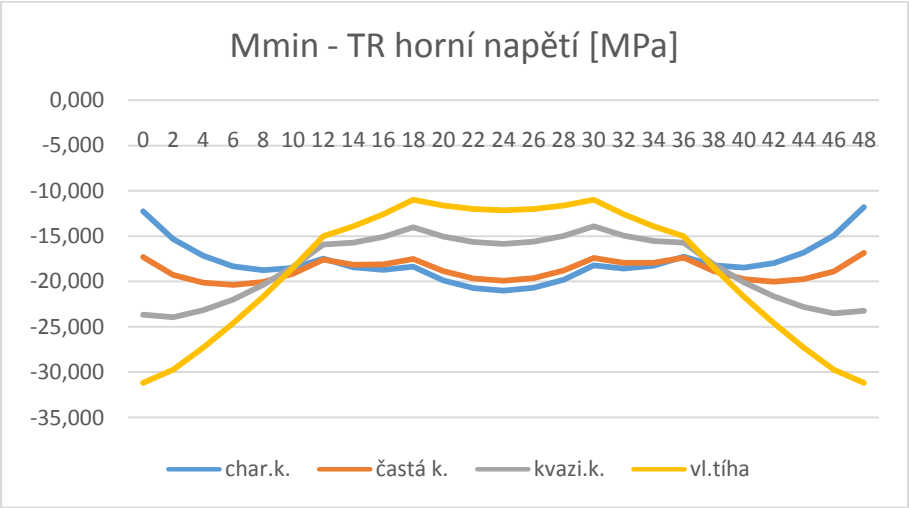
Tab. 23: Posouzeni M_{min} pro MSP v době UP

UP											
ŘEZ	počet lan	počet lan	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	F1	F2	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	σ_{lim} [Mpa]
0			-10,039	-24,383	-15,087	-20,975	-21,456	-16,426	-28,960	-11,591	-72,45
2			-13,338	-22,523	-17,291	-19,731	-21,945	-16,146	-27,737	-12,273	-72,45
4			-15,422	-21,341	-18,364	-19,118	-21,418	-16,434	-25,551	-13,495	-72,45
6			-16,823	-20,541	-18,872	-18,821	-20,489	-16,946	-23,110	-14,859	-72,45
8			-17,514	-20,138	-18,791	-18,855	-19,141	-17,693	-20,414	-16,366	-72,45
10			-17,493	-20,136	-18,120	-19,219	-17,375	-18,675	-17,461	-18,017	-72,45
12			-16,744	-20,542	-16,850	-19,920	-15,184	-19,897	-14,249	-19,814	-72,45
14			-17,826	-19,923	-17,519	-19,536	-15,092	-19,942	-13,297	-20,344	-72,45
16			-18,228	-19,688	-17,612	-19,476	-14,584	-20,222	-12,089	-21,019	-72,45
18			-17,993	-19,812	-17,149	-19,729	-13,661	-20,736	-10,626	-21,837	-72,45
20			-19,519	-18,950	-18,505	-18,965	-14,684	-20,160	-11,268	-21,475	-72,45
22			-20,386	-18,461	-19,294	-18,520	-15,288	-19,819	-11,652	-21,259	-72,45
24	**76**	**76**	-20,651	-18,312	-19,541	-18,382	-15,479	-19,713	-11,781	-21,187	-72,45
26			-20,349	-18,482	-19,257	-18,541	-15,251	-19,840	-11,652	-21,259	-72,45
28			-19,445	-18,992	-18,431	-19,006	-14,609	-20,201	-11,268	-21,475	-72,45
30			-17,881	-19,874	-17,038	-19,792	-13,549	-20,799	-10,626	-21,837	-72,45
32			-18,079	-19,772	-17,464	-19,560	-14,435	-20,306	-12,089	-21,019	-72,45
34			-17,641	-20,028	-17,333	-19,641	-14,906	-20,047	-13,297	-20,344	-72,45
36			-16,521	-20,668	-16,627	-20,046	-14,961	-20,023	-14,249	-19,814	-72,45
38			-17,232	-20,283	-17,860	-19,366	-17,114	-18,822	-17,461	-18,017	-72,45
40			-17,217	-20,306	-18,493	-19,022	-18,843	-17,861	-20,414	-16,366	-72,45
42			-16,488	-20,730	-18,537	-19,010	-20,154	-17,134	-23,110	-14,859	-72,45
44			-15,049	-21,551	-17,992	-19,328	-21,045	-16,643	-25,551	-13,495	-72,45
46			-12,929	-22,754	-16,882	-19,962	-21,536	-16,377	-27,737	-12,273	-72,45
48			-9,595	-24,635	-14,643	-21,228	-21,012	-16,679	-28,960	-11,591	-72,45

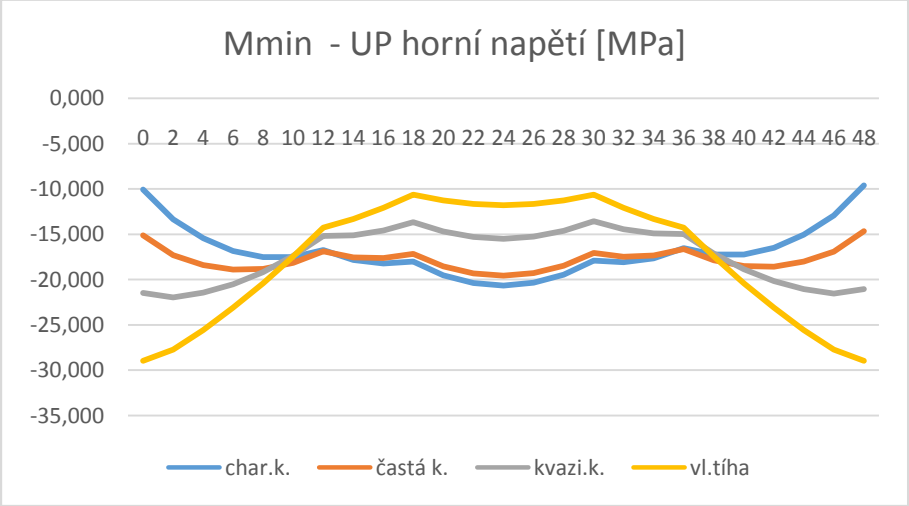
Tab. 24: Posouzeni M_{min} pro MSP v době KZ

KZ											
ŘEZ	počet lan	počet lan	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	F1	F2	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	$\sigma_{g,h}$ [Mpa]	$\sigma_{g,d}$ [Mpa]	σ_{lim} [Mpa]
0			-3,569	-23,869	-8,618	-20,461	-14,987	-15,912	-22,490	-11,077	-72,45
2			-7,576	-21,613	-11,529	-18,821	-16,184	-15,235	-21,975	-11,363	-72,45
4			-10,517	-19,950	-13,459	-17,727	-16,513	-15,042	-20,645	-12,104	-72,45
6			-12,777	-18,668	-14,826	-16,949	-16,443	-15,073	-19,063	-12,986	-72,45
8			-14,326	-17,784	-15,602	-16,501	-15,953	-15,339	-17,225	-14,012	-72,45
10			-15,164	-17,300	-15,791	-16,383	-15,046	-15,840	-15,133	-15,181	-72,45
12			-15,271	-17,226	-15,377	-16,605	-13,710	-16,581	-12,776	-16,498	-72,45
14			-16,746	-16,387	-16,439	-16,000	-14,012	-16,406	-12,217	-16,808	-72,45
16			-17,543	-15,931	-16,927	-15,718	-13,899	-16,464	-11,404	-17,261	-72,45
18			-17,701	-15,834	-16,857	-15,752	-13,369	-16,758	-10,334	-17,859	-72,45
20			-19,225	-14,973	-18,211	-14,988	-14,389	-16,183	-10,974	-17,499	-72,45
22			-20,091	-14,484	-19,000	-14,543	-14,994	-15,843	-11,358	-17,283	-72,45
24	**76**	**76**	-20,357	-14,335	-19,247	-14,405	-15,184	-15,736	-11,487	-17,210	-72,45
26			-20,054	-14,505	-18,963	-14,564	-14,957	-15,864	-11,358	-17,283	-72,45
28			-19,150	-15,015	-18,137	-15,030	-14,315	-16,225	-10,974	-17,499	-72,45
30			-17,588	-15,897	-16,745	-15,815	-13,256	-16,821	-10,333	-17,860	-72,45
32			-17,394	-16,014	-16,778	-15,802	-13,750	-16,548	-11,404	-17,261	-72,45
34			-16,561	-16,492	-16,253	-16,105	-13,826	-16,511	-12,217	-16,808	-72,45
36			-15,047	-17,353	-15,153	-16,731	-13,486	-16,708	-12,775	-16,499	-72,45
38			-15,483	-17,122	-16,111	-16,205	-15,365	-15,661	-15,712	-14,856	-72,45
40			-14,609	-17,627	-15,885	-16,343	-16,236	-15,181	-17,806	-13,687	-72,45
42			-12,442	-18,857	-14,491	-17,137	-16,108	-15,262	-19,063	-12,986	-72,45
44			-10,144	-20,160	-13,086	-17,937	-16,140	-15,252	-20,645	-12,104	-72,45
46			-7,167	-21,844	-11,120	-19,051	-15,775	-15,466	-21,975	-11,363	-72,45
48			-3,126	-24,121	-8,174	-20,713	-14,543	-16,164	-22,490	-11,077	-72,45

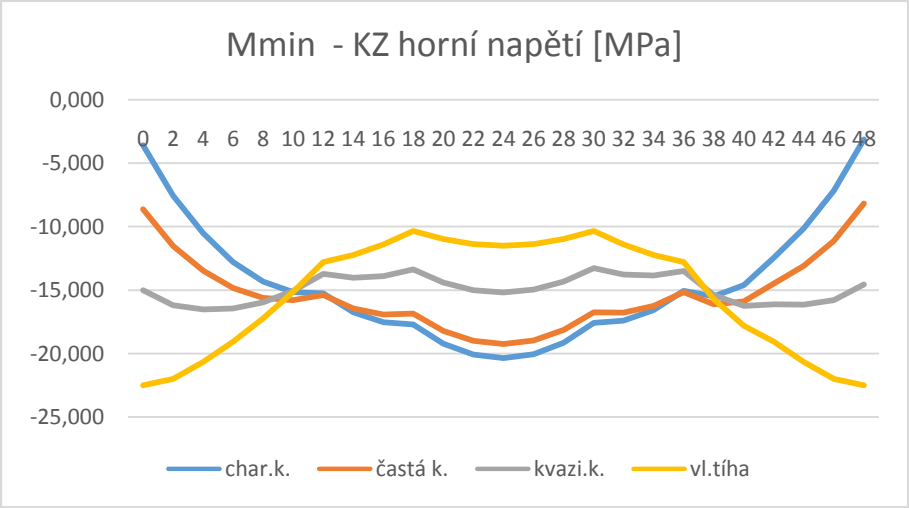
Graf 11: Průběh napětí po nosníku TR horní vlákna M_{min}



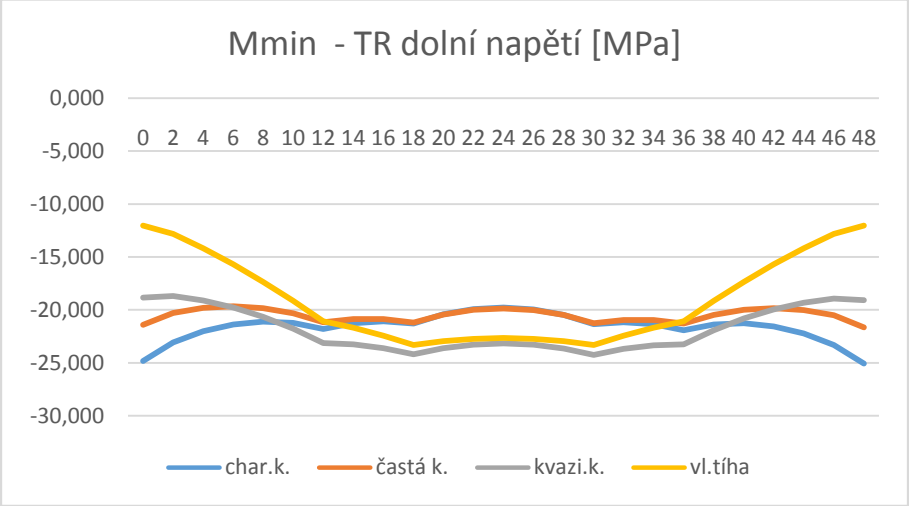
Graf 12: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{min}



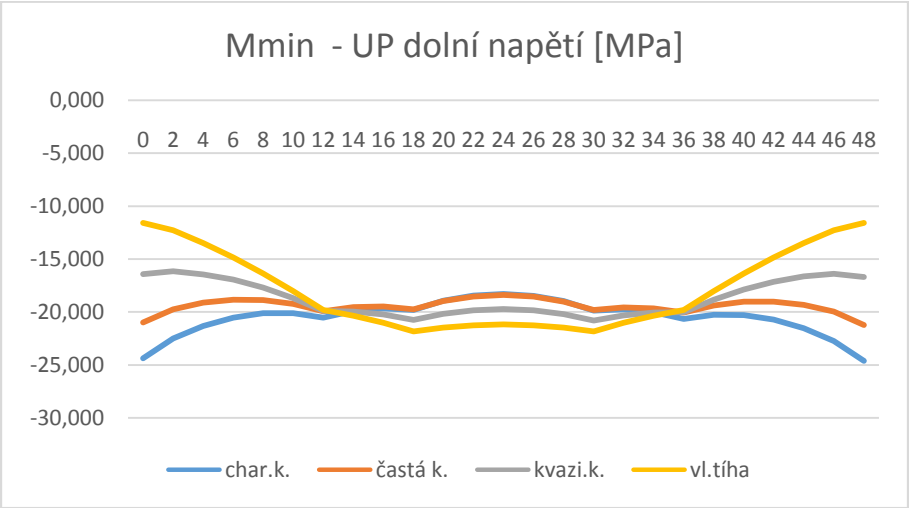
Graf 13: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{min}



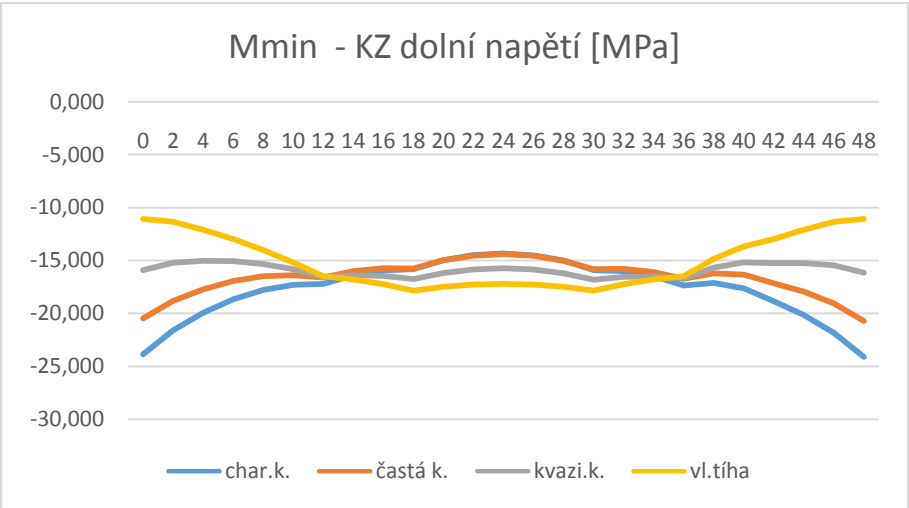
Graf 14: Průběh napětí po nosníku TR dolní vlákna M_{min}



Graf 15: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{min}



Graf 16: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{min}



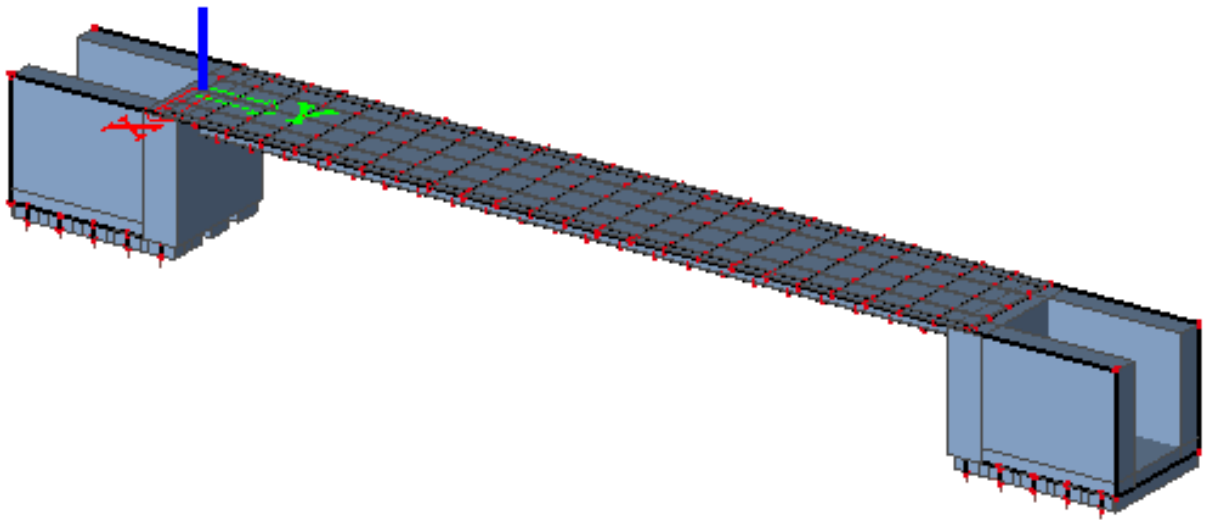
Návrh počtu předpínacích kabelů proběhl bez větších problémů, z důvodu možnosti namáhat beton z UHPRFC vysokými napětími. Vyšší napětí v návrhu pro Mmax je způsobeno nutností vyrovnat momenty pro M_{min}, aby nedocházelo k tahu v okolí opěr, a tudíž k rozevírání jednotlivých segmentů konstrukce.

