

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Bakalářská práce

Návrh dvoukolejného železničního mostu z UHPFRC prefabrikátů

Design of a double-track railway bridge of UHPFRC precast elements

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Jiří Klír

Praha 2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Jiří</u>	Jméno: <u>Klír</u>	Osobní číslo: <u>477426</u>
Zadávající katedra: <u>K133 Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Návrh dvoukolejného železničního mostu z UHPFRC prefabrikátů</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Design of a double-track railway bridge of UHPFRC precast elements</u>	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte přehledné výkresy, technickou zprávu, statický výpočet nosné konstrukce a schéma předpínací výztuže.	
Seznam doporučené literatury: Šafář, R.: Betonové mosty 2 - přednášky. ČVUT v Praze, 2015. Šafář, R., Petřík, M., Tej, P.: Concrete Bridges - Worked Examples. ČVUT v Praze, 2016.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. Ing. Roman Šafář, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>18.2.2022</u>	Termín odevzdání BP v IS KOS: <u>15.5.2022</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.

_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, za odborného vedení doc. Ing. Romana Šafáře, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškerá literatura, normy a zdroje, ze kterých jsem čerpal jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, 15.05.2022

Jiří Klír

PODĚKOVÁNÍ

Velké poděkování patří hlavně vedoucímu závěrečné práce doc. Ing. Romanu Šafářovi, Ph.D. za skvělý přístup, ochotu, čas a odborné rady v průběhu práce. Dále bych chtěl poděkovat přátelům za rady a podporu.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením nosné konstrukce předpjatého dvoukolejného železničního mostu z UHPFRC prefabrikátů. Most je osově symetrický. Nosná konstrukce je spojitá o třech polích s celkovou délkou 191,5 m a s rozpětím polí 57 m + 75 m + 57m. Nosná konstrukce se skládá ze dvou komorových hlavních nosníků, příčníků a mostovkových desek s podélníky. Hlavní komorové nosníky jsou segmentové. Konstrukce je předepnuta dodatečně volnými kabely. Práce obsahuje technickou zprávu, statický výpočet a výkresovou dokumentaci.

Práce slouží pro ověření použití uvažovaného systému prefabrikovaných prvků pro mostní konstrukci daných parametrů. Není zde navržena pro konkrétní umístění.

KLÍČOVÁ SLOVA

UHPFRC, železniční most, segmentový most, prefabrikovaný beton, předpjatý beton, vláknobeton, segment

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with a design and verification of a superstructure of a pre-stressed double-track railway bridge made of UHPFRC precast elements. The bridge is axially symmetrical. It has continuous three - span superstructure of a total length 191,5 m and with spans 57 + 75 +57 m. The superstructure consists of two main box girders, crossbeams and deck slabs with longitudinal stiffeners. The main box girders are segmental. The structure is post-tensioned by external tendons. The thesis contains technical report, structural analysis and drawings.

The thesis serves for verification of the use of the considered system of precast elements for a bridge structure of given parameters. It is not designed here for a specific location.

KEYWORDS

UHPFRC, railway bridge, segmental bridge, precast concrete, pre-stressed concrete, fibre-reinforced concrete, segment

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**Návrh dvoukolejného železničního mostu z UHPFRC prefabrikátů
Design of a double-track railway bridge of UHPFRC precast elements**

TECHNICKÁ ZPRÁVA

OBSAH

1	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	4
2	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍ STAVBĚ	4
3	ZDŮVODNĚNÍ STAVBY A ÚČEL STAVBY	5
3.1	ÚČEL STAVBY.....	5
3.2	CHARAKTER PŘEMOŠTOVANÉ PŘEKÁŽKY.....	5
4	GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY	5
5	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU	5
5.1	SPODNÍ STAVBA	5
5.2	NOSNÁ KONSTRUKCE MOSTU	5
5.3	ULOŽENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE.....	6
5.4	MOSTNÍ ZÁVĚRY.....	6
5.5	PŘECHOD DO TRATI.....	6
5.6	ODVODNĚNÍ.....	6
5.7	ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK	7
5.8	MOSTNÍ VYBAVENÍ.....	7
5.9	TRAKČNÍ VEDENÍ	7
6	POSTUP VÝSTAVBY.....	7

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Stavba	Dvoukolejný železniční most v úseku Praha – České Budějovice
Objekt	Dvoukolejný železniční most
Traťový úsek	Praha – České Budějovice
Staničení	-
Poloha mostu	Širá trať
Přemostovaná překážka	Hluboké údolí

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍ STAVBĚ

Zatřídění mostu dle ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění

Drážní most

Druh převáděné dráhy	železniční most
Povaha svršku	s kolejovým ložem
Konstrukce mostovky	s horní mostovkou

Rozpětí polí 57,000 m + 97,000 m + 57,000 m

Most s mostovkou v jedné úrovni

Most s horní mostovkou

Délka nosné konstrukce	191,500 m
Délka přemostění	186,000 m
Délka mostu	211,677 m
Šikmost mostu	90°
Šířka mostu	11,700 m
Šířka nosné konstrukce	11,200 m
Volná šířka mostu	11,250 m
Šířka mezi zábradlím	11,250 m
Konstrukční výška	3,500 m

3 ZDŮVODNĚNÍ STAVBY A ÚČEL STAVBY

3.1 ÚČEL STAVBY

Návrh mostu slouží pro ověření použití uvažovaného systému prefabrikovaných prvků pro železniční most daných parametrů. Není zde navržen pro konkrétní umístění.

Uvažuje se převedení železniční tratě druhé třídy přes přírodní překážku.

3.2 CHARAKTER PŘEMOSTŇOVANÉ PŘEKÁŽKY

Přemostňovaná překážka je obecné údolí vhodné pro tento příklad.

4 GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Byla uvažována 2. geotechnická kategorie a jednoduché základové poměry.

5 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU

5.1 SPODNÍ STAVBA

Spodní stavba se skládá z koncových opěr s křídly rovnoběžnými s osou konstrukce a dvou mezilehlých pilířů. Pilíře byly navrženy ve třech variantách s různými typy stativ a byla vybrána ta nejvhodnější s prostorem pro hydraulické lisy. Každý pilíř se skládá ze dvou dříků, příčky a stativa. Opěry a pilíře jsou zhotoveny z betonu C30/37-XF4-XD2-XC4.

Základové bloky jsou odvodněny příčným střešovitým sklonem 4 % od osy dříků.

Spodní stavba je založena na hlubinných velkopřůměrových pilotách o \varnothing 1200 mm vetknutých do poloskalního podloží.

Základy z jsou zhotoveny z betonu C30/37-XF4-XA1-XC4 a piloty z C25/30-XA1-XC2.

5.2 NOSNÁ KONSTRUKCE MOSTU

Nosná konstrukce mostu je navržena jako spojitý nosník o třech polích. Je složena ze dvou hlavních podélných komorových nosníků, příčniců o průřezu tvaru I a z mostovkových desek s podélníky obráceného tvaru T. Všechny prvky jsou prefabrikované a vyrobené z UHPFRC.

Pro hlavní nosníky je použito několik typů prefabrikovaných segmentů v délkách 2,5 m nad podporami a 3 m v poli. Použity jsou segmenty opěrové, pilířové a tzv. běžné. Opěrové a pilířové segmenty mají zesílenou spodní desku, opěrové navíc mají žebra v horní desce v místě mostního závěru.

Příčné spáry mezi segmenty jsou uvažovány jako kontaktní, během montáže budou vyplněny epoxidovým tmelem. Ostatní prefabrikáty budou k hlavním nosníkům připojeny pomocí petlicových styků s dobetonávkou z UHPFRC, příp. jiného vhodného materiálu.

Uvažuje se letmá montáž hlavních nosníků. V každém poli je pak jedna monolitická uzavírací spára.

Příčníky a mostovkové desky s podélníky jsou rovněž prefabrikované. V krajních polích jsou rozmístěny 4 příčníky, v poli prostředním je příčníků 6. Nadpodporové příčníky mají zesílené stěny i spodní desku.

5.3 ULOŽENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

Konstrukce je uložena celkem na šestnácti kalotových ložiscích. V místě uložení jsou vždy dvě ložiska pod každým komorovým nosníkem, umístěná v ose stěn. Podélně pevné uložení je na pilíři P1.



Obrázek 1. Schéma rozmístění ložisek

5.4 MOSTNÍ ZÁVĚRY

Nad opěrou O1 je navržen jednoprofilový lamelový mostní závěr. Na druhém konci konstrukce je navržen z důvodu větší dilatující délky dvouprofilový lamelový mostní závěr. Závěry jsou opatřeny plastovými krycími deskami, proti zapadávání kameniva z kolejového lože.

5.5 PŘECHOD DO TRATI

Přechody do širé trati se zhotoví podle předpisu S4 pomocí ramp ve sklonu 12 % a v délce 7 m. Za opěrami je navržena zesílená konstrukce pražcového podloží.

5.6 ODVODNĚNÍ

Odvodnění je řešeno střeovitým sklonem k ose nosné konstrukce, kde je voda odvedena pomocí odvodňovačů a příčných sklonů do podélného svodu, vyústěného u nižší opěry.

5.7 ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK

Kolej je po mostě převedena v kolejovém loži. Železniční svršek se skládá z betonových železničních pražců typu SB5 a kolejnic typu UIC60.

5.8 MOSTNÍ VYBAVENÍ

Podél obou okrajů mostu jsou navrženy monolitické železobetonové římsy z betonu C30/37-XF4+XD3+XC4. Celková výška říms je 1,000 m, šířka říms je 0,400 m, přesah přes nosnou konstrukci je 0,250 m se sklonem 4% kvůli okapu vody. Římsy budou rozdělené příčnými dilatačními spárami.