Výsledný počet kabelů je 4 kabely po 19 lanech s deviátory v 1/4 L a 4 kabely po 19 lanech s deviátory ve 3/8 L.

9. 3D DESKOSTĚNOVÝ MODEL

Pro návrh předpětí podpěr a pro posouzení v příčném směru musíme sestavit reálný deskostěnový model a stanovit na něm vnitřní síly pro následné posouzení konstrukce v příčném směru. Konstrukce bude sestavena na základě prutového modelu, který byl posuzován doposud a bude posuzován na totožné sestavy zatížení. Bude také založen na pilotách, a proto bude v programu Scia Engineer uvažovány podpěry jako pružiny.

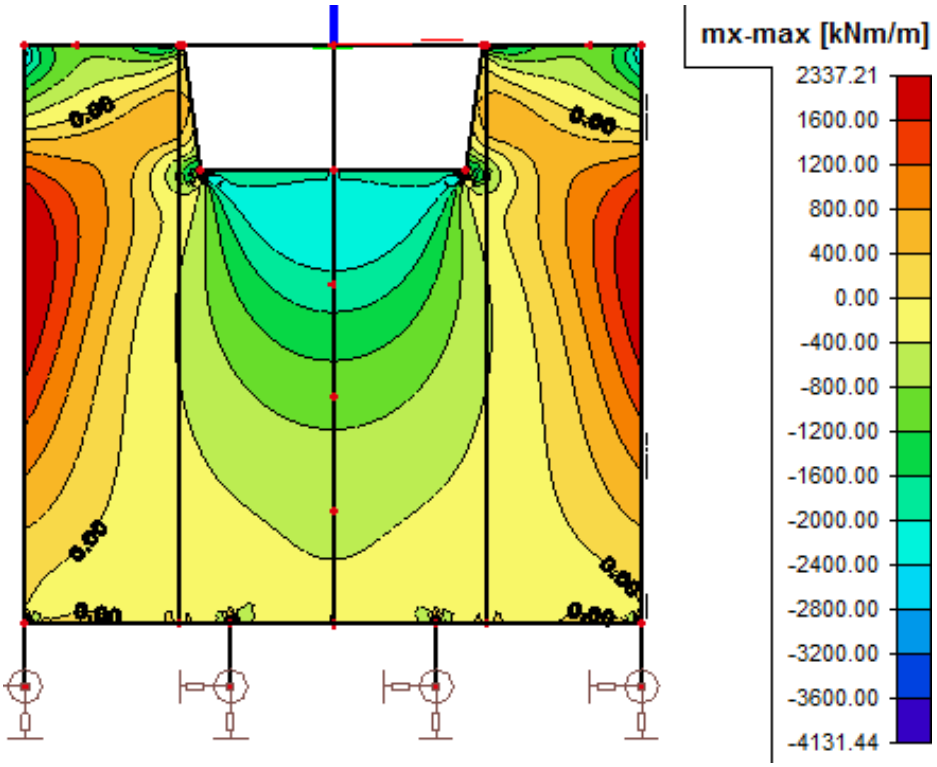
Obr. 130: Deskostěnový model



9.1. Dimenzační momenty pro návrh opěry

Na deskostěnovém modelu stanovíme průběh ohybových momentů pro dimenzaci předpětí jako v předchozí kapitole. Uvažovány budou veškeré zatěžovací stavy, jako byly uvažovány doposud.

Obr. 131: Průběh kombinace zatížení bez součinitelů na opěru



Pro zkrácení diplomové práce uvádím jen součet výsledků na plochu opěry, všechny výsledky budou uvedeny v přehledné tabulce. Uvedené momenty na ploše jsou bez jakýchkoli součinitelů pro MSÚ nebo MSP, tyto součinitele budou použity až v tabulkových výpočtech. Z důvodu znaménkové konvence, jsou skutečné ohybové momenty na opěře opačného znaménka, než které jsou vykreslené na obrázku vykreslení ohybových momentů. V tabulce jsou uvedeny hodnoty se správnými znaménky.

Tab. 25: Průběhy ohybových momentů po opěře

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [MNm/m]			LM3	zat. Teplo. [kNm/m]		zat. Zem, [kNm/m]	
[M]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	TS	UDL	Σ	[kNm/m]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0 . L	461,6	261,42	34,72	350,34	224,04	574,38	249,62	1,1	-0,55	-2,61	1,79
1/4 . L	617,52	337,64	44,79	452,75	286,77	739,52	319,37	1,13	-0,56	59,37	2,48
1/2 . L	389,83	212,18	28,18	284,53	180,48	465,01	201	0,71	-0,35	38,65	3,05
3/4 . L	215,31	113,48	15,07	152,13	96,42	248,55	107,4	0,37	-0,19	16,76	2,99
1 . L	140,93	77,23	10,26	103,71	66,28	169,99	73,82	0,31	-0,15	175,98	1,79

V tabulce jsou uvedeny ohybové momenty v jednotlivých průřezech pro výpočet kombinací pro návrh předpětí pro opěru. Výsledky jsou uvedeny na 1m šířky opěry a na tuto délku bude proveden i návrh předpětí a posouzen na výsledné napětí od předpětí a zatěžovacích stavů.

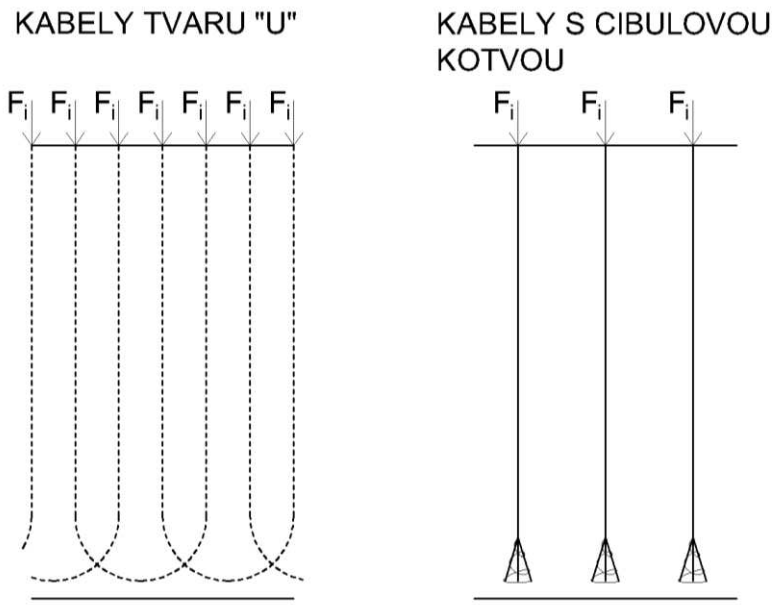
Tab. 26: Kombinace ohybových momentů pro návrh opěry

ŘEZ	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace
[m]	[MNm/m]					
0 . L	1,793	1,403	1,640	1,332	1,109	0,756
1/4 . L	2,426	1,874	2,225	1,802	1,500	1,060
1/2 . L	1,531	1,182	1,404	1,137	0,946	0,669
3/4 . L	0,824	0,641	0,755	0,612	0,510	0,361
1 . L	0,777	0,518	0,731	0,576	0,466	0,405

9.2. Návrh a posouzení předpínací výztuže

Pro předpětí opěry máme dvě možnosti, jedna je využít předpínacích kabelu s cibulovou kotvou na konci pro zabránění vytržení kabelu při vnesení předpětí. Druhá možnost je využití kabelu s běžnými kotvami na obou koncích, a to tak že budou mít průběh „U“ kde budou jednotlivé kabely provázány přes sebe. Pro tento případ využijeme druhé možnosti, z důvodu možnosti lepší kontroly kotev předpínacích lan.

Obr. 132: Typy průběhu kabelů po opěře



Počet kabelu a lan v kabelech bude volen dle potřeb a bude upraven dle výsledných napětí, bude volen dostatečný počet kabelů pro rovnoměrné rozptýlení napětí po průřezu. 1 lano bude cca po 0,75m. Předpínací výztuž bude uvažována jako v předešlé kapitole pro návrh externích předpínacích kabelů a to kabely z lan Ø 15,7 mm o ploše 150,0mm^2. Ztráta bude při předpětí z důvodu pokluzu kabelů při předpínání 5%, z důvodu že se nejedná o tak kvalitní beton jako u segmentů a delší dobou mezi napínáním a uvedením do provozu, bude pro tyto kabely uvažována ztráta při uvedení do provozu 15% a následně na konci životnosti ztráta 25%.

$N_{p0,95}$ = 1470 . 0,95 . 0,000150 = 0,2095 MN

$N_{p0,90}$ = 1470 . 0,85 . 0,000150 = 0,1874 MN

$N_{p0,75}$ = 1470 . 0,75 . 0,000150 = 0,1654 MN

Pro návrh předpětí a výpočet napětí je potřeba spočítat průřezové charakteristiky opěry na 1 běžný metr délky.

Plocha průřezu A = 2,0 m^2

Výška průřezu z = 2,0 m

Těžiště průřezu z_c= 1,0 m

Momenty setrvačnosti $I = 1/12 \cdot b \cdot z^3 = 1/12 \cdot 1 \cdot 2^3 = 0{,}6667\ m^4$

Průřezový modul $W^h = W^d = I / z_c = 0{,}6667 / 1{,}0 = 0{,}6667\ m^3$

9.2.1. Konstrukční zásady předpínací výztuže

Krytí předpínací výztuže:

Krycí vrstva výztuže se stanoví ze vztahu

$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$

C_{nom} nominální krycí vrstva výztuže

C_{min} minimální krycí vrstva výztuže

ΔC_{dev} přídavek na návrhovou odchylku

Minimální krycí vrstva C_{min} musí zajistit dostatečnou vrstvu betonu pro spolehlivé přenesení sil soudržnosti, ochranu proti korodování výztuže a odpovídající požární odolnost.

$C_{min} = \max (C_{min,b}\ ;\ C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add};\ 10mm)$

$C_{min} = \max (80\ ;\ 50 + 0 - 0 - 0\ ;\ 10) = 80$ mm

$C_{nom} = 10 + 80 = 90$ mm

Mezery mezi kabelovými kanálky:

-Vodorovně : ≥ průměr kanálků

≥ 50mm

$\geq d_g$ + 5mm kde d_g je největší rozměr zrna kameniva

- mezi kanálky alespoň jedna mezera 100-150mm pro uložení betonu

- Svisle: ≥ průměr kanálků

≥ 40mm

$\geq d_g$

Mezery mezi kotvami kabelů:

Je nutné, aby byly dodrženy alespoň minimální osové vzdálenosti mezi kotvami kabelů a také mezi osou kotvy a krajním povrchem betonu, doporučené hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 27: Přibližných minimálních osových vzdálenosti kabelů

	počet lan v kabelu			
	3	4	7	9
A [mm]	150	150	180	225
B [mm]	110	120	150	185
Ø [mm]	40	45	60	65

A minimální osová vzdálenost mezi kabely

B minimální vzdálenost mezi osou kabelu a nejbližším povrchem betonu

Ø průměr kabelového kanálku

Z důvodu malých momentů nebude problém tuto podmínku zajistit a bude přepokládáno že kotvy od předpínacích kabelů budou v dostatečné vzdálenosti od sebe.

9.2.2. Návrh počtu předpínacích kabelů

Návrh 18 lan do metru, tedy kabel po 0,5m s 9 lany v kabelu.

Pro návrh předpínacích kabelů musíme vypočíst excentricitu kabelů, co se týče svislého průběhu kabelu po průřezu opěry, budou kabely přímé a křivost kabelů bude, až ve spodní části opěry kde budou zakřiveny pro docílení tvaru „U“ a zakotvení opět v horní části opěry. Excentricita kabelů ani nebude využita celá, pouze na pokrytí momentů a to do takové míry aby na líci opěry nedocházelo k tahům.

Maximální excentricita: $e_{p,max} = z_c - C_{nom} – Ø/2 = 1000 – 90–65/2 = 877,5$ mm

Vyvozený moment od předpětí bude přímo závislí na excentricitě:

$M_p = N_{p,i} \cdot e_p$

$M_{p,0,95} = 0,2095 \cdot 0,420 = 87,99kNm$

$M_{p,0,85} = 0,1874 \cdot 0,420 = 78,71kNm$

$M_{p,0,75} = 0,1654 \cdot 0,420 = 69,47kNm$

Napětí v betonu v době vnášení předpětí má být omezeno maximálně na hodnotu $0,45 \cdot f_{ck,t}$ z důvodu předpínání po uplynutí 28 dní, můžeme uvažovat plnou pevnost betonu v tlaku:

$0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 70,0 = 31,5MPa$

Posouzení pomocí programu Microsoft Excel, jako v předchozí kapitole pro návrh napětí v segmentovém nosníku. Návrh a posouzení budou taktéž v jedné tabulce a bude uveden počet lan, který se následně rozloží do příslušného počtu kabelů. Posouzení proběhne ve všech časových stádiích a pro horní a dolní povrch budou pro větší přehlednost vykresleny grafy.

*Staničení v tabulkách je od shora opěry směrem dolů.

Tab. 28: Vnitřní síly od předpětí na opěru

ŘEZ	$F_{p,0,95}$		$F_{p,0,90}$		$F_{p,0,75}$	
[M]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]
0 . L	-0,08799	-0,2095	-0,07871	-0,1874	-0,06947	-0,1654
1/4 . L	-0,08799	-0,2095	-0,07871	-0,1874	-0,06947	-0,1654
1/2 . L	-0,08799	-0,2095	-0,07871	-0,1874	-0,06947	-0,1654
3/4 . L	-0,08799	-0,2095	-0,07871	-0,1874	-0,06947	-0,1654
1 . L	-0,08799	-0,2095	-0,07871	-0,1874	-0,06947	-0,1654

Tab. 29: Posouzeni M na opěru pro MSP v době TR

TR								
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		
[M]	lan na 1m	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σlim [Mpa]
0 . L	**18**	-1,508	-2,263	-1,174	-2,597	-0,643	-3,128	31,5
1/4 . L		-2,213	-1,558	-1,760	-2,011	-1,100	-2,671	31,5
1/2 . L		-1,216	-2,555	-0,929	-2,842	-0,513	-3,258	31,5
3/4 . L		-0,428	-3,343	-0,275	-3,496	-0,051	-3,720	31,5
1 . L		-0,374	-3,397	-0,208	-3,563	-0,116	-3,655	31,5

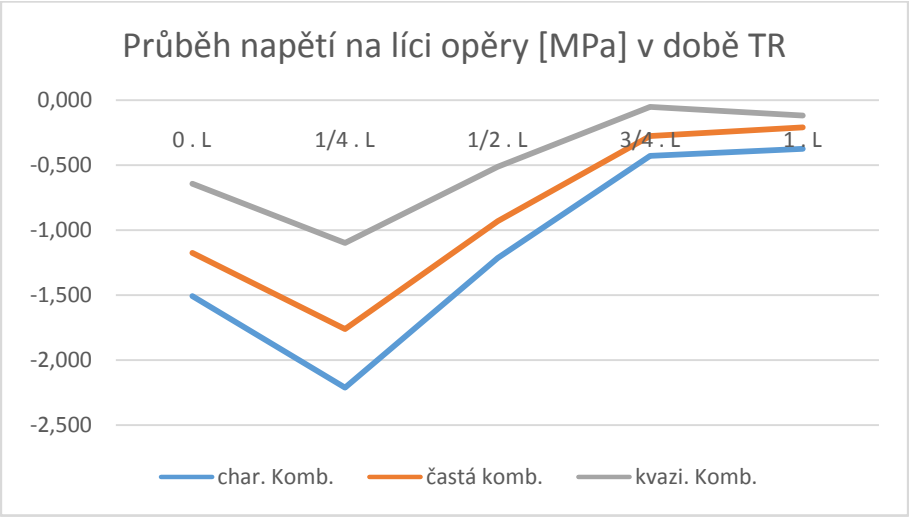
Tab. 30: Posouzeni M na opěru pro MSP v době UP

UP								
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		
[M]	lan na 1m	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σlim [Mpa]
0 . L	**18**	-1,559	-1,814	-1,226	-2,148	-0,695	-2,678	31,5
1/4 . L		-2,265	-1,109	-1,812	-1,561	-1,151	-2,222	31,5
1/2 . L		-1,267	-2,106	-0,981	-2,392	-0,565	-2,808	31,5
3/4 . L		-0,480	-2,893	-0,327	-3,046	-0,103	-3,271	31,5
1 . L		-0,426	-2,947	-0,260	-3,114	-0,168	-3,205	31,5

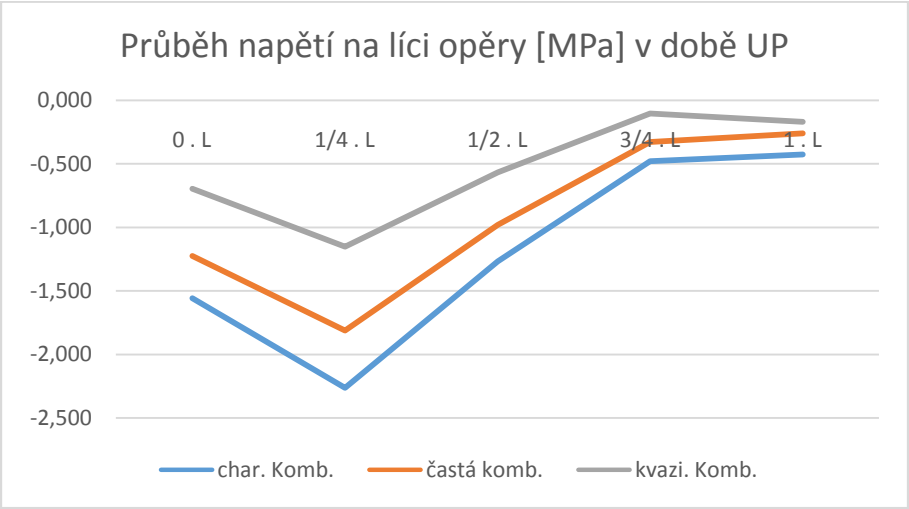
Tab. 31: Posouzeni M na opěru pro MSP v době UP

KZ								
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		
[M]	lan na 1m	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σg+p,lic [Mpa]	σg+p,rub [Mpa]	σlim [Mpa]
0 . L	**18**	-1,611	-1,366	-1,277	-1,700	-0,746	-2,231	31,5
1/4 . L		-2,316	-0,661	-1,863	-1,114	-1,203	-1,774	31,5
1/2 . L		-1,319	-1,658	-1,032	-1,945	-0,617	-2,361	31,5
3/4 . L		-0,531	-2,446	-0,379	-2,599	-0,154	-2,823	31,5
1 . L		-0,477	-2,500	-0,311	-2,666	-0,220	-2,758	31,5

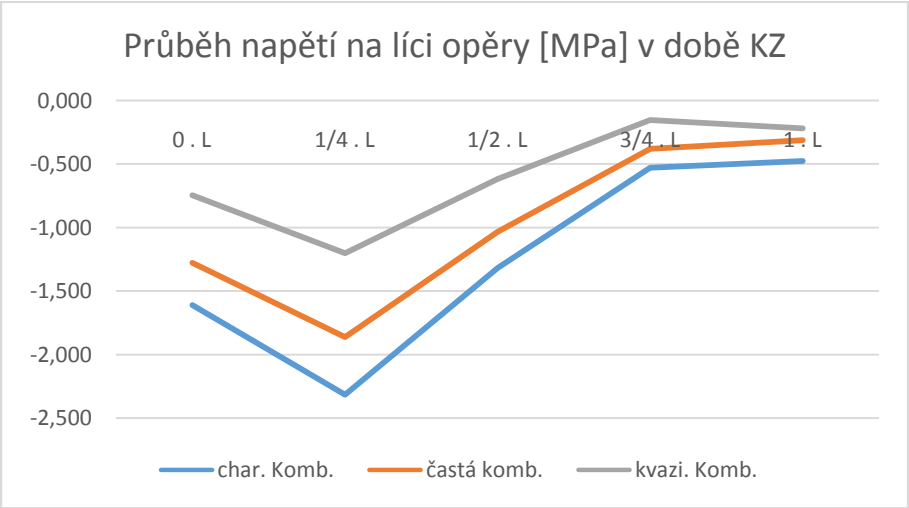
Graf 17: Průběh napětí po líci opěry TR



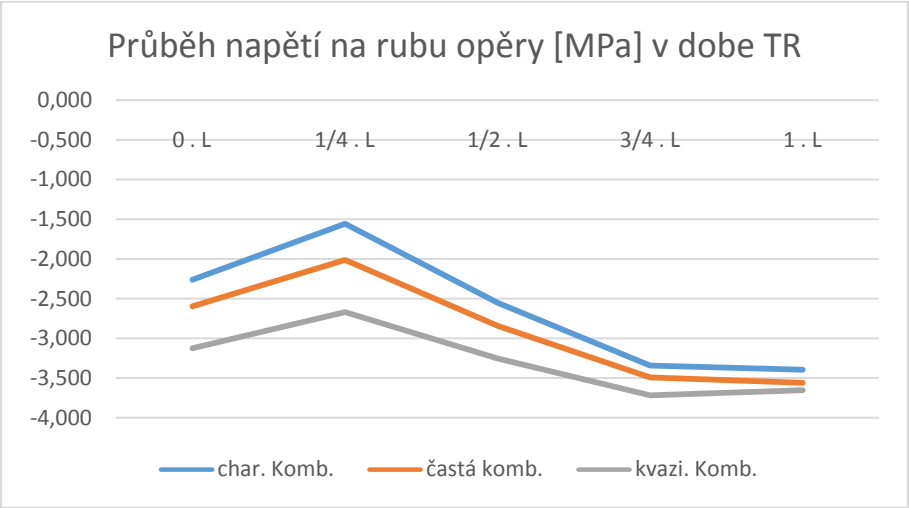
Graf 18: Průběh napětí po líci opěry UP



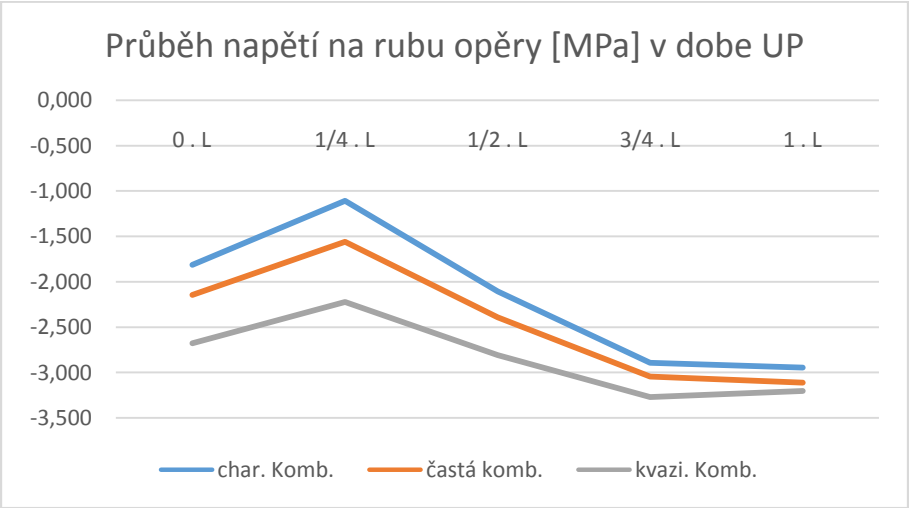
Graf 19: Průběh napětí po líci opěry KZ



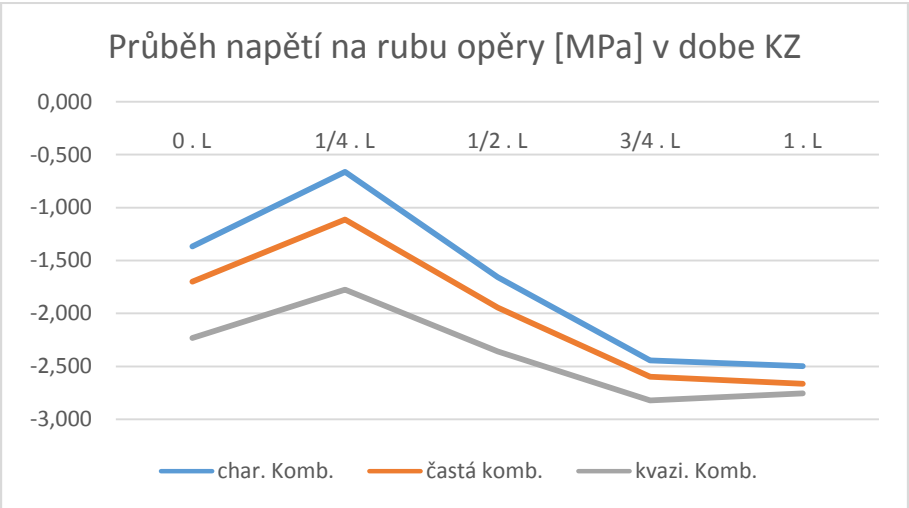
Graf 20: Průběh napětí po rubu opěry TR



Graf 21: Průběh napětí po rubu opěry UP

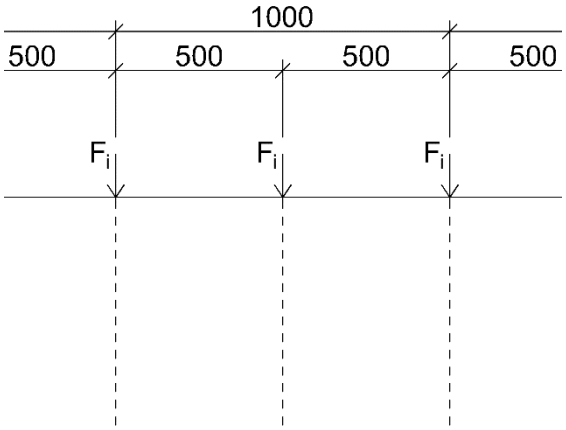


Graf 22: Průběh napětí po rubu opěry KZ



Výsledný počet lan pro návrh opěry je 18 lan, které budou rozděleny do 2 kabelů po 9 lanech, tedy lano po 0,5 m. Předpínací lana musí být rozmístěna rovnoměrně, aby bylo zajištěno rovnoměrné přenesení předpínací síly do konstrukce.

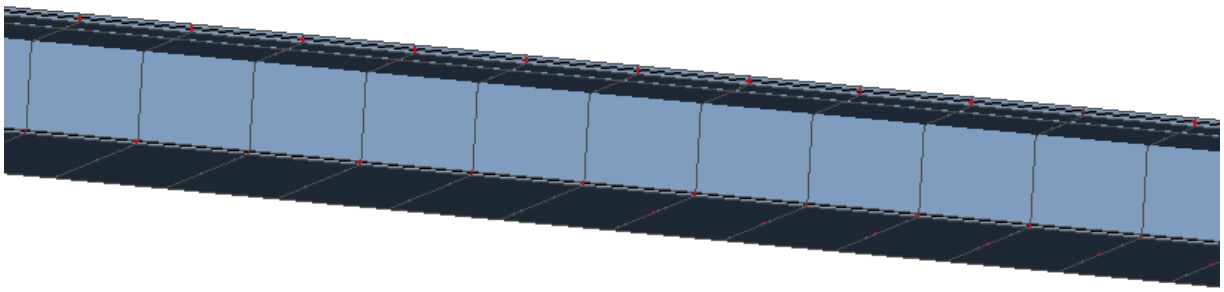
Obr. 133: Rozmístění kabelů po opěře



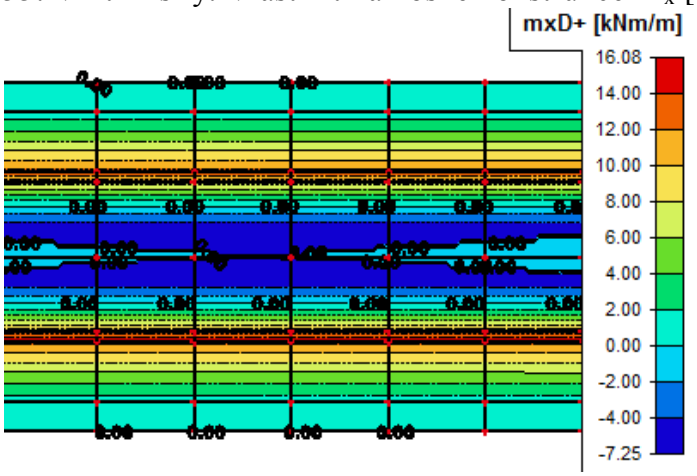
9.3. Dimenzační momenty pro návrh v příčném směru

Nejprve na deskostěnovém modelu stanovíme všechny zajímavé vnitřní síly od zatěžovacích stavů a následně posoudíme mostovku v příčném směru, větší tahové napětí vyřešíme předpětím monostrand předpínacími kabely pro předpětí tenké mostovky z UHPFRC. Opět uvedeme vykreslení od všech zatěžovacích stavů bez součinitelů pro MSÚ a MSP.

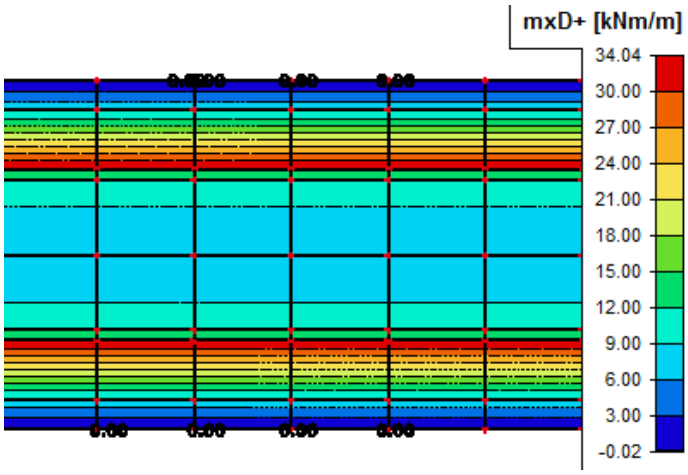
Obr. 134: Pohled na deskostěnovou opěru



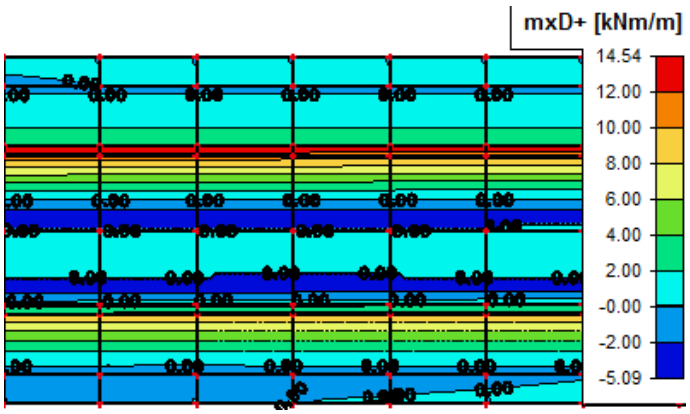
Obr. 135: Vnitřní síly: Vlastní tíha nosné konstrukce M_x [kNm]



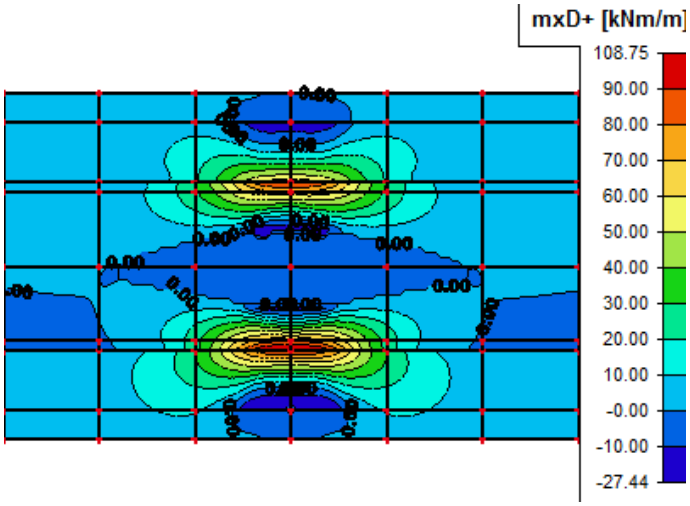
Obr. 136: Vnitřní síly: Ostatní stále zatížení M_x [kNm]



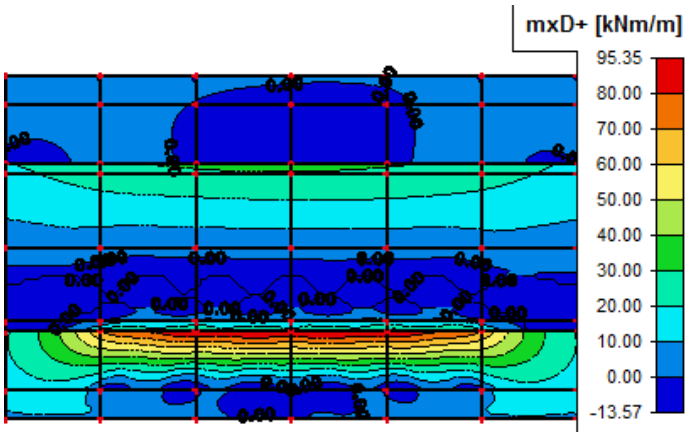
Obr. 137: Vnitřní síly: LM1 spojité zatížení M_x [kNm]