Na římsách jsou osazena trubková trojmadlová zábradlí o výšce 1,000 m a \varnothing trubek 80 mm.

5.9 TRAKČNÍ VEDENÍ

Stožáry trakčního vedení budou kotveny do železobetonových bloků, které vzniknou lokálním rozšířením říms směrem ven od osy mostu.

6 POSTUP VÝSTAVBY

Nejdříve bude provedeno vytýčení stavby, případné přeložky inženýrských sítí a výkopové práce.

Spodní stavba mostu bude monolitická železobetonová.

U nosné konstrukce se předpokládá realizace pomocí letmé montáže.

Na pilíře se nejdříve osadí pilířové segmenty, které budou během montáže dočasně podepřeny hydraulickými lisami – pro tento účel jsou stativa pilířů potřebným způsobem rozšířena.

Následně se bude konstrukce montovat konzolovým způsobem v symetrických vahadlech (vahadlo tvoří dvojice konzol nad jedním pilířem) směrem od pilířů. Montáž bude probíhat symetricky po dvojicích segmentů – vždy se osadí jeden nový segment na každém konci vahadla a připevní se provizorním předpětím (pomocí předpínacích tyčí, případně provizorních kabelů). Příčné spáry mezi segmenty budou kontaktní a během montáže vyplněné epoxidovým tmelem.

Předpokládá se, že segmenty budou montovány pomocí lehkého atypického jeřábu (o hmotnosti cca 5 t) umístěného na konci každé konzoly.

Z důvodu omezení počtu kabelů v nosné konstrukci budou definitivní konzolové kabely každého vahadla napínány pouze ve čtyřech místech – v místě 2., 4., 7. a 12. segmentu od pilíře.

Během letmé montáže hlavních nosníků se budou osazovat i prefabrikované příčníky mezi hlavními nosníky. Pro ztužení nosné konstrukce ve vodorovném směru během montáže se předpokládá ještě použití ocelových diagonál (z předpínacích tyčí nebo konstrukční oceli) v prostoru mezi hlavními nosníky a příčníky.

Krajní části krajních polí budou smontovány na skruži. Následně se dobetonují příčné monolitické uzavírací spáry mezi čely vahadel, resp. mezi vahadlem a konstrukcí smontovanou na skruži v krajních polích. Poté bude napnuta část kabelů spojitosti – v daném případě se použijí tzv. kladné kabely při dolním povrchu nosné konstrukce v poli (s případným přesahem do vedlejšího pole). Byl proveden i návrh zvedaných (lomených) kabelů spojitosti, ale přímé kladné kabely vyšly v daném případě příznivěji. Veškerá předpínací výztuž v podélném směru je tvořena volnými kabely z Monostrandů.

Nosná konstrukce bude osazena na definitivní ložiska.

V další fázi budou osazeny prefabrikované desky s podélníky (nejdříve v poli, následně u podpěr) a budou dopnuty zbývající kabely spojitosti. V příčném směru bude předpnuta i mostovka nosné konstrukce, rovněž pomocí kabelů z Monostrandů.

Na závěr bude realizován mostní svršek a vybavení a budou provedeny dokončovací práce (odlážďení svahů apod.).

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

Fakulta stavební



Katedra betonových a zděných konstrukcí

**Návrh dvoukolejného železničního mostu z UHPFRC prefabrikátů
Design of a double-track railway bridge of UHPFRC precast elements**

STATICKÝ VÝPOČET

OBSAH

1	PRŮVODNÍ ZPRÁVA	15
1.1	POUŽITÁ LITERATURA	15
1.2	POUŽITÉ PROGRAMY	16
2	KONSTRUKCE	17
2.1	SCHÉMA KONSTRUKCE.....	17
2.2	VÝPOČETNÍ MODELY	18
2.3	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	20
2.3.1	Průřezové charakteristiky v poli	21
2.3.2	Průřezové charakteristiky nad pilířem.....	22
2.3.3	Průřezové charakteristiky nad opěrou	23
2.4	STANOVENÍ SPOLUPŮSOBÍCÍ (EFEKTIVNÍ) ŠÍŘKY DESKY.....	24
2.4.1	Efektivní šířka v krajním poli	25
2.4.1.1	Vnější konzola.....	25
2.4.1.2	Horní deska mezi stěnami	25
2.4.1.3	Vnitřní konzola.....	25
2.4.1.4	Spodní deska	25
2.4.2	Efektivní šířka ve středním poli	26
2.4.2.1	Vnější konzola.....	26
2.4.2.2	Horní deska mezi stěnami	26
2.4.2.3	Vnitřní konzola.....	26
2.4.2.4	Spodní deska	26
2.4.3	Efektivní šířka nad pilířem.....	27
2.4.3.1	Vnější konzola.....	27
2.4.3.2	Horní deska mezi stěnami	27
2.4.3.3	Vnitřní konzola.....	27
2.4.3.4	Spodní deska	27

2.4.4	Efektivní šířka nad opěrou	28
2.4.4.1	Vnější konzola.....	28
2.4.4.2	Horní deska mezi stěnami	28
2.4.4.3	Vnitřní konzola.....	28
2.4.4.4	Spodní deska	28
2.5	POROVNÁNÍ PRŮBĚHŮ σ_x a τ	29
2.5.1	Deskostěnový model	29
2.5.2	Model „deska s žebry“	31
2.6	PŘEHLED PRŮŘEZOVÝCH CHARAKTERISTIK.....	33
3	MATERIÁLY.....	34
3.1	BETON	34
3.2	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ	34
3.3	BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ	34
4	ZATÍŽENÍ.....	35
4.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ	35
4.1.1	Vlastní tíha nosné konstrukce	35
4.1.2	Ostatní stálé zatížení.....	35
4.1.2.1	Střední hodnota.....	35
4.1.2.2	Horní charakteristická hodnota	35
4.1.2.3	Dolní charakteristická hodnota	36
4.1.2.4	„Rozdíly“ ostatního stálého zatížení	36
4.1.3	Nerovnoměrné poklesy podpor	36
4.2	ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ.....	37
4.2.1	Zatížení dopravou.....	37
4.2.1.1	Zatížení dopravou – Model LM71.....	37
4.2.1.2	Zatížení dopravou – Model SW/0.....	37
4.2.1.3	Excentricita zatížení dopravou	37

4.2.1.4	Dynamické účinky	38
4.2.2	Zatížení teplotou	38
4.2.3	Staveništní zatížení	39
4.2.4	Zatížení větrem.....	39
4.3	KOMBINACE ZATÍŽENÍ.....	40
4.3.1	Mezní stavy únosnosti	40
4.3.2	Mezní stavy použitelnosti	40
5	VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL.....	47
5.1	ÚVOD.....	47
5.2	VNITŘNÍ SÍLY OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ.....	48
5.2.1	Ostatní stálé zatížení ($g-g_0$)	49
5.2.2	Nerovnoměrné poklesy podpor	52
5.3	VNITŘNÍ SÍLY OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ	53
5.3.1	Model zatížení LM71	53
5.3.2	Model zatížení SW/0.....	54
5.3.3	Zatížení teplotními účinky.....	55
5.3.4	Zatížení větrem.....	57
5.3.5	Staveništní zatížení	58
5.4	KOMBINACE VNITŘNÍCH SIL	59
5.4.1	Kombinace pro mezní stavy únosnosti – dokončená konstrukce (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.1.)	60
5.4.2	Kombinace pro mezní stavy použitelnosti – dokončená konstrukce (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.2.)	61
5.4.3	Kombinace pro mezní stavy únosnosti – stavební stádium (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.1.)	62
5.4.4	Kombinace pro mezní stavy použitelnosti – stavební stádium (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.2.).....	63
5.4.5	Přehled kombinací vnitřních sil	64

5.4.5.1	MSU.....	64
5.4.5.2	MSP	64
6	NÁVRH PŘEDPĚTÍ	69
6.1	ÚVOD.....	69
6.1.1	Napětí ve výztuži	69
6.1.2	Ztráty předpětí	69
6.2	NÁVRH PŘEDPĚTÍ VAHADLA	70
6.2.1	Napětí ve fázích výstavby od předpětí.....	71
6.2.1.1	Napětí ve fázích výstavby bez předpětí	72
6.2.2	Celkové napětí na vahadle (včetně předpětí definitivními konzolovými kabely).....	73
6.3	Redistribuce vnitřních sil	74
6.3.1	Dotvarování a smršťování UHPFRC 150.....	74
6.3.2	Zjednodušená metoda součinitele stárnutí	76
6.4	Návrh přímých kabelů spojitosti	77
6.4.1	Výpočet a posouzení normálových napětí.....	78
6.4.1.1	Stavební stav před vnesením (g-g0).....	78
6.4.1.2	Stavební stav po vnesením (g-g0).....	79
6.4.1.3	Provozní stav – uvedení do provozu	80
6.4.1.4	Provozní stav – konec životnosti	81
6.4.1.5	Omezení tlakového napětí	81
6.5	SROVNÁNÍ NÁVRHŮ	82
6.5.1	Lomené kabely v základním průřezu	82
6.5.1.1	Omezení tlakového napětí	83
6.5.2	Přímé kabely pro zesílený průřez	84
6.5.2.1	Omezení tlakového napětí	86
6.5.3	Lomený kabel pro zesílený průřez	86
6.5.3.1	Omezení tlakového napětí	87