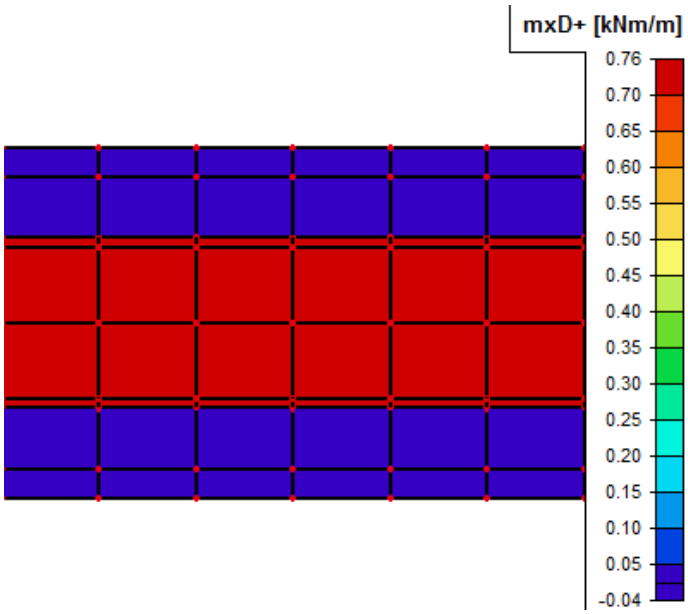
Obr. 138: Vnitřní síly: LM1 nápravové síly M_x [kNm]



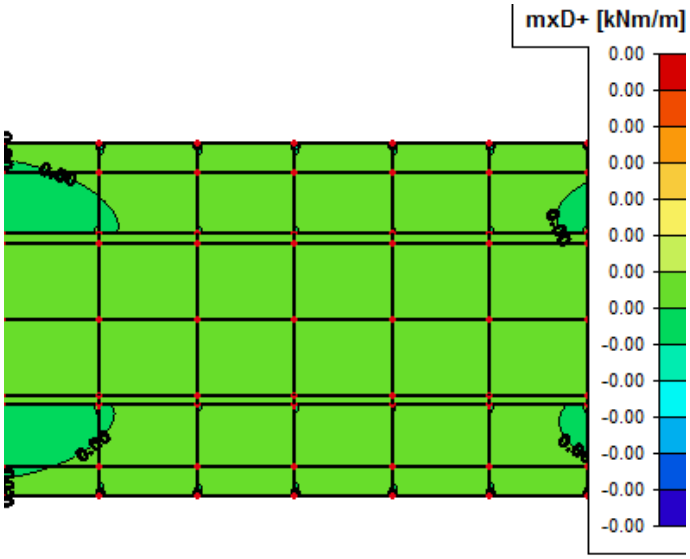
Obr. 139: Vnitřní síly: LM3 nápravové síly M_x [kNm]



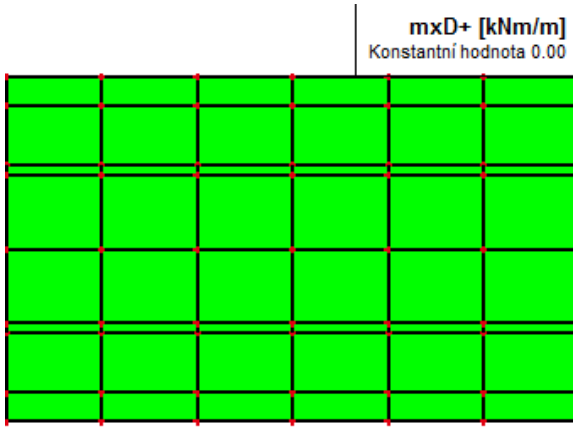
Obr. 140: Vnitřní síly: Teplota – horní povrch teplejší [kNm]



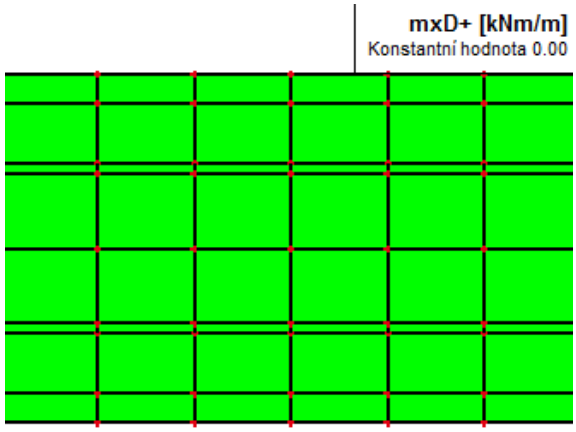
Obr. 141: Vnitřní síly: Teplota – dolní povrch teplejší [kNm]



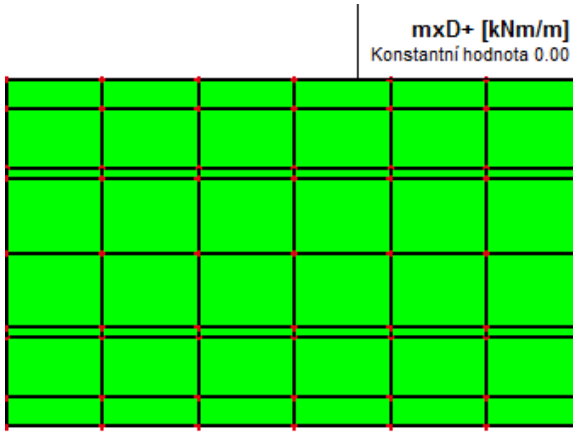
Obr. 142: Vnitřní síly: Nerovnoměrné poklesy opěry [kNm]



Obr. 143: Vnitřní síly: Zatížení zeminou [kNm]

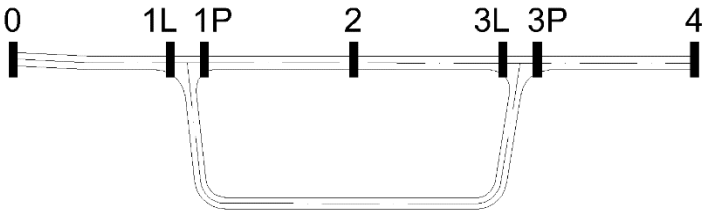


Obr. 144: Vnitřní síly: Zatížení zeminou přitížení [kNm]



Pro posouzení mostovky segmentového nosníku vyčíslíme vnitřní síly v nejzajímavějších průřezech mostovky, na krajích mostovky, dále na obou stranách stojiny komorového nosníku a ve středu mostovky komorového nosníku.

Obr. 145: Řezy na mostovce komorového nosníku



Tab. 32: Průběhy ohybových momentů po mostovce pro M_{max}

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [MNm]			LM3	zat. Teplo. [kNm]		zat. Zem, [kNm]	
[M]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	TS	UDL	Σ	[kNm]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1L	10,55	29,81	0,00	7,71	65,76	73,47	73,95	0,00	0,00	0,00	0,00
1P	11,35	12,06	0,00	1,66	77,93	79,59	11,32	0,76	0,00	0,00	0,00
2	-7,24	6,95	0,00	-4,60	-9,12	-13,72	5,31	0,76	0,00	0,00	0,00
3L	11,35	12,06	0,00	11,21	68,62	79,83	29,53	0,76	0,00	0,00	0,00
3P	10,55	29,81	0,00	2,71	46,33	49,04	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 33: Průběhy ohybových momentů po mostovce pro M_{max}

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [MNm]			LM3	zat. Teplo. [kNm]		zat. Zem, [kNm]	
[M]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	TS	UDL	Σ	[kNm]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1L	10,55	29,81	0,00	7,71	0,00	7,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1P	11,35	12,06	0,00	1,66	0,00	1,66	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00
2	-7,24	6,95	0,00	-4,60	0,00	-4,60	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00
3L	11,35	12,06	0,00	11,21	0,00	11,21	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00
3P	10,55	29,81	0,00	2,71	0,00	2,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 34: Kombinace ohybových momentů po mostovce M_{max}

ŘEZ	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace
[m]	[MNm]					
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1L	0,154	0,087	0,145	0,114	0,072	0,040
1P	0,140	0,072	0,135	0,103	0,056	0,024
2	-0,018	-0,012	-0,018	-0,014	-0,007	0,000
3L	0,140	0,076	0,135	0,104	0,060	0,024
3P	0,121	0,072	0,113	0,089	0,061	0,040
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tab. 35: Kombinace ohybových momentů po mostovce M_{mim}

ŘEZ	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace
[m]	[MNm]					
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1L	0,065	0,052	0,057	0,048	0,046	0,040
1P	0,035	0,030	0,030	0,025	0,025	0,023
2	-0,006	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004	0,000
3L	0,047	0,039	0,043	0,035	0,032	0,023
3P	0,058	0,047	0,050	0,043	0,042	0,040
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Pro vyloučení tahových namáhání betonu, vytváření trhlin v betonu a následné degradaci betonu celou mostovku příčně předepneme plochými předpínacími kanálky. Předpětí bude voleno bez soudržnosti, pomocí kanálků Monostrand. Vedení kabelu bude průběžně

zvedanými kabely pro vyvození momentů a vykrytí momentů od zatížení. Tloušťka kabelových kanálku, kde jsou jednotlivá lana vedena vedle sebe, je dle výrobce v rozmezí cca 19 – 25 mm. Co se týče ztrát, budou uvažovány ztráty od předpětí stejné jako v předpětí podélném, tedy 5% od pokluzu pří předpínání, následně 10% při uvedení mostní konstrukce do provozu a 25% na konci životnosti mostu.

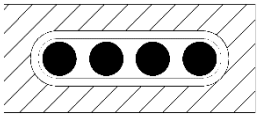
$N_{p0,95}$ = 1470 . 0,95 . 0,000150 = 0,2095 MN

$N_{p0,90}$ = 1470 . 0,90 . 0,000150 = 0,1985 MN

$N_{p0,75}$ = 1470 . 0,75 . 0,000150 = 0,1654 MN

Kabelové kanálky pro předpětí v příčném směru mohou obsahovat od 1 do 4 lan vedle sebe, přibližné rozptýlení kabelových kanálku by mohlo být cca po 0,4 m. Přesný počet lan v kanálcích a jejich rozptýlení po konstrukci bude navrženo stanoveno posudkem v programu Microsoft Excel.

Obr. 146: Schéma kabelu Monostrand



Pro návrh předpětí a výpočet napětí je potřeba spočítat průřezové charakteristiky opěry na 1 běžný metr délky.

Plocha průřezu	$A = 0{,}14\ m^2$
Výška průřezu	$h = 0{,}14\ m$
Těžiště průřezu	$z_c = 0{,}07\ m$
Momenty setrvačnosti	$I = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 1 \cdot 0{,}14^3 = 2{,}2867 \cdot 10^{-4}\ m^4$
Průřezový modul	$W^h = W^d = I / z_c = 0{,}6667 / 0{,}07 = 3{,}2667 \cdot 10^{-3}\ m^3$

Stanovení krycí vrstvy:

Vliv prostředí pro nosnou konstrukci - XF2, XD3, XC3.

C_{min}= max ($C_{min,b}$; $C_{min,dur}$ + $\Delta C_{dur,y}$ -$\Delta C_{dur,st}$ - $\Delta C_{dur,add}$; 10mm)

C_{min}= max (20 ; 20 + 0 - 0 - 0 ; 10) = 20 mm

C_{nom}= 5 + 20 = 25 mm

Vzhledem k tomu že lana jsou v chráničce a bez soudržnosti, nemusí být zajištěna soudržnost a ochrana krycí vrstvou betonu, z tohoto důvodu si můžeme dovolit jít s krytím předpínací výztuže i na menší hodnoty.

$e_{p,max}$ = 70 – 20 – 10 = 40 mm

Maximální excentricity nebude využito, návrh bude volen na excentricitu 35 mm nad stojinami a 10 mm uprostřed komorového nosníku.

Tab. 36: Vnitřní síly od předpětí (1 lano)

ŘEZ	$F_{p,0,95}$		$F_{p,0,90}$		$F_{p,0,75}$	
[M]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]	Mp [MNm]	Np [MN]
0	0	-0,2095	0	-0,1874	0	-0,1654
1L	-0,0073325	-0,2095	-0,00656	-0,1874	-0,00579	-0,1654
1P	-0,0073325	-0,2095	-0,00656	-0,1874	-0,00579	-0,1654
2	0,002095	-0,2095	0,001874	-0,1874	0,001654	-0,1654
3L	-0,0073325	-0,2095	-0,00656	-0,1874	-0,00579	-0,1654
3P	-0,0073325	-0,2095	-0,00656	-0,1874	-0,00579	-0,1654
4	0	-0,2095	0	-0,1874	0	-0,1654

Tab. 37: Návrh počtu kabelů TR mostovka pro M_{max}

TR										
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	lan na 1m	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σlim [Mpa]
0		-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-72,45
1L		-28,112	1,176	-15,444	-11,492	-5,621	-21,315	2,374	-29,310	-72,45
1P		-24,936	-1,999	-10,472	-16,463	-0,549	-26,387	2,043	-28,979	-72,45
2	**9**	-15,091	-11,845	-17,094	-9,841	-19,267	-7,668	-16,248	-10,688	-72,45
3L		-25,010	-1,926	-11,525	-15,411	-0,549	-26,387	2,043	-28,979	-72,45
3P		-20,633	-6,302	-11,916	-15,019	-5,621	-21,315	2,374	-29,310	-72,45
4		-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-72,45

Tab. 38: Návrh počtu kabelů UP mostovka pro M_{max}

TR										
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	lan na 1m	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σlim [Mpa]
0		-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-72,45
1L		-28,822	4,728	-16,154	-7,940	-6,332	-17,763	1,664	-25,758	-72,45
1P		-25,647	1,552	-11,183	-12,912	-1,259	-22,835	1,333	-25,427	-72,45
2	**9**	-13,061	-11,033	-15,065	-9,029	-17,238	-6,857	-14,218	-9,876	-72,45
3L		-25,720	1,626	-12,235	-11,859	-1,259	-22,835	1,333	-25,427	-72,45
3P		-21,344	-2,750	-12,627	-11,467	-6,332	-17,763	1,664	-25,758	-72,45
4		-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-72,45

Tab. 39: Návrh počtu kabelů KZ mostovka pro M_{max}

TR										
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	lan na 1m	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σlim [Mpa]
0		-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-72,45
1L		-29,530	8,264	-16,861	-4,405	-7,039	-14,227	0,957	-22,222	-72,45
1P		-26,354	5,088	-11,890	-9,376	-1,966	-19,300	0,626	-21,892	-72,45
2	**9**	-11,041	-10,225	-13,044	-8,221	-15,217	-6,048	-12,198	-9,068	-72,45
3L		-26,427	5,162	-12,942	-8,323	-1,966	-19,300	0,626	-21,892	-72,45
3P		-22,051	0,785	-13,334	-7,932	-7,039	-14,227	0,957	-22,222	-72,45
4		-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-72,45

Tab. 40: Návrh počtu kabelů TR mostovka pro M_{min}

TR										
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	lan na 1m	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σlim [Mpa]
0		-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-72,45
1L		-7,981	-18,954	-7,391	-19,544	-5,621	-21,315	2,374	-29,310	-72,45
1P		-0,941	-25,995	-0,813	-26,122	-0,432	-26,503	2,043	-28,979	-72,45
2	**9**	-17,743	-9,193	-18,095	-8,841	-19,151	-7,785	-16,248	-10,688	-72,45
3L		-3,864	-23,072	-3,006	-23,930	-0,432	-26,503	2,043	-28,979	-72,45
3P		-6,451	-20,485	-6,243	-20,692	-5,621	-21,315	2,374	-29,310	-72,45
4		-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-13,468	-72,45

Tab. 41: Návrh počtu kabelů UP mostovka M_{min}

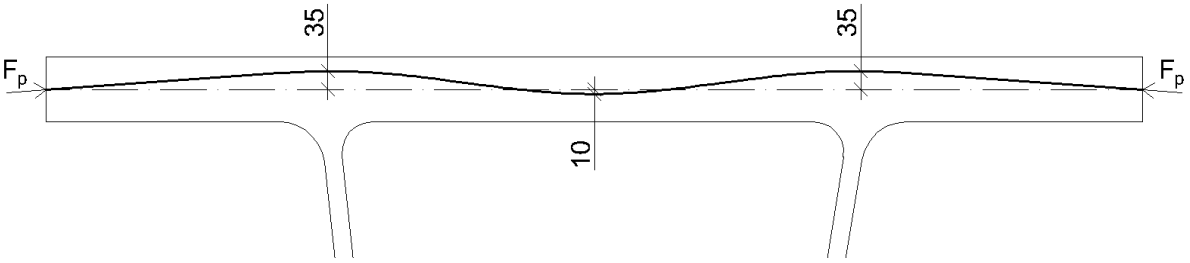
TR										
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	lan na 1m	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σlim [Mpa]
0		-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-72,45
1L		-8,692	-15,403	-8,102	-15,993	-6,332	-17,763	1,664	-25,758	-72,45
1P		-1,651	-22,443	-1,524	-22,570	-1,143	-22,952	1,333	-25,427	-72,45
2	**9**	-15,713	-8,381	-16,065	-8,029	-17,121	-6,973	-14,218	-9,876	-72,45
3L		-4,574	-19,520	-3,716	-20,378	-1,143	-22,952	1,333	-25,427	-72,45
3P		-7,161	-16,933	-6,954	-17,141	-6,332	-17,763	1,664	-25,758	-72,45
4		-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-12,047	-72,45

Tab. 42: Návrh počtu kabelů KZ mostovka M_{min}

TR										
ŘEZ	počet	charakteristická komb.		častá kombinace		kvazistálá kombinace		vlastní tíha N.K.		
[M]	lan na 1m	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σg,d [Mpa]	σg,h [Mpa]	σlim [Mpa]
0		-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-72,45
1L		-9,399	-11,867	-8,809	-12,457	-7,039	-14,227	0,957	-22,222	-72,45
1P		-2,358	-18,908	-2,231	-19,035	-1,850	-19,416	0,626	-21,892	-72,45
2	**9**	-13,693	-7,573	-14,045	-7,221	-15,101	-6,165	-12,198	-9,068	-72,45
3L		-5,282	-15,984	-4,424	-16,842	-1,850	-19,416	0,626	-21,892	-72,45
3P		-7,868	-13,397	-7,661	-13,605	-7,039	-14,227	0,957	-22,222	-72,45
4		-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-10,633	-72,45