6.5.4 Shrnutí a porovnání	87
7 POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI	88
7.1 MS OMEZENÍ NAPĚTÍ A TRHLIN	88
7.2 MS OMEZENÍ DEFORMACÍ.....	88
7.2.1 Posouzení svislého průhybu.....	88
7.2.2 Posouzení pootočení nad koncovou opěrou	88
7.3 MEZNÍ STAV OMEZENÍ VIBRACÍ.....	88
8 POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI	89
8.1 MSÚ – VE STŘEDNÍM POLI.....	89
8.1.1 Uvedení do provozu.....	89
8.1.2 Konec životnosti	90
8.2 MSU NAD PILÍŘEM	91
8.2.1 Uvedení do provozu.....	91
8.2.2 Konec životnosti	92
9 ZÁVĚR	93

1 PRŮVODNÍ ZPRÁVA

1.1 POUŽITÁ LITERATURA

- 1) ŠAFÁŘ, Roman, Milan PETŘÍK a Petr TEJ. Concrete bridges: worked examples. V Praze: ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05179-5
- 2) ŠAFÁŘ, Roman, Kukaň Vlastimil, Foglar Marek. Betonové mosty 1: přednášky. V Praze: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04661-6
- 3) ŠAFÁŘ, Roman. Betonové mosty 2: přednášky. V Praze: ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05543-4.
- 4) ŠAFÁŘ, Roman. Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjatého mostu podle Eurokodů. V Praze: ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05690-5.
- 5) ČSN EN 1990 ed. 2 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- 6) ČSN EN 1991-1-1 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- 7) ČSN EN 1991-1-4 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- 8) ČSN EN 1991-1-5 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou
- 9) ČSN EN 1991-1-6 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení - Zatížení během provádění
- 10) ČSN EN 1991-2 (73 6203) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou
- 11) ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- 12) ČSN EN 1992-2 (73 6208) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady
- 13) ČSN 73 6200 Mosty - Terminologie a třídění
- 14) ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí
- 15) NF P18-710 National addition to Eurocode 2 – Design of concrete structures: specific rules for ultra-high performance fibre-reinforced concrete (UHPFRC), Francie 04/2016
- 16) NF P18-470 Concrete - Ultra-high performance fibre-reinforced concrete - Specifications, performance, production and conformity, Francie 07/2016

1.2 POUŽITÉ PROGRAMY

SCIA Engineer 21.1 64b – SCIA CZ s.r.o. Prague – studentská licence

AutoCAD 2022 – Autodesk spol. s.r.o. - studentská licence

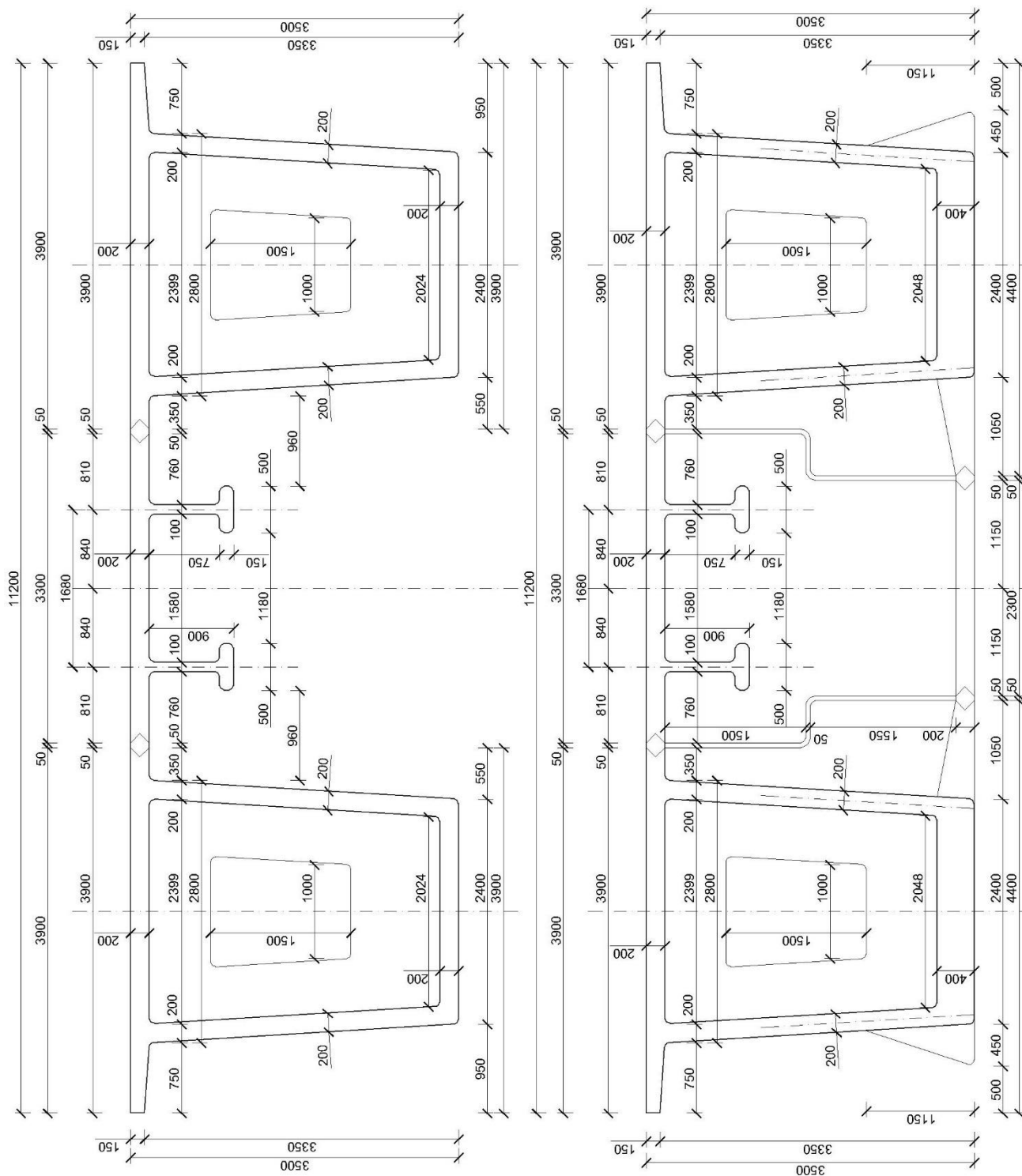
Microsoft 365 a Office 2021, Microsoft, s.r.o.

Microsoft s Word

Microsoft Excel

2 KONSTRUKCE

2.1 SCHÉMA KONSTRUKCE



Obrázek 2. Příčný řez konstrukcí – vlevo v poli (mimo příčnick), vpravo nad pilířem

Skládá se ze dvou hlavních komorových nosníků o konstantní výšce průřezu 3,500 m, příčníků a mostovkových desek s podélníky. Nosníky mají proměnnou tloušťku spodní desky - nad podpěrami je dolní deska zesílena náběhem z běžných 0,200 m tloušťky na 0,400 m. Dále jsou v nadpodporových oblastech zesíleny příčnky a komory jsou v místě uložení opatřeny trojúhelníkovými nálitky pro umístění ložisek. Horní deska je zesílena náběhy před mostními závěry. Dalšími nálitky se segmenty opatří v místě kotvení předpínacích kabelů.

Segmenty v poli jsou 3,000 m dlouhé a nadpodporové segmenty jsou zkráceny na 2,500 m z důvodu redukce hmotnosti. Ve středu každého segmentu je ztužidlo s revizním otvorem. V každém poli je jedna příčná monolitická uzavírací spára široká 0,500 m.

2.2 VÝPOČETNÍ MODELY

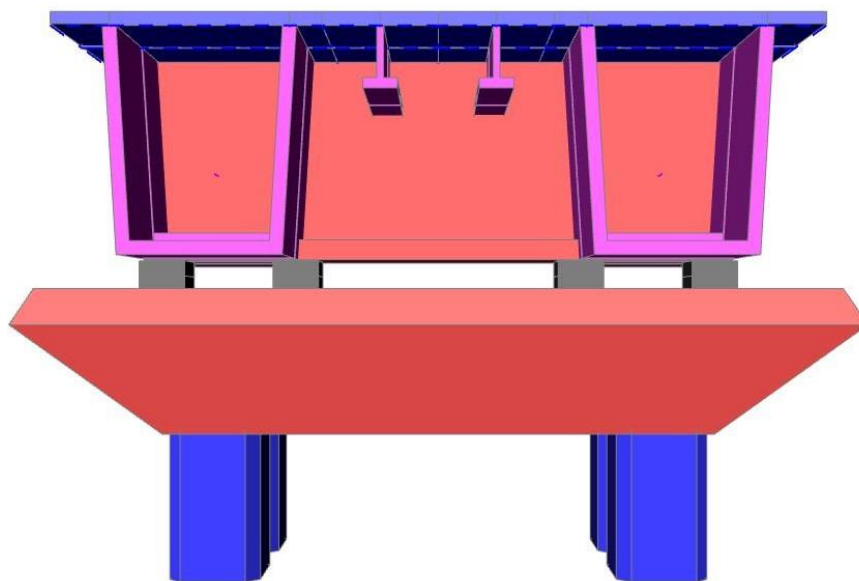
Pro projekt bylo vytvořeno několik výpočetních modelů v programu SCIA Engineer.

Jako hlavní model pro výpočet vnitřních sil, pro jejich kombinace a rozbor prostorového působení konstrukce byl použit 3D model. Nejprve se nosníky uvažovaly jako „desky se žebry“. Pro tento způsob zadání se vyzkoušely dvě varianty: číselně zadaná žebra s průřezovými charakteristikami pro celou komoru a graficky zadaný profil ve tvaru U s momentem tuhosti v kroucení pro celou komoru. Pro výsledný model byl použit průřez žebra zadaný graficky.