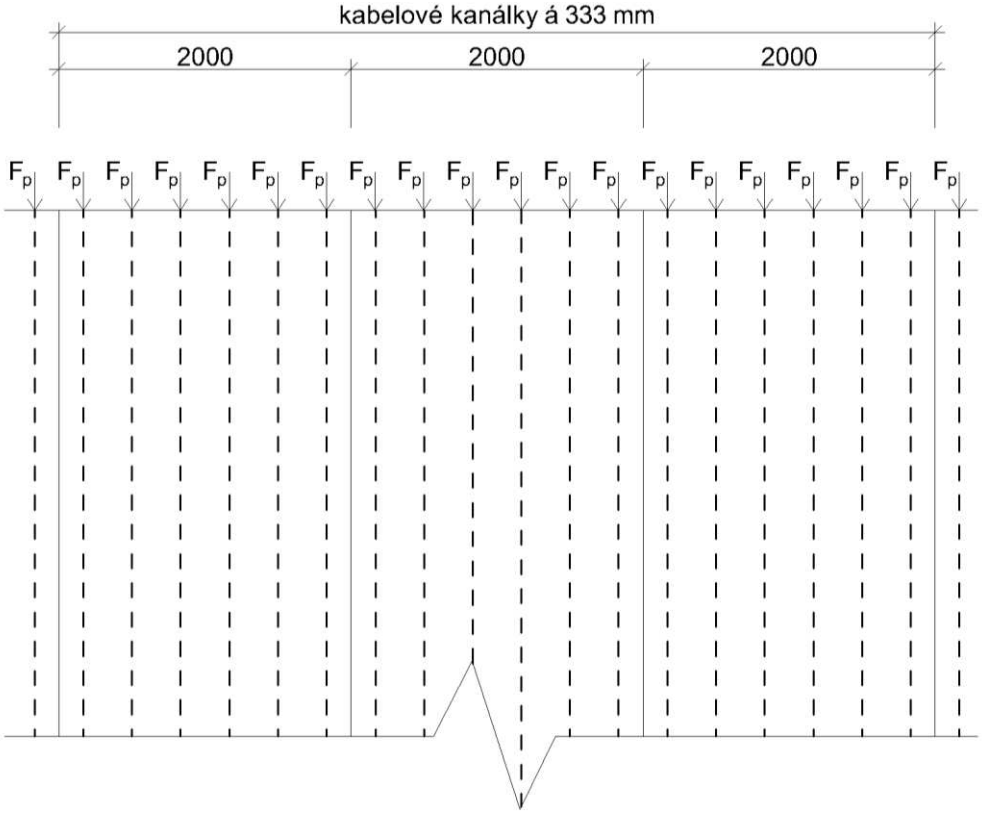
Excentricita nad stojinami bude 35 mm, uprostřed komorového nosníku v řezu „2“ byla excentricita snížena na 10 mm z důvodu menších vnitřních sil. Navrženo je 9 lan do jednoho běžného metru konstrukce, tedy 3 kabelové kanálky po 3 lanech. Předpětí se povedlo navrhnout tak aby při kvazistálé kombinaci byl celý průřez tlačen a u charakteristické kombinace na konci životnosti se tahové napětí blíží tahové pevnosti betonu. K drobným tahům dochází, když na nosník působí pouze vlastní tíha nosníku, kdy na konstrukci nejsou namontovány ani římsy, takovéto tahové namáhání je ale v normě, když konstrukce může být namáhána tahem 9,2 MPa, v krajních případech může být konstrukce z UHPFRC namáhána tahovým napětím až 15,7 MPa. K takto vysokým tahovým namáháním v žádném případě nedojde.

Obr. 147: Vedení kabelů v mostovce komorového nosníku



Na schématu vedení kabelů v mostovce je mostovka několikanásobně převýšena pro lepší znázornění vedení kabelů, při reálné výši mostovky by nebylo zřetelné vedení kabelového kanálku.

Obr. 148: Půdorysné rozmístění kabelových kanálků



10. POSOUZENÍ KONSTRUKCE- MSÚ

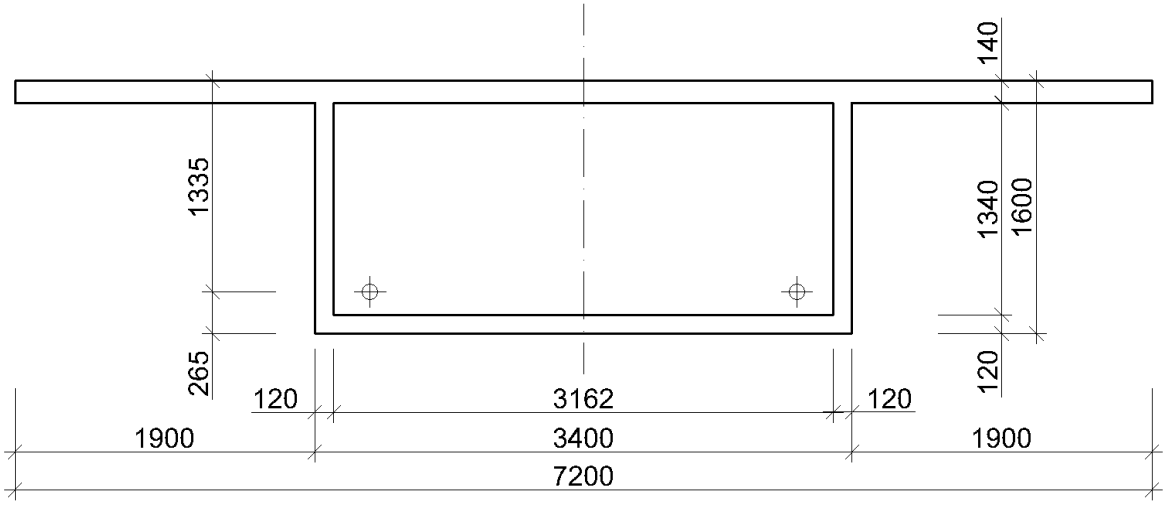
10.1. Posouzení komorového nosníku na ohyb

Pro posouzení ohybu na MSÚ budeme uvažovat s tlačeným betonem a předpínací výztuží, vzhledem k segmentové konstrukci nebudeme uvažovat možnost tahové únosnosti pro MSÚ. Pokud by docházelo k tahům na spodních vláknech, konstrukce by se rozevírala a pevnost

v tahu by nebyla účinná. Pro posouzení MSÚ uvažujeme zjednodušený tvar průřezu, z důvodu snížení pracnosti výpočtu a vliv na výsledky bude minimální.

10.1.1. Posouzení uprostřed rozpětí

Obr. 149: Schéma zjednodušeného průřezu uprostřed rozpětí



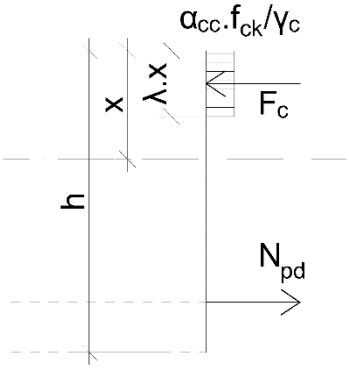
Z hlediska mezního stavu únosnosti konstrukce musí splnit podmínku:

$M_{Rd} \geq M_{Ed}$

M_{Rd} je návrhová hodnota momentu únosnosti posuzovaného průřezu.

M_{Ed} je návrhová hodnota účinků zatížení působících na posuzovaný průřez.

Obr. 150: Schéma rovnováhy sil uprostřed rozpětí



$$\sigma_{cd} = \alpha_{cc} . \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85 . \frac{161}{1{,}5} = 91{,}233\ MPa$$

$$N_{pd} = A_p . [\gamma_p . \sigma_{p(t)} + \gamma_{\Delta p} . \Delta\sigma] = 0{,}0228 . [1{,}0 . 0{,}75 . 1470{,}0 + 0] = 25{,}137\ MN$$

Při prostém ohybu musí platit rovnost vnitřních sil, tzn. $N_{pd} = N_{cd}$

Stanovení mezní únosnosti průřezu za předpokladu zplastizování betonu

V prvním odhadu výšky tlačené oblasti budeme uvažovat, že tlakové napětí působí pouze v horní desce komorového průřezu, tedy 140 mm.

$$b . x_u . \eta . f_{cd} = N_{pd}$$

$$x = 25{,}137/(7{,}2 . 0{,}8 . 1{,}0 . 91{,}233) = 0{,}047834\ m = 47{,}834\ mm$$

Tlakové napětí dle výpočtu působí vážně pouze v horní desce komorového nosníku:

$$x_u = 0{,}8 . 47{,}834 = 38{,}267\ mm$$

Síla v betonu pro kontrolu bude:

$$N_{cd} = b . x_u . \eta . f_{cd} = 7{,}2 . 0{,}038267 . 1{,}0 . 91{,}233 = 25{,}137\ MN$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = 1{,}335 - \frac{0{,}038267}{2} = 1{,}3159\ m$$

Moment únosnosti:

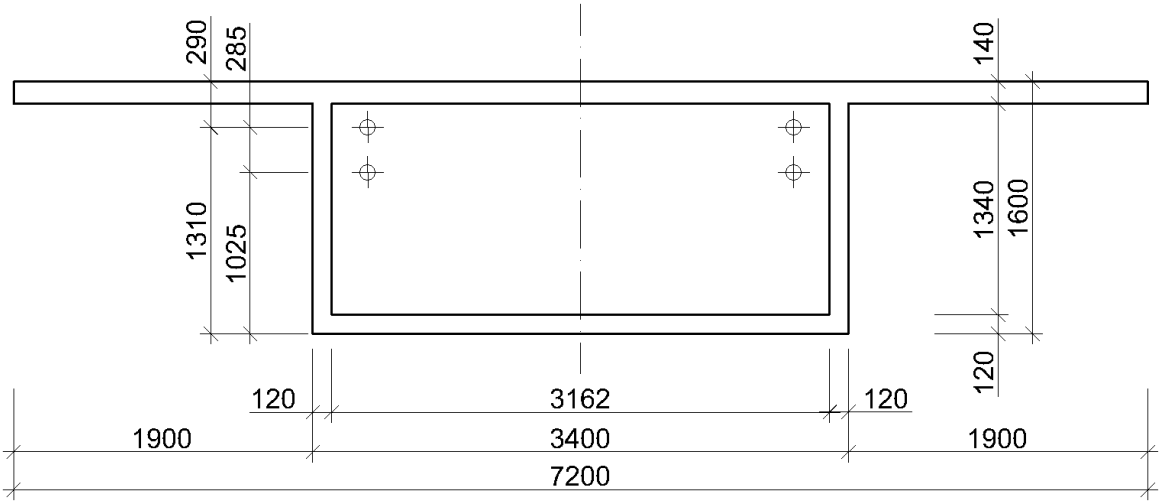
$$M_{Rd} = N_{cd} . z = 25{,}137 . 1{,}3159 = 33{,}078\ MNm > M_{Ed,6.10a} + \gamma_{p,fav} . \Delta M_{p,0,75} =$$
$$10{,}878 + 0{,}85 . 7{,}625 = 17{,}357\ MNm$$ VYHOVÍ

Konstrukce navržená ze segmentů, kdy při návrhu v MSP bylo zabráněno tahům na spodních vláknech a vzhledem k počtu předpínacích kabelů pro zajištění rozkmitu momentů. Byla konstrukce z hlediska předpětí uprostřed rozpětí vyztužena pro zabránění tahového namáhání, což vzhledem k vysoké pevnosti v tlaku u materiálu UHPFRC není problém. Z těchto důvodu uprostřed rozpětí dochází ke značné momentové rezervě.

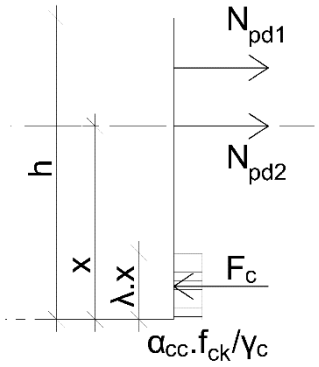
10.1.2 Posouzení nad opěrou

Při posouzení průřezu nad pilířem opět zjednodušíme průřez pro jednodušší výpočet, ani tentokrát nebude uvažována žádná betonářská výztuž. Vzhledem k návrhu jsou uvažovány dvě vrstvy předpínacích kabelů, zatím co kabely pro montážní stav jsou ukotveny v normálové ose komorového průřezu, zbylé kabely jsou zakotveny s co největší excentricitou k horní hraně komorového průřezu.

Obr. 151: Schéma zjednodušeného průřezu nad opěrou



Obr. 152: Schéma rovnováhy sil nad opěrou



$$\sigma_{cd} = \alpha_{cc} . \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85 . \frac{161}{1{,}5} = 91{,}233\ MPa$$

$$N_{pd1} = A_p . \left[\gamma_p . \sigma_{p(t)} + \gamma_{\Delta p} . \Delta\sigma\right] = 0{,}0114 . [1{,}0 . 0{,}75 . 1470{,}0 + 0] = 12{,}5685\ MN$$

$$N_{pd2} = A_p . \left[\gamma_p . \sigma_{p(t)} + \gamma_{\Delta p} . \Delta\sigma\right] = 0{,}0114 . [1{,}0 . 0{,}75 . 1470{,}0 + 0] = 12{,}5685\ MN$$

Při prostém ohybu musí platit rovnost vnitřních sil, tzn. $N_{pd} = N_{cd}$

Stanovení mezní únosnosti průřezu za předpokladu zplastizování betonu

V prvním odhadu výšky tlačené oblasti budeme uvažovat, že tlakové napětí působí pouze v dolní desce komorového průřezu, tedy 120 mm.

$b.x_u.\eta.f_{cd} = N_{pd}$

$x = 25{,}137/(3{,}4\,.\,0{,}8\,.\,1{,}0\,.\,91{,}233) = 0{,}101296\ m = 101{,}296\ mm$

Tlakové napětí dle výpočtu působí vážně pouze v horní desce komorového nosníku:

$x_u = 0{,}8\,.\,101{,}296 = 81{,}037\ mm$

Síla v betonu pro kontrolu bude:

$N_{cd} = b\,.\,x_u\,.\,\eta\,.\,f_{cd} = 3{,}4\,.\,0{,}081037\,.\,1{,}0\,.\,91{,}233 = 25{,}137\ MN$

Rameno vnitřních sil:

$$z = \frac{1{,}310 + 1{,}025}{2} - \frac{0{,}081037}{2} = 1{,}1270\ m$$

Moment únosnosti:

$M_{Rd} = N_{cd}\,.\,z = 25{,}137\,.\,1{,}1270 = 28{,}329\ MNm > M_{Ed} + \gamma_{p,fav}\,.\,\Delta M_{p,0,75} = 13{,}997 + 0{,}85\,.\,8{,}2916 = 21{,}045 MNm$ VYHOVUJE

Přesného výsledku by bylo docíleno posouzením pružnosplastickým výpočtem, zřejmě jen s částečným zplastizováním betonu tak, aby zůstala tlačená výška průřezu rovna minimálně h_{red}, podle ČSN EN 1992 – 2, potřebná pro posouzení smyku.

10.2. Posouzení komorového nosníku na smyk

Posouzení komorového nosníku na smyk provedeme v místě, kde dochází k největším posouvajícím silám na konstrukci, vykreslení posouvajících sil na prutovém modelu máme uvedeno v kapitole „**7**“, z tohoto důvodu nebudou v této kapitole opět vykreslovány veškeré vnitřní síly od všech zatěžovacích stavů. Posouvající síla bude uvažována na hraně spojení opěry a komorového nosníku, proto nedojde k tak vysokým silám, které jsou uvedeny na konci komorového nosníku, ale budou vyčísleny vnitřní síly ve správné velikosti.

V tabulce budou uvedeny posouvající síly bez součinitelů pro MSÚ a MSP, ty budou použity v následující tabulce pro výpočet kombinací a následně bude konstrukce na tyto kombinace posouzena.

Tab. 43: Posouvající síly od zatěžovacích stavů, pro posouzeni smyku

ŘEZ	g0	g0m	poklesy	LM1 [kNm]			LM3	zat. Teplo. [kN]		zat. Zem, [kN]	
[M]	[kN]	[kN]	[kN]	TS	UDL	Σ	[kN]	oteplení	ochlazení	v klidu	přitížení
0	**1074,68**	**657,37**	**7,19**	**637,17**	**696,11**	**1333,28**	**737,94**	**0**	**0**	**0**	**6,76**

Tab. 44: Kombinace posouvajících sil pro posouzení smyku

ŘEZ	6.10	6.10a	6.10b	charakter. kombinace	častá kombinace	kvazistálá kombinace
[m]	[MN]					
0	**4,156**	**3,142**	**3,804**	**3,079**	**2,498**	**1,739**

Komorový nosník z UHPFRC je vyztužen pouze vlákny, bez jakékoliv betonářské nebo smykové výztuže. V případě že by komorový prefabrikovaný nosník nevyhověl na posuzované vnitřní síly, provedlo by se zesílení komorového nosníku u opěry, které by bylo vyřešeno náběhy přímo z výrobny. Náběhy na komorovém nosníku musí být z důvodu zabránění odštípnutí ostrých rohu, na které je materiál UHPFRC náchylný a také pro zajištění jeho vlastností, z tohoto důvodu jsou zaobleny také spodní hrany komory a nejsou v ní žádné ostré rohy jako u komorových nosníků z běžných betonů.