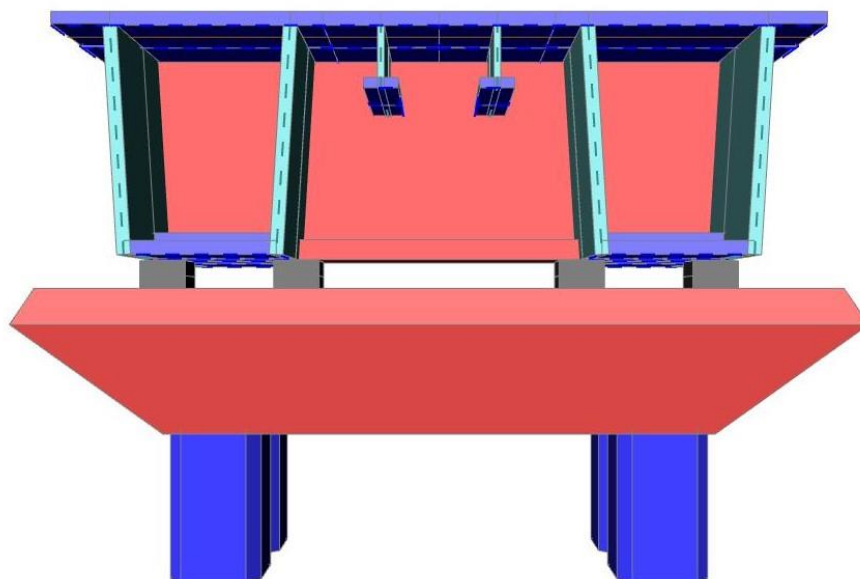
Model typu „deska s žebry“ byl použit pro jeho výhody při zadávání některých typů zatížení a pro jeho výhody při tisku potřebných výsledků.

Dále byl použit 3D deskostěnový model, jako „teoreticky přesný“ (v mezích možností) pro porovnání průběhu vnitřních sil a průběhů normálových a smykových napětí po průřezu.

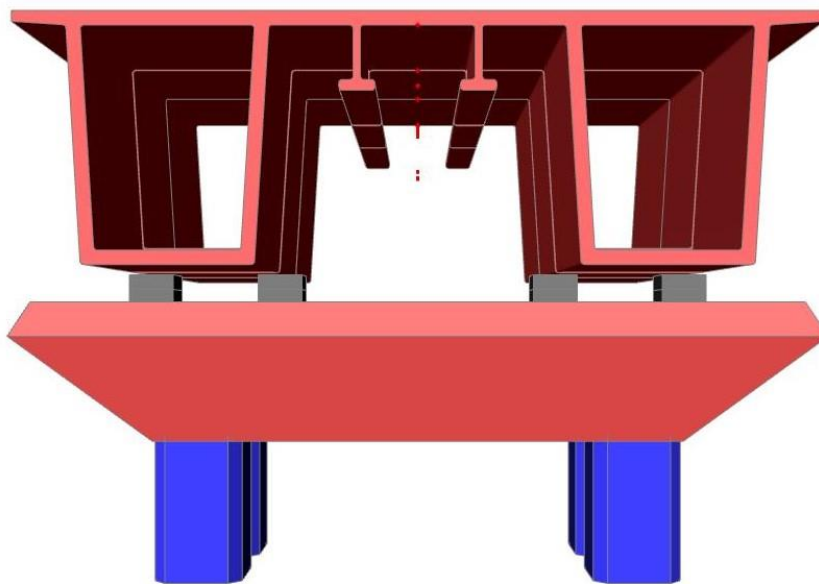
U třetího modelu se ponechala spodní stavba a hlavní nosná konstrukce byla vymodelována jako prut v těžišti průřezu. Tento model byl použit pro kontrolu průběhu příčných účinků od zatížení větrem. Dále byl využit pro mezivýpočty fází výstavby a předpínání.



Obrázek 3. Model se žebrem



Obrázek 4. Model deskostěnový



Obrázek 5. Model prut

2.3 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Pro výpočetní model byl zjednodušeně dopočten moment tuhosti v kroucení I_k pro komoru bez konzol.

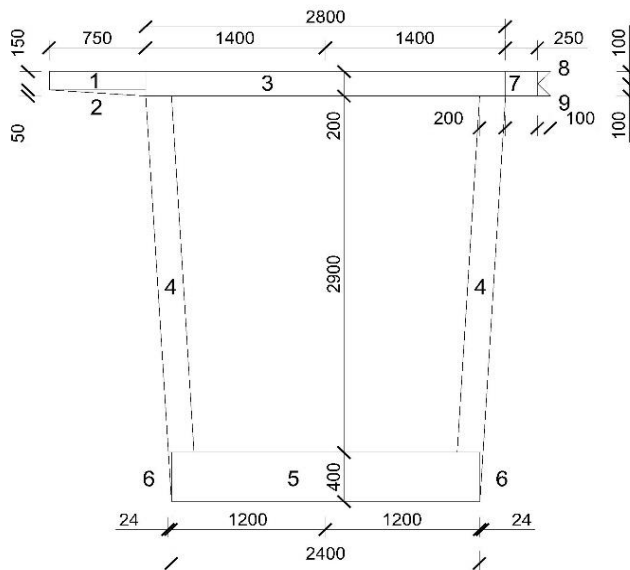
$$I_k = \frac{4 \cdot A_k^2}{\oint \frac{ds}{t}}; \oint \frac{ds}{t} = \frac{s_r}{t} \qquad I_k = \frac{4 \cdot A_k^2}{\oint \frac{ds}{t}}; \oint \frac{ds}{t} = \frac{a}{t_1} + \frac{b}{t_2} + \frac{a}{t_3} + \frac{b}{t_4}$$

V poli $I_k = 4,431 \text{ m}^4$

Nad podporou $I_k = 4,725 \text{ m}^4$

Pro další výpočty byly sestaveny excelové tabulky.

2.3.1 Průřezové charakteristiky v poli



$$\begin{aligned}
 h &= 3,500 \quad [\text{m}] \\
 z_T &= 1,945 \quad [\text{m}] \\
 W^h &= 2,7952 \quad [\text{m}^3] \\
 W^d &= 2,2353 \quad [\text{m}^3]
 \end{aligned}$$

Obrázek 6. Průřezové charakteristiky v poli

Č.	Tvar	b [m]	h [m]	z_{Ti} [m]	Počet n [ks]	$n \cdot A_i$ [m ²]	$n \cdot I_i$ [m ⁴]	$n \cdot A_i \cdot z_{Ti}$ [m ³]	z_T [m]	e_i [m]	$n \cdot A_i \cdot e_i^2$ [m ⁴]	ΣI [m ⁴]
1	□	0,750	0,150	3,425	1	0,1125	2,1E-04	0,3853	1,945	1,480	0,2465	0,2467
2	Δ	0,750	0,050	3,333	1	0,0375	7,8E-06	0,1250	1,945	1,389	0,0723	0,0723
3	□	2,800	0,200	3,400	1	0,5600	1,9E-03	1,9040	1,945	1,455	1,1859	1,1878
4	□	0,200	3,100	1,750	2	1,2400	9,9E-01	2,1700	1,945	-0,195	0,0470	1,0401
5	□	2,400	0,200	0,100	1	0,4800	1,6E-03	0,0480	1,945	-1,845	1,6335	1,6351
6	Δ	0,012	0,200	0,133	2	0,0048	1,6E-05	0,0006	1,945	-1,811	0,0158	0,0158
7	Δ	0,250	0,200	3,400	1	0,0500	1,7E-04	0,1700	1,945	1,455	0,1059	0,1060
8	Δ	0,100	0,100	3,467	1	0,0100	8,3E-06	0,0347	1,945	1,522	0,0232	0,0232
9	Δ	0,100	0,100	3,367	1	0,0100	8,3E-06	0,0337	1,945	1,422	0,0202	0,0202
						2,5048		4,8713				4,3472

Tabulka 1. Průřezové charakteristiky v poli

Celková výška průřezu: 3,500 m

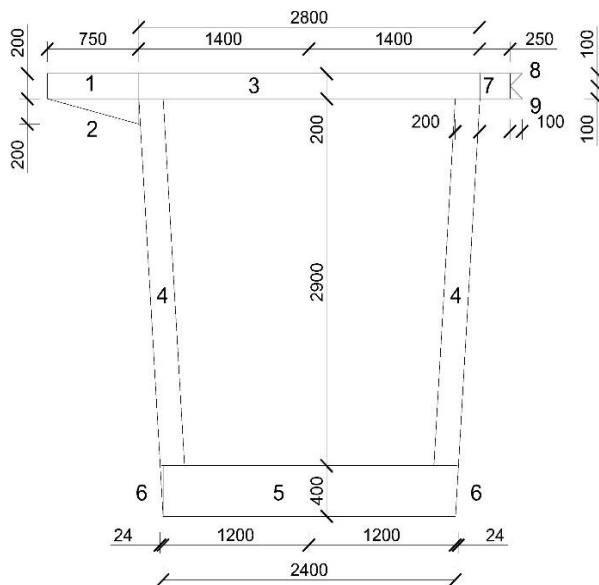
Průřezový modul - horní vlákna:

$$W^h = \frac{4,347}{3,500 - 1,945} = 2,7952 \quad \text{m}^3$$

Průřezový modul - dolní vlákna:

$$W^d = \frac{4,347}{1,945} = 2,2353 \quad \text{m}^3$$

2.3.2 Průřezové charakteristiky nad pilířem



$$\begin{aligned}
 h &= 3,500 \quad [\text{m}] \\
 z_T &= 1,704 \quad [\text{m}] \\
 W^h &= 2,9155 \quad [\text{m}^3] \\
 W^d &= 3,0742 \quad [\text{m}^3]
 \end{aligned}$$

Obrázek 7. Průřezové charakteristiky nad pilířem

Č.	Tvar	b [m]	h [m]	z_{Ti} [m]	Počet n [ks]	$n \cdot A_i$ [m ²]	$n \cdot I_i$ [m ⁴]	$n \cdot A_i \cdot z_{Ti}$ [m ³]	z_T [m]	e_i [m]	$n \cdot A_i \cdot e_i^2$ [m ⁴]	ΣI [m ⁴]
1	□	0,750	0,150	3,225	1	0,1125	2,1E-04	0,3628	1,704	1,521	0,2604	0,2606
2	Δ	0,750	0,050	3,333	1	0,0375	7,8E-06	0,1250	1,704	1,630	0,0996	0,0996
3	□	2,800	0,200	3,400	1	0,5600	1,9E-03	1,9040	1,704	1,696	1,6115	1,6133
4	□	0,200	2,900	1,850	2	1,1600	8,1E-01	2,1460	1,704	0,146	0,0248	0,8378
5	□	2,400	0,400	0,200	1	0,9600	1,3E-02	0,1920	1,704	-1,504	2,1705	2,1833
6	Δ	0,024	0,400	0,267	2	0,0192	2,6E-04	0,0051	1,704	-1,437	0,0396	0,0399
7	Δ	0,250	0,200	3,400	1	0,0500	1,7E-04	0,1700	1,704	1,696	0,1439	0,1440
8	Δ	0,100	0,100	3,467	1	0,0100	8,3E-06	0,0347	1,704	1,763	0,0311	0,0311
9	Δ	0,100	0,100	3,367	1	0,0100	8,3E-06	0,0337	1,704	1,663	0,0277	0,0277
						2,9192		4,9733				5,2374

Tabulka 2. Průřezové charakteristiky nad pilířem

Celková výška průřezu: 3,500 m

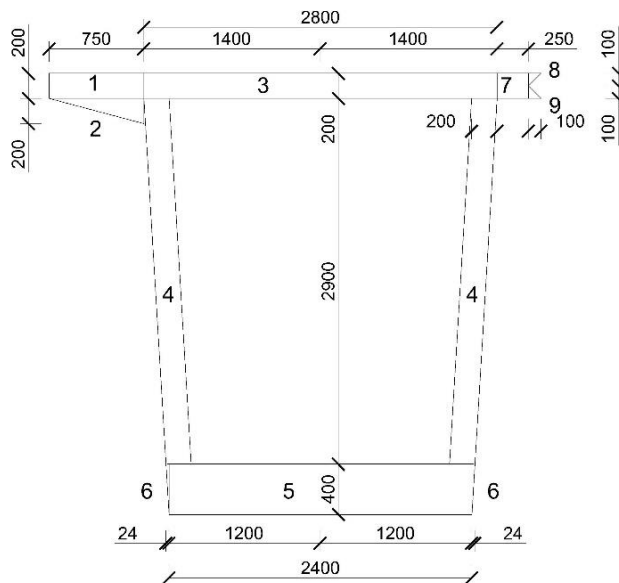
Průřezový modul - horní vlákna:

$$W^h = \frac{5,237}{3,500 - 1,704} = 2,9155 \quad \text{m}^3$$

Průřezový modul - dolní vlákna:

$$W^d = \frac{5,237}{1,704} = 3,0742 \quad \text{m}^3$$

2.3.3 Průřezové charakteristiky nad opěrou



$$\begin{aligned}
 h &= 3,500 \quad [\text{m}] \\
 z_T &= 1,795 \quad [\text{m}] \\
 W^h &= 3,3631 \quad [\text{m}^3] \\
 W^d &= 3,1930 \quad [\text{m}^3]
 \end{aligned}$$

Obrázek 8. Průřezové charakteristiky nad opěrou

Č.	Tvar	b [m]	h [m]	z_{Ti} [m]	Počet n [ks]	$n \cdot A_i$ [m ²]	$n \cdot I_i$ [m ⁴]	$n \cdot A_i \cdot z_{Ti}$ [m ³]	z_T [m]	e_i [m]	$n \cdot A_i \cdot e_i^2$ [m ⁴]	ΣI [m ⁴]
1	□	0,750	0,200	3,400	1	0,1500	5,0E-04	0,5100	1,795	1,605	0,3862	0,3867
2	Δ	0,750	0,200	3,433	1	0,1500	5,0E-04	0,5150	1,795	1,638	0,4024	0,4029
3	□	2,800	0,200	3,400	1	0,5600	1,9E-03	1,9040	1,795	1,605	1,4418	1,4437
4	□	0,200	2,900	1,850	2	1,1600	8,1E-01	2,1460	1,795	0,055	0,0035	0,8164
5	□	2,400	0,400	0,200	1	0,9600	1,3E-02	0,1920	1,795	-1,595	2,4435	2,4563
6	Δ	0,024	0,400	0,267	2	0,0192	2,6E-04	0,0051	1,795	-1,529	0,0449	0,0451
7	Δ	0,250	0,200	3,400	1	0,0500	1,7E-04	0,1700	1,795	1,605	0,1287	0,1289
8	Δ	0,100	0,100	3,467	1	0,0100	8,3E-06	0,0347	1,795	1,671	0,0279	0,0279
9	Δ	0,100	0,100	3,367	1	0,0100	8,3E-06	0,0337	1,795	1,571	0,0247	0,0247
						3,0692		5,5105				5,7327

Tabulka 3. Průřezové charakteristiky nad opěrou

Celková výška průřezu: 3,500 m

Průřezový modul - horní vlákna:

$$W^h = \frac{5,733}{3,500 - 1,795} = 3,3631 \quad \text{m}^3$$

Průřezový modul - dolní vlákna:

$$W^d = \frac{5,733}{1,795} = 3,1930 \quad \text{m}^3$$

2.4 STANOVENÍ SPOLUPŮSOBÍCÍ (EFEKTIVNÍ) ŠÍŘKY DESKY

Spolupůsobící šířka byla spočtena pro polovinu celkového průřezu se zanedbáním podélníků.

Vzdálenosti nulových momentů l_0

Krajní pole

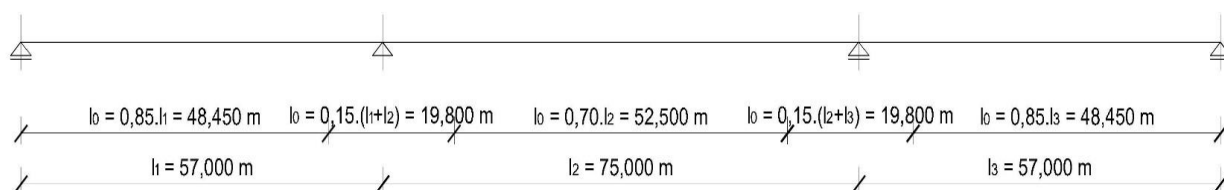
$$l_0 = 0,85 \cdot 57,00 = 48,450 \text{ m}$$

Střední pole

$$l_0 = 0,70 \cdot 75,00 = 52,500 \text{ m}$$

Nad podporou

$$l_0 = 0,15 \cdot (57,00 + 75,00) = 19,800 \text{ m}$$



Obrázek 9. Definice l_0 pro výpočet spolupůsobící šířky

2.4.1 Efektivní šířka v krajním poli

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_o \leq 0,2 \cdot l_o$$

$$b_{\text{eff},i} \leq b_i$$

2.4.1.1 Vnější konzola

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,2 \cdot 0,750 + 0,1 \cdot 48,450 = 4,995 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,750 \text{ m}$$

2.4.1.2 Horní deska mezi stěnami

$$b_{2,3} = 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 0,2 \cdot 1,200 + 0,1 \cdot 48,450 = 5,085 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 1,200 \text{ m}$$

2.4.1.3 Vnitřní konzola

$$b_4 = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 0,2 \cdot 2,050 + 0,1 \cdot 48,450 = 5,255 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 0,750 + 2 \cdot 1,200 + 2,050 + 2 \cdot 0,200 = 5,600 \text{ m}$$

V krajním poli spolupůsobí celý průřez.

2.4.1.4 Spodní deska

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_{5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 0,2 \cdot 1,000 + 0,1 \cdot 48,450 = 5,045 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \cdot 1,000 + 2 \cdot 0,200 = 2,400 \text{ m}$$

V krajním poli spolupůsobí celý průřez.

2.4.2 Efektivní šířka ve středním poli

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

$$b_{\text{eff},i} \leq b_i$$

2.4.2.1 Vnější konzola

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,2 \cdot 0,750 + 0,1 \cdot 52,500 = 5,400 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 52,500 = 10,500 \text{ m} \\ > 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,750 \text{ m}$$

2.4.2.2 Horní deska mezi stěnami

$$b_{2,3} = 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 0,2 \cdot 1,200 + 0,1 \cdot 52,500 = 5,490 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 52,500 = 10,500 \text{ m} \\ > 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 1,200 \text{ m}$$

2.4.2.3 Vnitřní konzola

$$b_4 = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 0,2 \cdot 2,050 + 0,1 \cdot 52,500 = 5,660 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 52,500 = 10,500 \text{ m} \\ > 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 0,750 + 2 \cdot 1,200 + 2,050 + 2 \cdot 0,200 = 5,600 \text{ m}$$

Ve středním poli spolupůsobí celý průřez.

2.4.2.4 Spodní deska

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_{5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 0,2 \cdot 1,000 + 0,1 \cdot 52,500 = 5,450 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 52,500 = 10,500 \text{ m} \\ > 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \cdot 1,000 + 2 \cdot 0,200 = 2,400 \text{ m}$$

Ve středním poli spolupůsobí celý průřez.