Návrhová hodnota únosnosti ve $V_{Rd,c}$ je dána vztahem

$$V_{Rd,c} = \frac{0,24}{\gamma_{cf} \cdot \gamma_E} \,.\, k \,.\, f_{ck}^{1/2} . b_w . h$$

kde,

Součinitel *k* se vypočte dle EN1992 – 2

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1600}} = 1,3535$$

Bezpečnostní součinitel $\gamma_{cf} . \gamma_E = 1{,}5$

Nejmenší tloušťka betonu $b_w = 2 . 0{,}12 = 0{,}24$

Návrhová hodnota $V_{Rd,c}$:

$$V_{Rd,c} = \frac{0{,}24}{1{,}5} . 1{,}35 . 161^{1/2} . 0{,}24 . 1{,}6 = 1{,}0524\ MN$$

$V_{Rd,c} = 1{,}0524\ MN > V_{Ed} = 3{,}804\ MN$ NEVYHOVUJE

Nevyhovění průřezu na smyk by se dalo řešit několika způsoby. První možnost je snížit posouvající sílu, pomocí uvážení posouvajících sil, které vyvolá na konstrukci předpětí. Další možnost je zesílení stěn komorového nosníku v blízkosti opěry, které by v tomto případě bylo nejvhodnější, uvažování zvýšení hmotnosti a změnám vnitřních sil nebude pro tento krok uvažováno. Pokud by i tak nosník nevyhověl na smyk, bylo by nutno zvolit vyztužení komorového nosníku, které by bylo voleno až jako poslední možnost, z důvodu že již od počátku neuvažujeme jakékoli vyztužování UHPFRC betonářskou ocelí.

Nejprve snížíme posouvající sílu pomocí uvážení posouvajících sil od předpětí na konci životnosti.

Pro předpínací kabely $F_{1,0,75}$, tedy kabely, které byly využity při montážním stádiu s deviátory v 1/4 L, je posouvající síla od jednoho lana -10,34 kN. Navrženy jsou 4 kabely po 19 lanech, tedy 76 lan. Celková síla od těchto kabelů je:

$$V_{pd\,1,kz} = \gamma_{p,fav} . V_{pm\,1,kz} = -1{,}0 . 10{,}34 . 76 = -0{,}786\ MN$$

Pro předpínací kabely $F_{2,0,75}$, tedy kabely, který byly využity na předepnutí integrované konstrukce, s deviátory v 3/5 L, je posouvající síla od jednoho lana -9,93 kN. Navrženy jsou 4 kabely po 19 lanech, tedy 76 lan. Celková síla od těchto kabelů je:

$$V_{pd\,2,kz} = \gamma_{p,fav} . V_{pm\,1,kz} = -1{,}0 . 9{,}93 . 76 = -0{,}755\ MN$$

$$V_{pd,kz} = V_{pd\,1,kz} + V_{pd\,2,kz} = -1{,}541\ MN$$

Výsledná posouvající síla, která je snížená o posouvající síly z předpětí konstrukce je:

$$V_{Ed,kz} = 3{,}804 - 1{,}541 = 2{,}263\ MN$$

Dále navrhneme zesílení stěn komorového nosníku, ze 120 mm na 260 mm, s tím že plnou plnou tloušťku stěn 300 mm, bude mít celý poslední prefabrikovaný nosník, který má standartní délku jako ostatní nosníky a tedy 2,0m. Předposlední nosník by byl navržen jako atypický s náběhem ze 120 mm na 260 mm po celé jeho délce.

$b_w = 2 \,.\, 0{,}26 = 0{,}52$

$V_{Rd,c} = \frac{0{,}24}{1{,}5} \,.\, 1{,}35 \,.\, 161^{1/2} . \, 0{,}52 \,.\, 1{,}6 = \; 2{,}280 \; MN$

$V_{Rd,c} = 2{,}280 \; MN > V_{Ed} = 2{,}263 \; MN$ VYHOVUJE

U konstrukce tedy stačilo uvážení posouvajících sil od předpětí a zesílení stěn segmentového nosníku. Tyto kroky stačily pro dostatečnou únosnost komorového nosníku ve smyku i bez uvažování návrhu smykové nebo betonářské výztuže.

11. ZÁVĚR

Návrh posuzovaného mostu sloužícího jako nadjezd nad dálnicí D1 proběhl bez větších potíží. Most byl navržen jako integrovaná konstrukce s tuhými opěrami ze segmentových nosníků z materiálu UHPFRC. V průběhu výpočtu došlo k návrhu zesílení stěn komorového nosníku v oblastech opěr z důvodu nevyhovujícího posudku na smyk v závěru práce, přepočet vnitřních sil touto změnou byl zanedbán, jelikož k němu došlo v posledním kroku posudku na MSÚ.

Tato práce byla vypracována jako posouzení možnosti využití materiálu UHPFRC, pro velice subtilní návrh konstrukce, čehož bylo docíleno, vzhledem k velice dobrým vlastnostem materiálu. Z důvodu návrhu komorového nosníku ze segmentů, bylo navrženo předpětí pro všechny kombinace MSP, tak aby celý komorový průřez byl tlačen a nedocházelo k rozevírání spár konstrukce. Předpětí nosníku bylo zvoleno volnými kabely pomocí deviátorů. Dále bylo navrženo příčné předpětí mostovky, které bylo nutné vzhledem k velkým tahovým napětím, z důvodu subtilnosti konstrukce. Pro ekonomičnost návrhu příčného předpětí mostovky bylo uvažováno tahové namáhání konstrukce do velikosti tahové pevnosti UHPFRC betonu při charakteristické kombinaci.

Veškerá zadaná kritéria pro návrh mostu byla dodržena jako průjezdný profil dálnice D1, tak napojení na stávající komunikace. Konstrukce vyhovovala na požadovaná posouzení pro MSP i MSÚ. A byly splněny veškeré požadavky, které byly zadány pro tuto diplomovou práci.

Součástí práce je mimo statický výpočet, taktéž výkresová dokumentace v požadovaném rozsahu.

V Praze dne 8. 1. 2017 .....

Bc. Jakub Kühnel

12. POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

Návrh mostu byl proveden dle Eurokódu, a inspirován ze skript. Všechny výkresy byly vytvořeny v programu AutoCAD, výpočty vnitřních sil byly stanoveny pomocí studentské verze programu Scia Engineer, návrh a posouzení pilot pomocí programu GEO5. Tabulky a výpočty byly vytvořeny programem Microsoft Excel.

[1] Mapy.cz [online]. [cit. 2016-10-22], dostupné z http:// mapy.cz

[2] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjatého mostu podle Eurokódů*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015, 252 s. ISBN 978-80-01-05690-5.

[3] ŠAFÁŘ, Roman, Milan PETŘÍK a Petr TEJ. *Concrete bridges: worked examples.* 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013, 313 s. ISBN 978-80-01-05179-5.

[4] EDITED BY FRANÇOIS TOUTLEMONDE a Jacques RESPLENDINO. *Designing and building with UHPFRC from innovation to large-scale realizations: proceedings of the RILEM-fib-AFGC International symposium on ultra-high performance fibre-reinforced concrete*, Marseille, France, October 1-3, 2013. Bagneux: RILEM, 2013. ISBN 9782351581308.

[5] ŠMERDA, Zdeněk a Vladimír KŘÍSTEK. Creep and Shrinkage of Concrete Elements and Structures. Přeložil Prokop MAXA. Prague: SNTL, 1988.

[6] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí,

[7] ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí

[8] ČSN EN 1992 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí

SEZNAM PŘÍLOH:

1. Technická zpráva
2. Přehledné výkresy
3. Pohled na opěru 02
4. Předpětí nosníku
5. Příčné předpětí mostovky

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1: Situační mapa [1] 8
Obr. 2: Vzorový příčný řez mostem 9
Obr. 3: Integrovaná konstrukce s poddajnými podporami 9
Obr. 4: Integrovaná konstrukce s tuhými podporami 9
Obr. 5: Schéma zatížení LM1 14
Obr. 6: Schéma zatížení LM1 15
Obr. 7: Řezy na konstrukci 15
Obr. 8: Vlastní tíha M_y [kNm] 16
Obr. 9: Vlastní tíha V_z [kN] 16
Obr. 10: Ostatní stálé zatížení M_y [kNm] 16
Obr. 11: Ostatní stálé zatížení V_z [kN] 16
Obr. 12: LM1 spojité zatížení M_y [kNm] 17
Obr. 13: LM1 spojité zatížení V_z [kN] 17
Obr. 14: LM1 nápravové síly M_y [kNm] 17
Obr. 15: LM1 nápravové síly V_z [kN] 17
Obr. 16: LM3 M_{max} [kNm] 18
Obr. 17: LM3 $V_{z,max}$ [kN] 18
Obr. 18: Teplota - horní povrch teplejší než dolní M_y [kNm] 18
Obr. 19: Teplota - horní povrch teplejší než dolní V_z [kN] 18
Obr. 20: Teplota - horní povrch teplejší než dolní N [kN] 19
Obr. 21: Teplota - dolní povrch teplejší než horní M_y [kNm] 19
Obr. 22: Teplota - dolní povrch teplejší než horní V_z [kN] 19
Obr. 23: Teplota - dolní povrch teplejší než horní N [kN] 19
Obr. 24: Teplota - ohřátí konstrukce M_y [kNm] 20
Obr. 25: Teplota - ohřátí konstrukce V_z [kN] 20
Obr. 26: Teplota - ohřátí konstrukce N [kN] 20
Obr. 27: Teplota - ochlazení konstrukce M_y [kNm] 20
Obr. 28: Teplota - ochlazení konstrukce V_z [kN] 21
Obr. 29: Teplota - ochlazení konstrukce N [kN] 21
Obr. 30: Vlastní tíha M_y [kNm] 22
Obr. 31: Vlastní tíha V_z [kN] 22
Obr. 32: Ostatní stálé zatížení M_y [kNm] 22

Obr. 33: Ostatní stálé zatížení V_z [kN] ... 22
Obr. 34: LM1 spojité zatížení M_y [kNm] ... 23
Obr. 35: LM1 spojité zatížení V_z [kN] ... 23
Obr. 36: LM1 nápravové síly M_y [kNm] ... 23
Obr. 37: LM1 nápravové síly V_z [kN] ... 23
Obr. 38: LM3 M_{max} [kNm] ... 24
Obr. 39: LM3 $V_{z,max}$ [kN] ... 24
Obr. 40: Teplota - horní povrch teplejší než dolní M_y [kNm] ... 24
Obr. 41: Teplota - horní povrch teplejší než dolní V_z [kN] ... 24
Obr. 42: Teplota - horní povrch teplejší než dolní N [kN] ... 24
Obr. 43: Teplota - dolní povrch teplejší než horní M_y [kNm] ... 25
Obr. 44: Teplota - dolní povrch teplejší než horní V_z [kN] ... 25
Obr. 45: Teplota - horní povrch teplejší než horní N [kN] ... 25
Obr. 46: Teplota - ohřátí konstrukce M_y [kNm] ... 25
Obr. 47: Teplota - ohřátí konstrukce V_z [kN] ... 25
Obr. 48: Teplota - ohřátí konstrukce N [kN] ... 26
Obr. 49: Teplota - ochlazení konstrukce M_y [kNm] ... 26
Obr. 50: Teplota - ochlazeni konstrukce V_z [kN] ... 26
Obr. 51: Teplota - ohřátí konstrukce N [kN] ... 26
Obr. 52: Nerovnoměrný pokles podpěr 5 mm M_y [kNm] ... 26
Obr. 53: Nerovnoměrný pokles podpěr 5 mm V_z [Nm] ... 27
Obr. 54: 3D drátěný model ... 30
Obr. 55: Návrh rozmístění pilot ... 33
Obr. 56: Průběh napětí na pilotách ... 35
Obr. 57: Výstup z GEO5: Svislá únosnost piloty ... 36
Obr. 58: Výstup z GEO5: Vodorovná únosnost piloty ... 37
Obr. 59: 3D Model s pružinami ... 38
Obr. 60: Příčinkové čáry pro $M_{y,max}$ nad opěrou ... 39
Obr. 61: Příčinkové čáry pro $V_{z,max}$ nad opěrou ... 39
Obr. 62: Příčinkové čáry pro N nad opěrou = N uprostřed rozpětí ... 40
Obr. 63: Příčinkové čáry pro $M_{y,max}$ uprostřed rozpětí ... 40
Obr. 64: Příčinkové čáry pro $V_{z,max}$ uprostřed rozpětí ... 40
Obr. 65: Moment:Vlastní tíha [kNm] ... 41
Obr. 66: Posouvající síla: Vlastní tíha [kN] ... 41

Obr. 67: Normálová síla: Vlastní tíha [kN] ... 41
Obr. 68: Moment: Ostatní stálé zatížení [kNm] ... 42
Obr. 69: Posouvající síla: Ostatní stálé zatížení [kN] ... 42
Obr. 70: Normálová síla: Ostatní stálé zatížení [kN] ... 42
Obr. 71: Moment: LM1 spojité zatížení [kNm] ... 43
Obr. 72: Kroutící moment: LM1 spojité zatížení [kNm] ... 43
Obr. 73: Posouvající síla: LM1 spojité zatížení [kN] ... 43
Obr. 74: Normálová síla: LM1 spojité zatížení [kN] ... 43
Obr. 75: Obálka momentů M_y: LM1 nápravové síly [kNm] ... 44
Obr. 76: Obálka kroutících momentů: LM1 nápravové síly [kNm] ... 44
Obr. 77: Obálka posouvajících sil: LM1 nápravové síly [kN] ... 44
Obr. 78: Obálka normálových sil: LM1 nápravové síly [kN] ... 44
Obr. 79: Moment(M_{max}): LM1 nápravové síly [kNm] ... 45
Obr. 80: Kroutící moment(M_{max}): LM1 nápravové síly [kNm] ... 45
Obr. 81: Posouvající síla (M_{max}): LM1 nápravové síly [kN] ... 45
Obr. 82: Normálová síla(M_{max}): LM1 nápravové síly [kN] ... 45
Obr. 83: Moment (M_{min}): LM1 nápravové síly [kNm] ... 46
Obr. 84: Kroutící moment (M_{min}): LM1 nápravové síly [kNm] ... 46
Obr. 85: Posouvající síla (M_{min}): LM1 nápravové síly [kN] ... 46
Obr. 86: Normálová síla (M_{min}): LM1 nápravové síly [kN] ... 46
Obr. 87: Moment (V_{max}): LM1 nápravové síly [kNm] ... 47
Obr. 88: Kroutící moment (V_{max}): LM1 nápravové síly [kNm] ... 47
Obr. 89: Posouvající síla (V_{max}): LM1 nápravové síly [kN] ... 47
Obr. 90: Normálová síla (V_{max}): LM1 nápravové síly [kN] ... 47
Obr. 91: Moment (M_{max}): LM3 nápravové síly [kNm] ... 48
Obr. 92: Kroutící moment (M_{max}): LM3 nápravové síly [kNm] ... 48
Obr. 93: Posouvající síla (M_{max}): LM3 nápravové síly [kN] ... 48
Obr. 94: Normálová síla (M_{max}): LM3 nápravové síly [kN] ... 48
Obr. 95: Moment (V_{max}): LM3 nápravové síly [kNm] ... 49
Obr. 96: Kroutící moment (V_{max}): LM3 nápravové síly [kNm] ... 49
Obr. 97: Posouvající síla (V_{max}): LM3 nápravové síly [kN] ... 49
Obr. 98: Normálová síla (V_{max}): LM3 nápravové síly [kN] ... 49
Obr. 99: Moment: Teplota – horní povrch teplejší [kNm] ... 50
Obr. 100: Posouvající a normálová síla: Teplota – horní povrch teplejší [kN] ... 50