2.4.3 Efektivní šířka nad pilířem

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_o \leq 0,2 \cdot l_o$$

$$b_{\text{eff},i} \leq b_i$$

2.4.3.1 Vnější konzola

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,2 \cdot 0,750 + 0,1 \cdot 19,800 = 2,130 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 19,800 = 3,960 \text{ m} \\ > 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,750 \text{ m}$$

2.4.3.2 Horní deska mezi stěnami

$$b_{2,3} = 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 0,2 \cdot 1,200 + 0,1 \cdot 19,800 = 2,220 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 19,800 = 3,960 \text{ m} \\ > 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 1,200 \text{ m}$$

2.4.3.3 Vnitřní konzola

$$b_4 = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 0,2 \cdot 2,050 + 0,1 \cdot 19,800 = 2,390 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 19,800 = 3,960 \text{ m} \\ > 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 0,750 + 2 \cdot 1,200 + 2,050 + 2 \cdot 0,200 = 5,600 \text{ m}$$

Nad pilířem spolupůsobí celý průřez.

2.4.3.4 Spodní deska

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_{5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 0,2 \cdot 1,000 + 0,1 \cdot 19,800 = 2,180 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 19,800 = 3,960 \text{ m} \\ > 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \cdot 1,000 + 2 \cdot 0,200 = 2,400 \text{ m}$$

Nad pilířem spolupůsobí celý průřez.

2.4.4 Efektivní šířka nad opěrou

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_o \leq 0,2 \cdot l_o$$

$$b_{\text{eff},i} \leq b_i$$

2.4.4.1 Vnější konzola

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,2 \cdot 0,750 + 0,1 \cdot 48,450 = 4,995 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 0,750 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,750 \text{ m}$$

2.4.4.2 Horní deska mezi stěnami

$$b_{2,3} = 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 0,2 \cdot 1,200 + 0,1 \cdot 48,450 = 5,085 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 1,200 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},2,3} = 1,200 \text{ m}$$

2.4.4.3 Vnitřní konzola

$$b_4 = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 0,2 \cdot 2,050 + 0,1 \cdot 48,450 = 5,255 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},4} = 2,050 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 0,750 + 2 \cdot 1,200 + 2,050 + 2 \cdot 0,200 = 5,600 \text{ m}$$

V krajním poli spolupůsobí celý průřez.

2.4.4.4 Spodní deska

$$b_w = 0,200 \text{ m}$$

$$b_{5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 0,2 \cdot 1,000 + 0,1 \cdot 48,450 = 5,045 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 48,450 = 9,690 \text{ m} \\ > 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},5,6} = 1,000 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \cdot 1,000 + 2 \cdot 0,200 = 2,400 \text{ m}$$

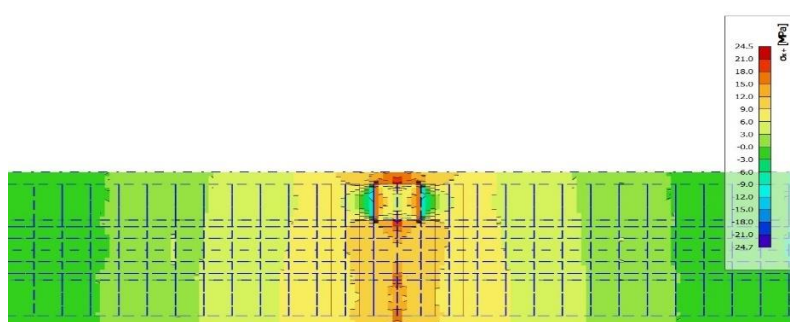
V krajním poli spolupůsobí celý průřez.

2.5 POROVNÁNÍ PRŮBĚHŮ Σ_x A T

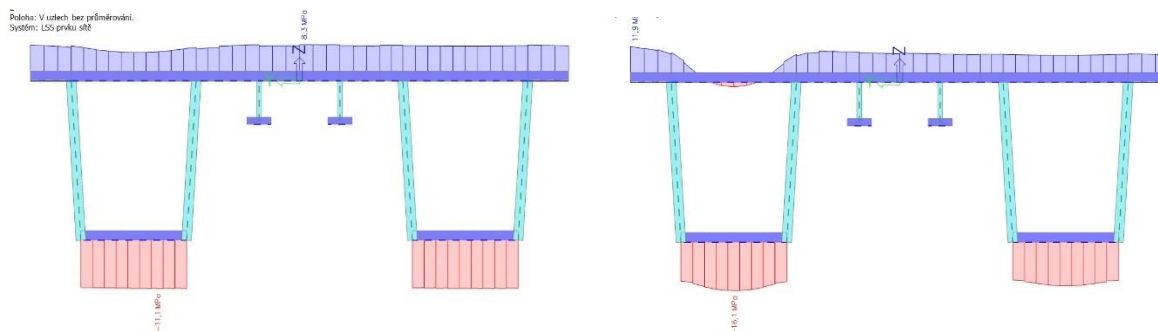
Pro ověření účinků ochabnutí smykem a celkového působení výpočetního modelu typu „deska s žebrem“ bylo provedeno porovnání průběhu normálových a smykových napětí s výsledky spočítanými na prostorovém deskostěnovém modelu. Porovnání bylo provedeno pro účinky vlastní tíhy a pro účinky vybraných nesymetrických zatěžovacích stavů. Zde jsou vykresleny výsledky od vlastní tíhy.

V této bakalářské práci je proveden návrh nosné konstrukce v podélném směru a z tohoto hlediska byla zkoumána výstižnost výpočetních modelů.

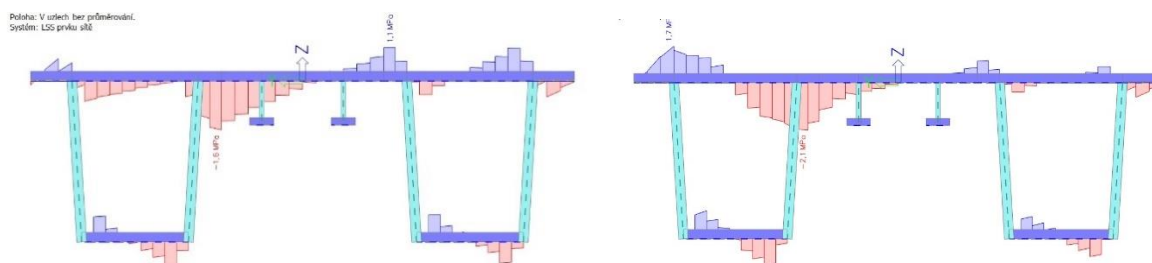
2.5.1 Deskostěnový model



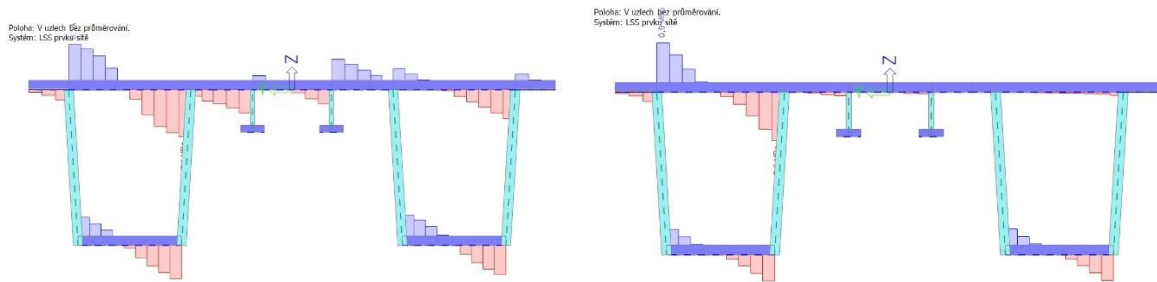
Obrázek 10. Průběh napětí na desce nad pilířem P1



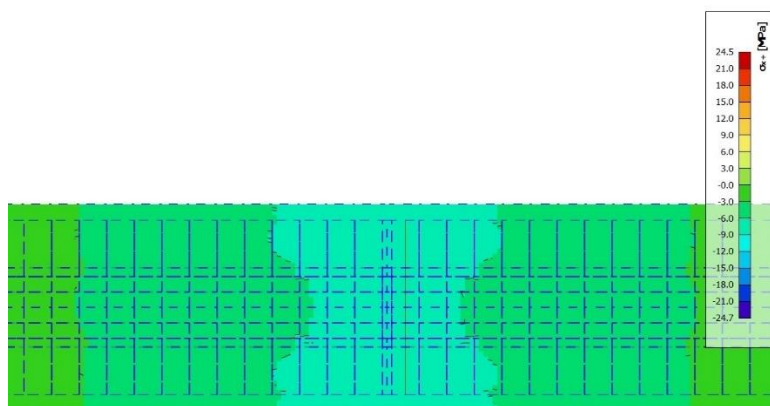
Obrázek 11. σ_x 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1



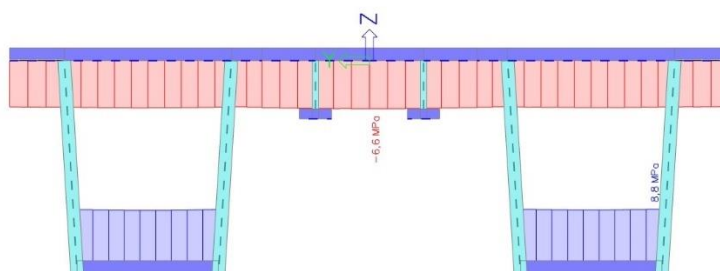
Obrázek 12. τ_{xy} 3,5 a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1