Obr. 101: Moment: Teplota – dolní povrch teplejší [kNm] 50
Obr. 102: Posouvající a normálová síla: Teplota – dolní povrch teplejší [kN] 50
Obr. 103: Moment: Teplota – konstantní ohřátí[kNm] 51
Obr. 104: Posouvající síla: Teplota – konstantní ohřátí [kN] 51
Obr. 105: Normálová síla: Teplota – konstantní ohřátí [kN] 51
Obr. 106: Moment: Teplota – konstantní ochlazení [kNm] 51
Obr. 107: Posouvající síla: Teplota – konstantní ochlazení [kN] 52
Obr. 108: normálová síla: Teplota – konstantní ochlazení [kN] 52
Obr. 109: Moment: Nerovnoměrný pokles opěry [kNm] 52
Obr. 110: Posouvající síla: Nerovnoměrný pokles opěry [kN] 53
Obr. 111: Normálová síla: Nerovnoměrný pokles opěry [kN] 53
Obr. 112: Moment: Zatížení zeminou [kNm] 53
Obr. 113: Posouvající síla: Zatížení zeminou [kN] 54
Obr. 114: Normálová síla: Zatížení zeminou [kN] 54
Obr. 115: Moment: Zatížení zeminou přitížení symetrické[kNm] 54
Obr. 116: Posouvající síla: Zatížení zeminou přitížení symetrické [kN] 55
Obr. 117: Normálová síla: Zatížení zeminou přitížení symetrické [kN] 55
Obr. 118: Moment: Zatížení zeminou přitížení nesymetrické [kNm] 55
Obr. 119: Posouvající síla: Zatížení zeminou přitížení nesymetrické [kN] 55
Obr. 120: Normálová síla: Zatížení zeminou přitížení nesymetrické [kN] 56
Obr. 121: Návrh průběhu a umístění deviátorů 68
Obr. 122: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano), montážní stav [kNm] 69
Obr. 123: Průběh ohybových momentů vlastní tíha nosné konstrukce[kNm] 69
Obr. 124: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{1,0,95}$ 71
Obr. 125: Průběh ohybových momentů od ztát předpětí (1 lano) $F_{1,0,90}$ 71
Obr. 126: Průběh ohybových momentů od ztrát předpětí (1 lano) $F_{1,0,75}$ 72
Obr. 127: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{2,0,95}$ 72
Obr. 128: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{2,0,90}$ 72
Obr. 129: Průběh ohybových momentů od předpětí (1 lano) $F_{2,0,75}$ 72
Obr. 130: Deskostěnový model 87
Obr. 131: Průběh kombinace zatížení bez součinitelů na opěru 88
Obr. 132: Typy průběhu kabelů po opěře 90
Obr. 133: Rozmístění kabelů po opěře 97
Obr. 134: Pohled na deskostěnovou opěru 97

Obr. 135: Vnitřní síly: Vlastní tíha nosné konstrukce M_x [kNm] 98
Obr. 136: Vnitřní síly: Ostatní stále zatížení M_x [kNm] 98
Obr. 137: Vnitřní síly: LM1 spojité zatížení M_x [kNm] 98
Obr. 138: Vnitřní síly: LM1 nápravové síly M_x [kNm] 99
Obr. 139: Vnitřní síly: LM3 nápravové síly M_x [kNm] 99
Obr. 140: Vnitřní síly: Teplota – horní povrch teplejší [kNm] 99
Obr. 141: Vnitřní síly: Teplota – dolní povrch teplejší [kNm] 100
Obr. 142: Vnitřní síly: Nerovnoměrné poklesy opěry [kNm] 100
Obr. 143: Vnitřní síly: Zatížení zeminou [kNm] 100
Obr. 144: Vnitřní síly: Zatížení zeminou přitížení [kNm] 101
Obr. 145: Řezy na mostovce komorového nosníku 101
Obr. 146: Schéma kabelu Monostrand 103
Obr. 147: Vedení kabelů v mostovce komorového nosníku 107
Obr. 148: Půdorysné rozmístění kabelových kanálků 107
Obr. 149: Schéma zjednodušeného průřezu uprostřed rozpětí 108
Obr. 150: Schéma rovnováhy sil uprostřed rozpětí 108
Obr. 151: Schéma zjednodušeného průřezu nad opěrou 110
Obr. 152: Schéma rovnováhy sil nad opěrou 110

SEZNAM TABULEK:

Tab. 1: Přehled vnitřních sil konstrukce s poddajnými podpěrami. 21
Tab. 2: Přehled vnitřních sil konstrukce s tuhými podpěrami 27
Tab. 3: Přehled vnitřních sil 31
Tab. 4: Kombinace pro návrh piloty 33
Tab. 5: Nastavení výpočtu GEO5 36
Tab. 6: Vnitřní síly na nosníku od dopravy [M kNm; V,N kN] 57
Tab. 7: Vnitřní síly na nosníku od teploty a zemních tlaků (M [kNm]; V, N [kN]) 58
Tab. 8: Vnitřní síly na nosníku od stálého zatížení (M [kNm]; V, N [kN]) 59
Tab. 9: Použité vnitřní síly pro M_{max} [kNm] 60
Tab. 10: Použité vnitřní síly pro M_{min} [Nm] 61
Tab. 11: Použité vnitřní síly pro N_{max} [N]: 62
Tab. 12: Použité vnitřní síly pro N_{min} [N] 63
Tab. 13: Kombinace pro M_{max} [MNm], N_{max}[MN]: 65

Tab. 14: Kombinace pro M_{min} [MNm], N_{min}[MN]: 66
Tab. 15: Přibližných minimálních osových vzdáleností kotev 67
Tab. 16: Návrh počtu předpínacích lan pro montážní stav 70
Tab. 17: Redistribuce ohybových momentů: 73
Tab. 18: Vnitřní síly od předpětí 76
Tab. 19: Posouzeni M_{max} pro MSP v době TR. 77
Tab. 20: Posouzeni M_{max} pro MSP v době UP. 78
Tab. 21: Posouzeni M_{max}pro MSP v době KZ. 79
Tab. 22: Posouzeni M_{min} pro MSP v době TR 82
Tab. 23: Posouzeni M_{min} pro MSP v době UP 83
Tab. 24: Posouzeni M_{min} pro MSP v době KZ 84
Tab. 25: Průběhy ohybových momentů po opěře 89
Tab. 26: Kombinace ohybových momentů pro návrh opěry 89
Tab. 27: Přibližných minimálních osových vzdálenosti kabelů 92
Tab. 28: Vnitřní síly od předpětí na opěru 93
Tab. 29: Posouzeni M na opěru pro MSP v době TR 94
Tab. 30: Posouzeni M na opěru pro MSP v době UP 94
Tab. 31: Posouzeni M na opěru pro MSP v době UP 94
Tab. 32: Průběhy ohybových momentů po mostovce pro M_{max} 101
Tab. 33: Průběhy ohybových momentů po mostovce pro M_{max} 102
Tab. 34: Kombinace ohybových momentů po mostovce M_{max} 102
Tab. 35: Kombinace ohybových momentů po mostovce M_{mim} 102
Tab. 36: Vnitřní síly od předpětí (1 lano) 104
Tab. 37: Návrh počtu kabelů TR mostovka pro M_{max} 104
Tab. 38: Návrh počtu kabelů UP mostovka pro M_{max} 105
Tab. 39: Návrh počtu kabelů KZ mostovka pro M_{max} 105
Tab. 40: Návrh počtu kabelů TR mostovka pro M_{min} 105
Tab. 41: Návrh počtu kabelů UP mostovka M_{min} 106
Tab. 42: Návrh počtu kabelů KZ mostovka M_{min} 106
Tab. 43: Posouvající síly od zatěžovacích stavů, pro posouzeni smyku 112
Tab. 44: Kombinace posouvajících sil pro posouzení smyku 112

SEZNAM GRAFŮ:

Graf 1: Průběh autogenního smršťování 28
Graf 2: Redistribuce ohybových momentů od vlastní tíhy 74
Graf 3: Redistribuce ohybových momentů od předpětí 74
Graf 4: Průběh relaxace napětí v betonu 75
Graf 5: Průběh napětí po nosníku TR horní vlákna M_{max} 80
Graf 6: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{max} 80
Graf 7: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{max} 80
Graf 8: Průběh napětí po nosníku TR dolní vlákna M_{max} 81
Graf 9: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{max} 81
Graf 10: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{max} 81
Graf 11: Průběh napětí po nosníku TR horní vlákna M_{min} 85
Graf 12: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{min} 85
Graf 13: Průběh napětí po nosníku UP horní vlákna M_{min} 85
Graf 14: Průběh napětí po nosníku TR dolní vlákna M_{min} 86
Graf 15: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{min} 86
Graf 16: Průběh napětí po nosníku UP dolní vlákna M_{min} 86
Graf 17: Průběh napětí po líci opěry TR 95
Graf 18: Průběh napětí po líci opěry UP 95
Graf 19: Průběh napětí po líci opěry KZ 95
Graf 20: Průběh napětí po rubu opěry TR 96
Graf 21: Průběh napětí po rubu opěry UP 96
Graf 22: Průběh napětí po rubu opěry KZ 96

Zpracoval: Bc. Jakub Kühnel	Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.	Školní rok: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět:	DIPLOMOVÁ PRÁCE		
Zadání:	Návrh integrovaného segmentového UHPFRC mostu přes dálnici D1	Měřítko	-
Výkres:	TECHNICKÁ ZPRÁVA	Číslo výkresu	1

OBSAH:

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE MOSTU 3

2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ 3

3. GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY 3

4. TECHNICKÉ SPECIFIKACE MOSTU 3

5. STAVBA MOSTU 4

6. MATERIÁLY 4

7. REVIZE MOSTU 5

8. BEZPEČNOSTNÍ PODMÍNKY 5

9. ODVODNĚNÍ 5

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE MOSTU

Název objektu	- Nadjezd ev. č. D1-140
Kraj	- Vysočina
Okres	- Jihlava
Uvažovaný správce mostu	- Lesní družstvo ve Štokách
Projektant mostu	- Bc. Jakub Kühnel
Druh převáděné komunikace	- Dálnice D1
Kategorie převáděné komunikace	- Lesní cesta
Volná výška na mostě	- Neomezená
Staničení na D1	- km 107,281 041
Úhel křížení	- 90°
Výška průjezdného profilu	- 5,30 m

2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ

Most slouží jako nadjezd na dálnici D1 km 107,281 041, převádějící obslužnou komunikaci, která je využívána jako lesní cesta. Stavba mostu z důvodu umístění nad dálnicí D1 musí proběhnout bez dlouhodobé kompletní uzavírky dálnice, z tohoto důvodu je navrženo sestavení mimo dálnici ze segmentů a následné osazení pomocí jeřábů.

3. GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Plánované výkopy budou nad hladinou podzemních vod. Základové poměry jsou vzhledem ke geotechnickým podmínkám dobré jednoduché, založení proběhne na velkoprůměrových pilotách o průměru 1000 mm.

4. TECHNICKÉ SPECIFIKACE MOSTU

Most je navržena jako integrovaná segmentová konstrukce z UHPFRC betonu.Podélný sklon mostu je 0,8% a příčný sklon je jednostranný 2,5%. Šířka nosné konstrukce je 7,2 m, celková šířka mostu včetně říms je 7,7 m, výška komorového nosníku je 1,6m. Vzhledem k vlastnostem UHPFRC je navržená konstrukce velice subtilní, mostovka je tloušťky 140 mm, stěny komory a spodní deska je tloušťky 120 mm. Vzhledem k únosnosti na smyk je provedeno rozšíření na prvních a posledních dvou segmentech stěn ze 120 mm na 140 mm,

následující segment je volen jako přechodový, na kterém je navrženo rovnoměrné rozšíření stěn. Předpětí je voleno volnými kabely s deviátory. Mostovka je v příčném směru předpjata pomocí plochých kabelových kanálků a bude předepnuta již ve výrobně. Veškerá předpínací výztuž je nesoudržná Na římsách mostu je osazeno mostní zábradelní svodidlo. Podpěry jsou navrženy z vysokohonotného betonu C70/85. Založení je navrženo na hlubinných velkoprůměrových vrtaných pilotáh

ACO 11	40 mm
ACL 11 IV	40 mm
NAIP	5 mm
PEČETÍCÍ VRSTVA	
celkem	85 mm

5. STAVBA MOSTU

Stavba mostu bude provedena ze segment, které budou dovezeny na stavbu z výrobny, vzhledem k rozměrům 7,2x2,0x1,6 m (d, š, v) a hmotnosti do 10 t nebude doprava na stavbu žádný problém. Po zhotovení opěr, dojde k přípravám montáže nosníku. Nosník bude sestaven mimo most a dálnici D1, předepnut předpínacími kabely, které jsou navrženy na montáž mostu a osazeny na připravené opěry. Vzhledem k uvažované hmotnosti nosné konstrukce cca do 250 tun, bude osazení provedeno autojeřábem do 300 tun, za kompletní uzavírky dálnice D1 v nočních hodinách. Po zmonolitnění celé konstrukce dojde k předepnutí zbylých předpínacích kabelů a montáži zařízení mostu a veškerého příslušenství pro provoz mostu.

6. MATERIÁLY

-	SEGMENTOVÉ NOSNÍKY	- UHPFRC f_{ck}=161MPa	- XC2, XD3, XF3
-	ŘÍMSY	- C30/37	- XC3, XF3
-	PODPĚRY	- C70/85	- XC2, XD3, XF3
-	PLOŠNÉ ZÁKLADY	- C30/37	- XF1
-	BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ	- B500B	
-	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ	- Y1860S7 - 15,7	- NESOUDRŽNÁ

7. REVIZE MOSTU

Kontrola vnitřku komory je zajištěna pomocí revizních dveří, které jsou umístěny na každé straně mostu, dveře pro vstup do prostoru za opěrou jsou situovány na stranu schodiště a budou vybaveny ocelovým žebříkem pro bezpečný vstup. Dveře budou zajištěny bezpečnostním zámkem pro zabránění vstupu cizím osobám. Průleznost komorového nosníku je zajištěna dostatečnými rozměry a vstup do komor z po za opěry bude umožněn průlezem 900 x 700 mm. Kotevní oblasti budou přístupné z po za opěr pro možnosti kontroly.

8. BEZPEČNOSTNÍ PODMÍNKY

Most je po celé délce vybaven mostním zábradelními svodidly pro zajištění dostatečné bezpečnosti na mostě. Na mostě nejsou chodníky, pohyb osob je uvažován po vozovce mostu.

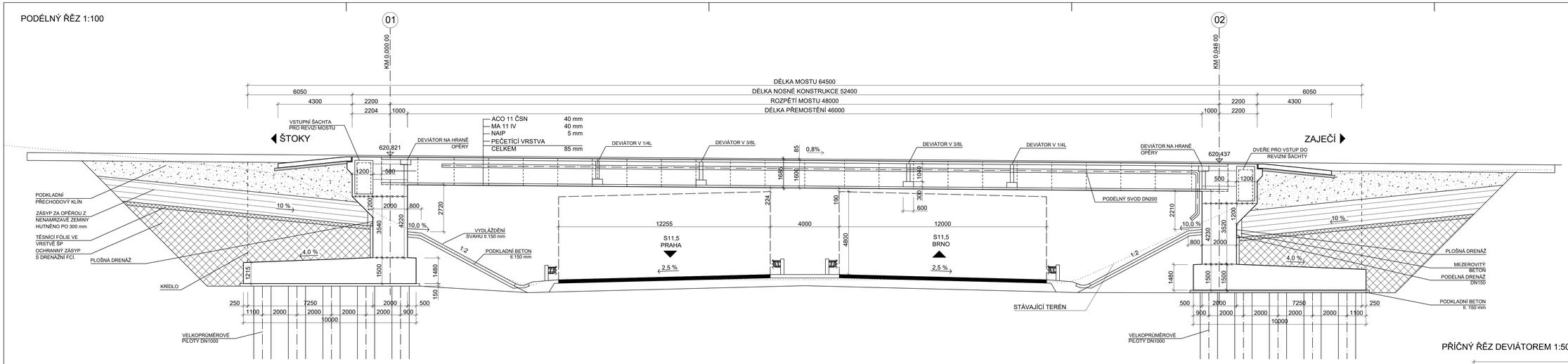
9. ODVODNĚNÍ

Odvodnění na mostě je řešeno jednostranné pomocí obrubníkových odvodňovačů 500 x 300 mm, rozmístěných po délce mostu po 6,0 m. Odvodňovače jsou svedeny do podélného svodu DN300, který je vyveden před opěru 02, srážková voda je navedena do skluzu, který je vyústěn do vývařiště, které je navedeno do odvodnění dálnice D1. Srážková voda za mostem je vyvedena do samostatného skluzu a vývařiště, které je taktéž svedeno do odvodňovacího systému dálnice D1.

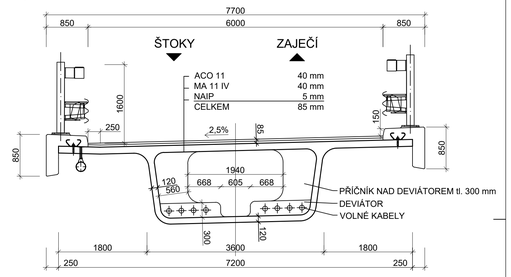
V Praze dne 8. 1. 2017 .....