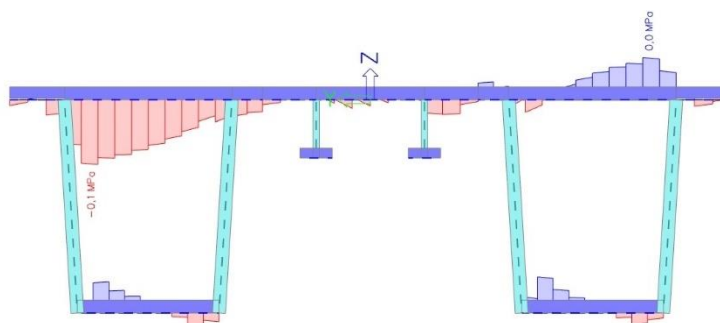
Obrázek 13. τ_{yz} 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1



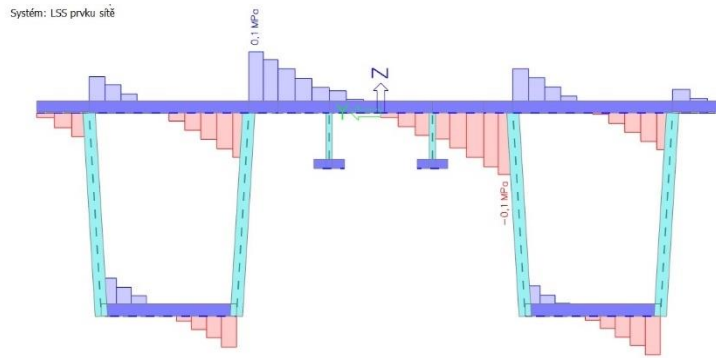
Obrázek 14. Průběh napětí na desce nad polovinou středního pole



Obrázek 15. σ_x ve středním poli

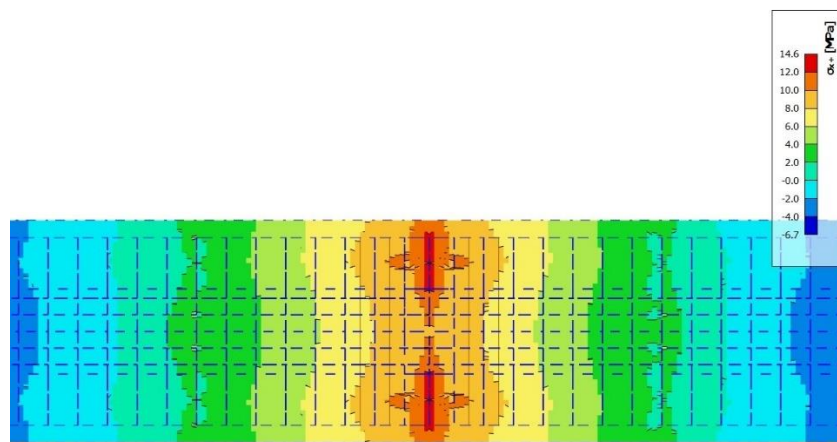


Obrázek 16. τ_{xy} ve středním poli

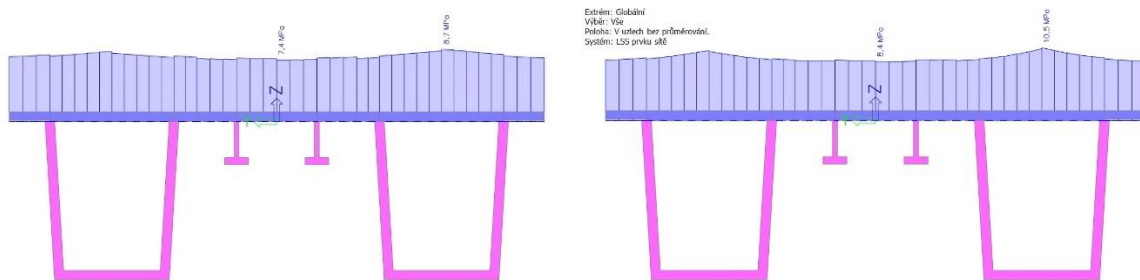


Obrázek 17. τ_{yz} ve středním poli

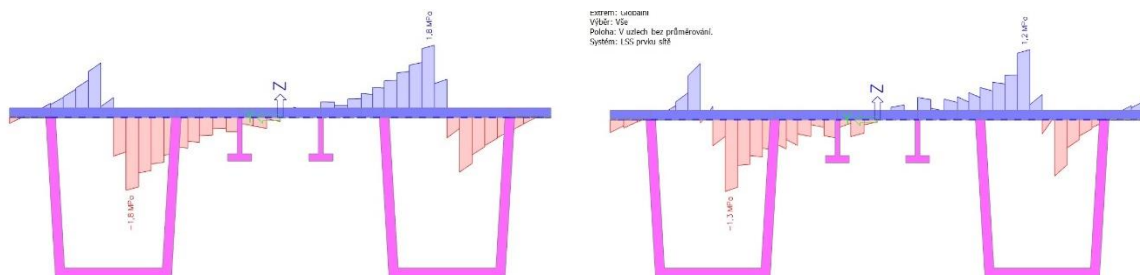
2.5.2 Model „deska s žebry“



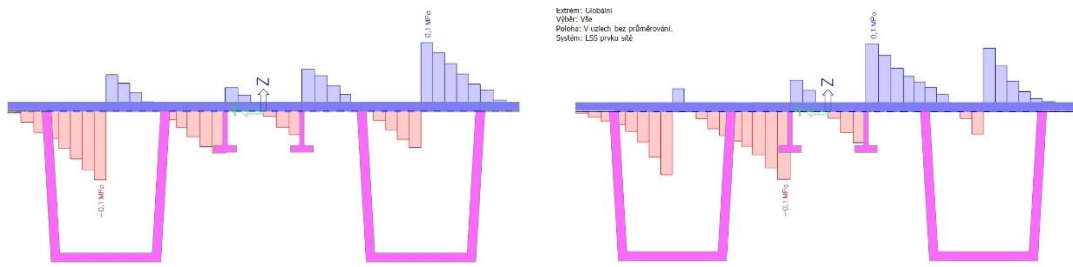
Obrázek 18. Průběh napětí na desce nad pilířem P1



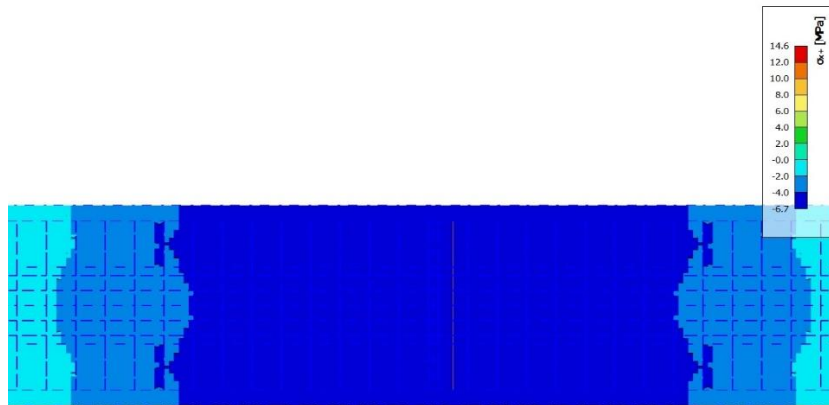
Obrázek 19. σ_x 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1



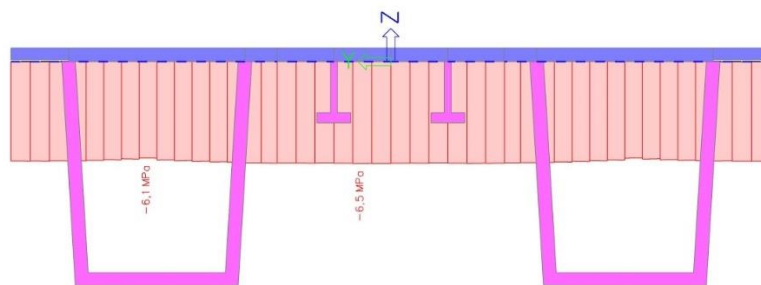
Obrázek 20. τ_{xy} 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1



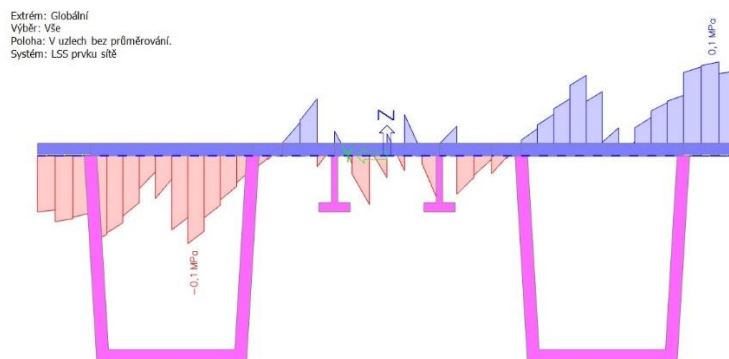
Obrázek 21. τ_{yz} 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1



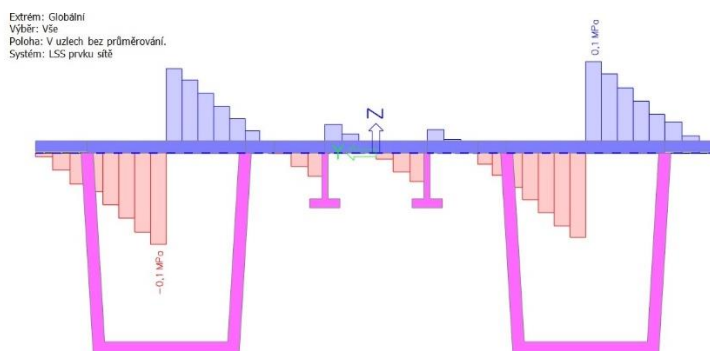
Obrázek 22. Průběh napětí na desce nad polovinou středního pole



Obrázek 23. σ_x ve středním poli



Obrázek 24. τ_{xy} ve středním poli



Obrázek 25. τ_{yz} ve středním poli

Na základě porovnání průběhů normálových a smykových napětí lze konstatovat, že z hlediska namáhání hlavních nosníků v podélném směru poskytuje model typu „deska s žebry“ správné výsledky a je možno tento model použít pro návrh nosné konstrukce.