Bc. Jakub Kühnel

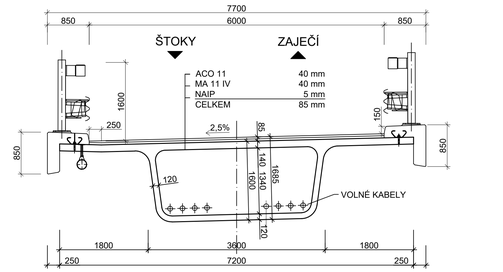
PODÉLNÝ ŘEZ 1:100



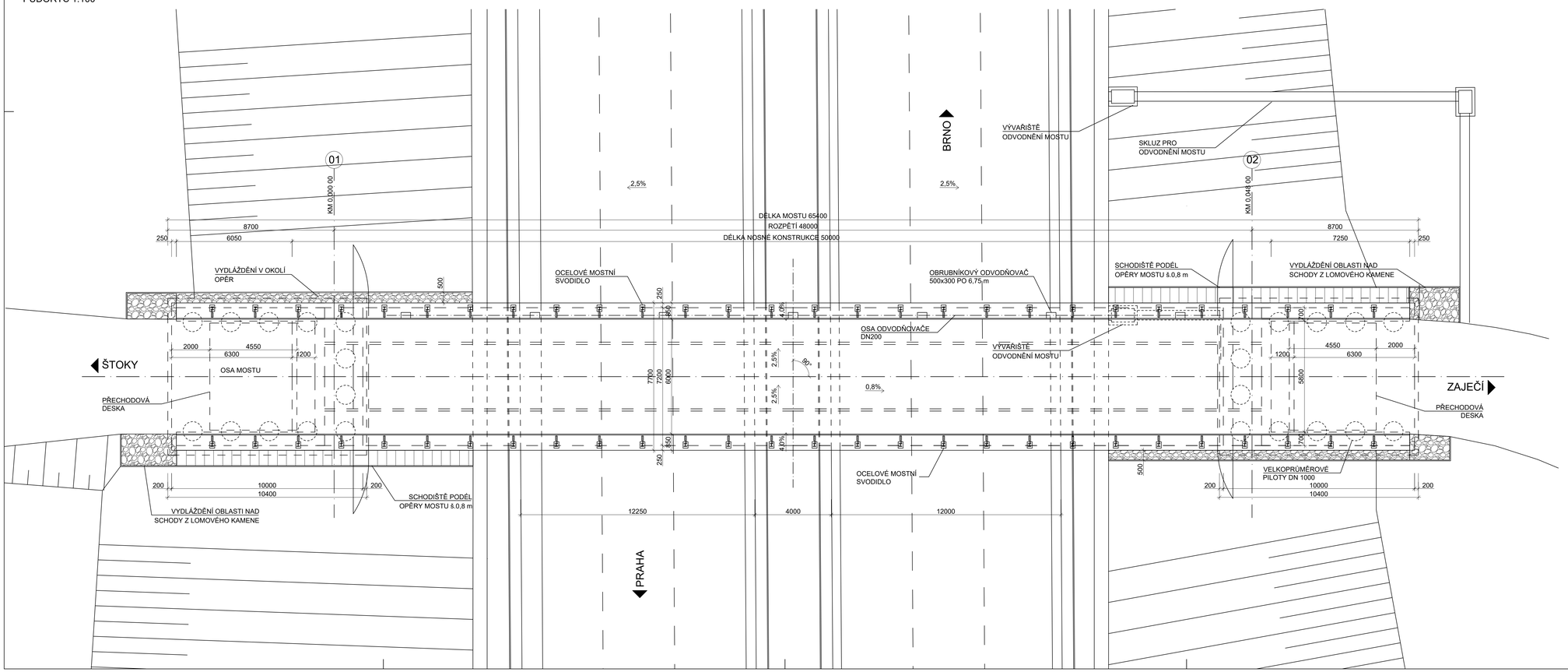
PŘÍČNÝ ŘEZ DEVIÁTOREM 1:50



PŘÍČNÝ ŘEZ 1:50



PŮDORYS 1:100



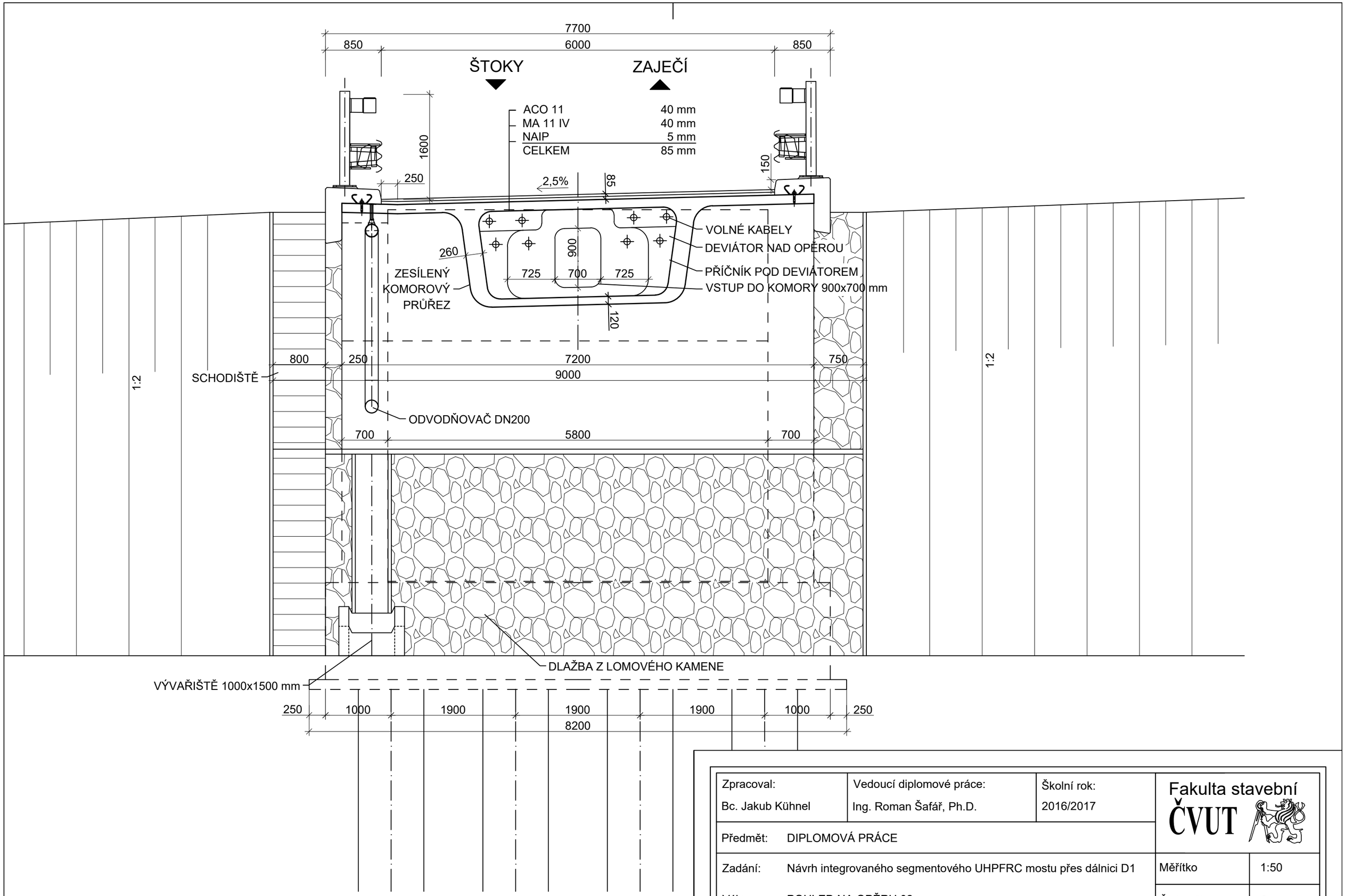
POZNÁMKY:

- KOMOROVY SEGMENTOVY NOSNÍK Z UHPFRC dl. 2,0 m
- POSLEDNÍ DVA SEGMENTY OD PODPĚR - ZESÍLENÉ STĚNY Z DŮVODU SMYKU
- PŘÍSTUP DO KOMOROVÉHO NOSNÍKU PŘES VSTUP ZE STRANY KŘÍDEL DVEŘMI

MATERIÁLY

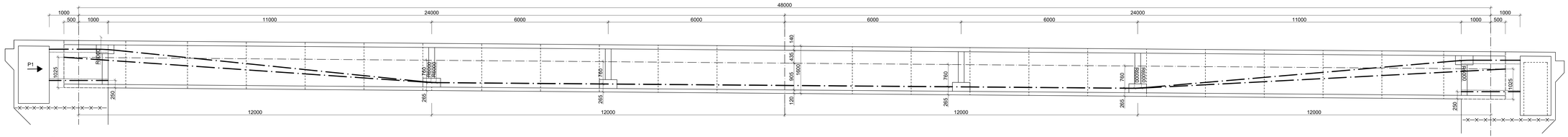
-	SEGMENTOVÉ NOSNÍKY	- UHPFRC 161 MPa	- XC2, XD3, XF3
-	RÍMSY	- C30/37	- XC3, XF3
-	PODPĚRY	- C70/85	- XC2, XD3, XF3
-	ZÁKLADY	- C30/37	- XF1
-	BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ	- B500B	
-	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ	- Y1860S7 - 15,7	- NESOUDRŽNÁ

Zpracoval: Bc. Jakub Kühnel	Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.	Školní rok: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Zadání: Návrh integrovaného segmentového UHPFRC mostu přes dálnici D1		Měřítko	1:100/50
Výkres: PŘEHLEDNÉ VÝKRESY		Číslo výkresu	2

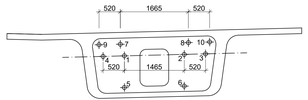


Zpracoval: Bc. Jakub Kühnel	Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.	Školní rok: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět:	DIPLOMOVÁ PRÁCE		
Zadání:	Návrh integrovaného segmentového UHPFRC mostu přes dálnici D1	Měřítko	1:50
Výkres:	POHLED NA OPĚRU 02	Číslo výkresu	3

ŘEZ NOSNÍKEM 1:50



POHLED P1 NA KOTEVNÍ ČELO 1:50



VÝKAZ VÝZTUŽE

OZN.	POČET KABELŮ	POČET LAN/KAB.	HMOTNOST 1m KABELU [kg]	DÉLKA VC. PŘESAHŮ [m]	HMOTNOST JEDNOHO KABELU [kg]	DÉLKA CELKEM [m]	HMOTNOST CELKEM [kg]
Z1	4	19	22,230	51.560	1146,179	206,240	4584,716
Z2	4	19	22,230	4.000	88,920	16.000	355,680
Z3	4	19	22,230	52.620	1169,745	210,480	4678,970
CELKEM						**420,720**	**9599,366**

ÚDAJE O NAPÍNANÍ

KABEL Č.	TYP	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ	POČET LAN	KOTEVNÍ SÍLA [MN]	KOTEVNÍ NAPĚTÍ [MPa]	PODRŽENÍ PŘI NAPÍNÁNÍ [min]	CELKOVÉ PROTAŽENÍ [mm]	POŘADÍ NAPÍNÁNÍ
1	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	273	1
2	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	273	2
3	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	273	3
4	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	273	4
5	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	21	5
6	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	21	6
7	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	279	7
8	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	279	8
9	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	279	9
10	VOLNĚ KABELY	Y1860S7-15,7	19	4,1900	1470	5	279	10

POZNÁMKY:

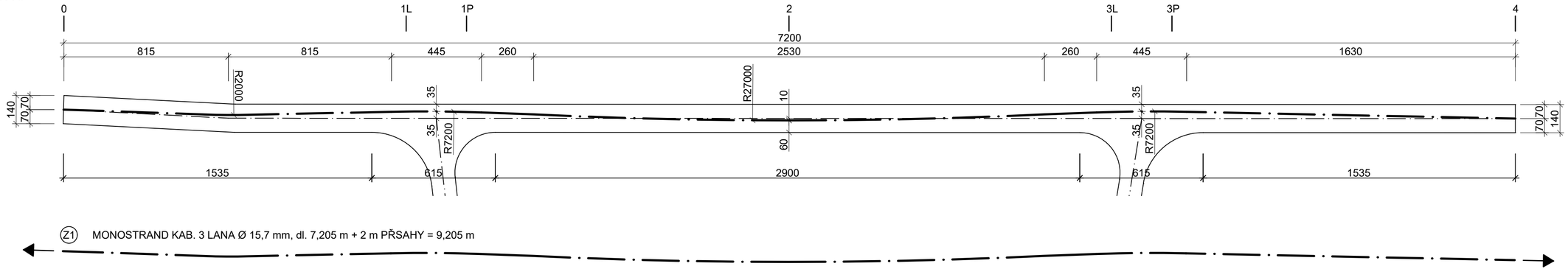
- KABELY Z1 SLOUŽÍ PRO SEPNUTÍ NOSNÍKU V MONTÁŽNÍM STAVU
- PO SEPNUTÍ KABELY Z1 SE KOMPLETNÍ NOSNÍK OSADÍ VCELKU POMOCÍ JEŘÁBU A ZMONOLITNÍ S PODPĚRAMI
- KABELY Z2 SLOUŽÍ PRO SEPNUTÍ PODPĚRY S NOSNÍKEM
- KABELY Z3 SLOUŽÍ PRO PŘEDPĚTÍ CELÉ INTEGROVANÉ KONSTRUKCE

MATERIÁLY

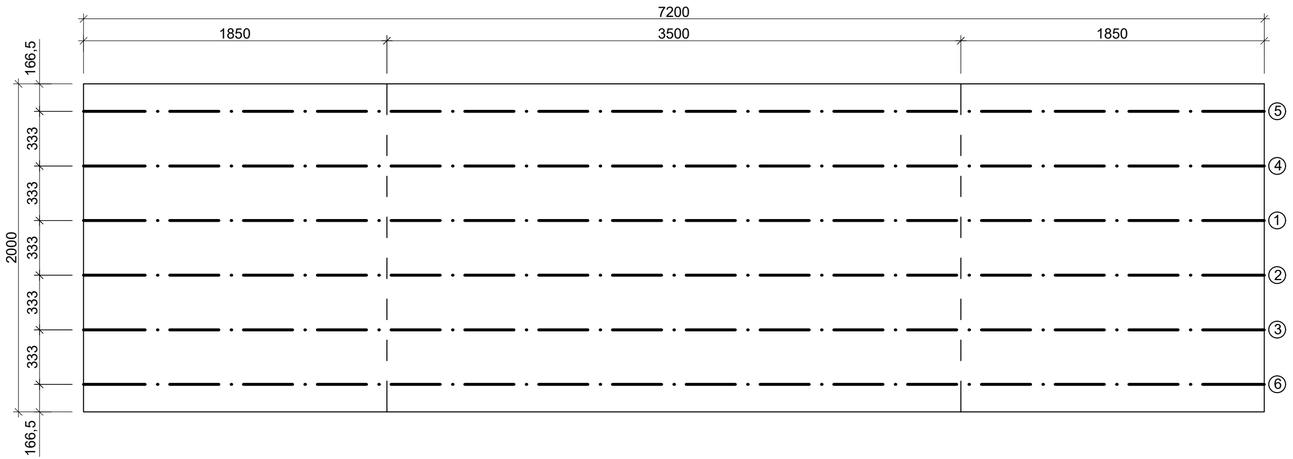
- SEGMENTOVÝ NOSNÍK - UHPFRC 161 MPa - XC2, XD3, XC3
- PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ - Y1860S7 - 15,7 - NESOUDRŽNÁ

Zpracoval: Bc. Jakub Kühnel	Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.	Školní rok: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Zadání: Návrh integrovaného segmentového UHPFRC mostu přes dálnici D1		Měřítko	1:50
Výkres: PŘEDPĚTÍ NOSNÍKU		Číslo výkresu	4

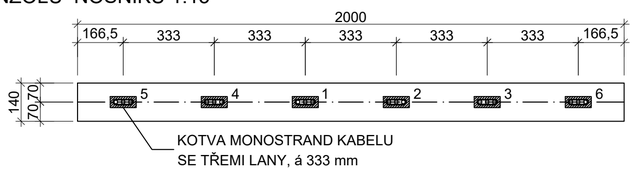
ŘEZ NOSNÍKEM 1:15



PŮDORYS NOSNÍKU 1:25



POHLED NA KONZOLU NOSNÍKU 1:15



VLASTNOSTI PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ

KABEL Č.	TYP	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ	POČET LAN	KOTEVNÍ SÍLA [MN]	KOTEVNÍ NAPĚTÍ [MPa]	PODRŽENÍ PŘI NAPÍNÁNÍ [MIN]	CELKOVÉ PROTAŽENÍ [mm]	POŘADÍ NAPÍNÁNÍ
1	PRŮB. ZVED. K.	Y1860S7-15,7	3	0,6620	1470	5	39	1
2	PRŮB. ZVED. K.	Y1860S7-15,7	3	0,6620	1470	5	39	2
3	PRŮB. ZVED. K.	Y1860S7-15,7	3	0,6620	1470	5	39	3
4	PRŮB. ZVED. K.	Y1860S7-15,7	3	0,6620	1470	5	39	4
5	PRŮB. ZVED. K.	Y1860S7-15,7	3	0,6620	1470	5	39	5
6	PRŮB. ZVED. K.	Y1860S7-15,7	3	0,6620	1470	5	39	6

POZNÁMKY:

- ROZLOŽENÍ KABELŮ NA JEDEN UHPFRC KOMOROVÝ SEGMENT
- PŘEDPĚTÍ MOŽNÉ JAK NA STAVBĚ, TAK VE VÝROBNĚ
- C_{MIN}= 20 mm, REÁLNĚ KRYTÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE 25 mm

MATERIÁLY

- SEGMENTOVÝ NOSNÍK - UHPFRC 161 MPa - XC2, XD3, XC3
- PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ - Y1860S7 - 15,7 - NESOUDRŽNÁ

VÝKAZ VÝZTUŽE

OZN.	POČET KABELŮ	PČET LAN/KAB.	HMOTNOST 1m KABELU [kg]	DÉLKA VC. PŘESAHŮ [m]	HMOTNOST JEDNOHO KABELU [kg]	DÉLKA CELKEM [m]	HMOTNOST CELKEM [kg]
Z1	8	3	3,510	9,205	32,310	73,640	258,476
CELKEM						73,640	**258,476**

Zpracoval: Bc. Jakub Kühnel	Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.	Školní rok: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět:	DIPLOMOVÁ PRÁCE		
Zadání:	Návrh integrovaného segmentového UHPFRC mostu přes dálnici D1	Měřítko	1:25/15
Výkres:	PŘÍČNÉ PŘEDPĚTÍ MOSTOVKY	Číslo výkresu	5