2.6 PŘEHLED PRŮŘEZOVÝCH CHARAKTERISTIK

Přehled průřezových charakteristik – průřezy s plnou šířkou desek

Řez	A_c	I_c	z_τ	W^h	W^d
	[m ²]	[m ⁴]	[m]	[m ³]	[m ³]
Pole	2,5048	4,34720663	1,945	2,795236	2,235320
Pilíř	2,9192	5,23736144	1,704	2,915541	3,074218
Opěra	3,0692	5,73273805	1,795	3,363106	3,193008

Tabulka 4. Přehled průřezových charakteristik s plnou šířkou desek

(vzhledem k poměrně velkému rozpětí polí a malé dílčí šířce jednotlivých desek se ochabnutí smykem v tomto případě prakticky neprojeví)

3 MATERIÁLY

3.1 BETON

Třída	UHPFRC 160/175
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} = 160,0 \text{ MPa}$
Střední pevnost v tlaku (přibližně)	$f_{cm} = 168,0 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tahu na mezi vzniku trhlin	$f_{ctk,el} = 8,0 \text{ MPa}$
Střední pevnost v tahu na mezi vzniku trhlin	$f_{ctm,el} = 9,0 \text{ MPa}$
Charakteristická „zbytková“ pevnost v tahu po vzniku trhlin	$f_{ctfk} = 7,0 \text{ MPa}$
Střední „zbytková“ pevnost v tahu po vzniku trhlin	$f_{ctfm} = 8,0 \text{ MPa}$
Modul pružnosti (sečnový)	$E_{cm} = 45,0 \text{ GPa}$
Tečnový modul pružnosti	$E_c = 1,05 \cdot 45,0 = 47,250 \text{ GPa}$
Součinitel teplotní délkové roztažnosti	$\alpha = 0,000011 \text{ K}^{-1}$
Objemová tíha	$\gamma = 27,0 \text{ kN/m}^3$

Uvažujeme třídu provádění TT1 - tepelné ošetřování během hydratace (urychluje nárůst pevnosti)

3.2 PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

Uvažujeme volné kabely složené z Monostrandů.

Průměr lana	$\emptyset = 15,7 \text{ mm}^2$
Plocha lana	$A = 150,0 \text{ mm}^2$
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk} = 1860,0 \text{ MPa}$
Charakteristická smluvní mez kluzu 0,1%	$f_{p0,1k} = 1636,8 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_p = 195,0 \text{ GPa}$
Hmotnost lana	$1,18 \text{ kg/m}$

3.3 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Třída	B500B
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{yd} = 438,8 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_p = 200,0 \text{ GPa}$

4 ZATÍŽENÍ

4.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

4.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

Zatížení od vlastní tíhy konstrukce je generováno automaticky ve výpočetním programu. Objemová tíha byla zadána 27 kN/m^3 . Pro vyztužený beton se navyšuje o 1 kN/m^3 .

Při návrhu hlavních nosníků v podélném směru nebyly uvažovány podélníky, jejich tíha byla zadána náhradním liniovým zatížením $g_0 = 4,050 \text{ kN/m}$.

4.1.2 Ostatní stálé zatížení

2x Železobetonová římsa	$2 \cdot 25,0 \cdot 0,330 = 16,500 \text{ kN/m}$
Vodotěsná izolace	$23,0 \cdot 0,005 \cdot (0,7 + 10,9 + 0,7) = 1,415 \text{ kN/m}^2$
Ochrana izolace	$25,0 \cdot 0,05 \cdot 10,9 = 13,625 \text{ kN/m}^2$
Kolejové lože	$20,0 \cdot 6,337 = 126,740 \text{ kN/m}^2$
2 x Pražce	$2 \cdot 4,8 = 9,6 \text{ kN/m}$
4 x Kolejnice	$4 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ kN/m}^2$ x Zábradlí $2 \cdot 0,5 = 1,0 \text{ kN/m}$

Dále jsou hodnoty uváděny pro jednodušší zadávání do programu jako plošná zatížení a liniová zatížení. Kolejové lože, vodotěsná a ochrana izolace jako jedno plošné a pražce s kolejnicemi jsou přepočteny na zatěžovací pásy o šířce 3,0 m. Římsa a zábradlí tvoří na hranách konstrukce liniové zatížení.

4.1.2.1 Střední hodnota

$(g-g_0)_m$

Kolejové lože, vodotěsná izolace a ochrana	$12,660 \text{ kN/m}^2$
Železobetonová římsa a zábradlí	$8,750 \text{ kN/m}$
Pražce a kolejnice	$2,000 \text{ kN/m}^2$

4.1.2.2 Horní charakteristická hodnota

$(g-g_0)_{k,sup}$

Kolejové lože, vodotěsná izolace a ochrana	$16,325 \text{ kN/m}^2$
Železobetonová římsa a zábradlí	$8,750 \text{ kN/m}$
Pražce a kolejnice	$2,000 \text{ kN/m}^2$

4.1.2.3 Dolní charakteristická hodnota

$(g-g_0)_{k,inf}$

Kolejové lože, vodotěsná izolace a ochrana	12,660 kN/m ²
Železobetonová římsa a zábradlí	8,750 kN/m
Pražce a kolejnice	2,000 kN/m ²

4.1.2.4 „Rozdíly“ ostatního stálého zatížení

$(g-g_0)_{k,sup} - (g-g_0)_m$

Kolejové lože, vodotěsná izolace a ochrana	3,665 kN/m ²
Železobetonová římsa a zábradlí	0,000 kN/m
Pražce a kolejnice	0,000 kN/m ²

$(g-g_0)_{k,inf} - (g-g_0)_m$

Kolejové lože, vodotěsná izolace a ochrana	-3,665 kN/m ²
Železobetonová římsa a zábradlí	0,000 kN/m
Pražce a kolejnice	0,000 kN/m ²

4.1.3 Nerovnoměrné poklesy podpor

Pro poklesy podpor byly vytvořeny 4 zatěžovací stavy, kde je v každém stavu uvažován pokles 5 mm na jedné podpoře.

4.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

4.2.1 Zatížení dopravou

4.2.1.1 Zatížení dopravou – Model LM71

Model zatížení LM71 představuje svislé účinky běžné železniční dopravy na konstrukci. Skládá se z liniového zatížení $q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$ a čtyř osamělých sil $Q_{vk} = 250 \text{ kN}$ v jedné koleji. Zatížení je nutno přenásobit součinitelem α , který zohledňuje výskyt těžší nebo lehčí železniční dopravy. Zde se uvažuje trať druhé třídy – uvažujeme $\alpha = 1,21$. Zatížení bylo zadáno pojezdem na obou kolejích s krokem 2,0 m. Zatížení bylo přepočteno na zatěžovací pás o šířce 3 m a rozděleno na plošné (od spojitého rovnoměrného zatížení 80 kN/m) a plošný přírůstek od roznesených čtyř nápravových sil.

$$\alpha \cdot q_{vk} / 3,0 = 1,21 \cdot 80,0 / 3,0 \approx 32,270 \text{ kN/m}^2$$

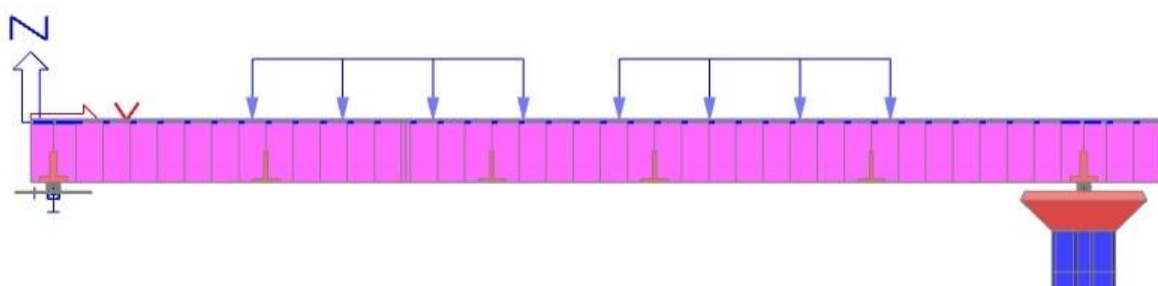
$$\alpha \cdot 4 \cdot Q_{vk} / 6,4 / 3,0 = 1,21 \cdot 4 \cdot 250,0 / 6,4 / 3,0 \approx 63,025 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{rozdíl} \approx 30,755 \text{ kN/m}^2$$

4.2.1.2 Zatížení dopravou – Model SW/0

Model zatížení SW/0 představuje svislé účinky běžné železniční dopravy na spojitou konstrukci. Skládá se ze dvou liniových zatížení $q_{vk} = 133,0 \text{ kN/m}$ o délce $a = 15,0 \text{ m}$, ve vzájemné vzdálenosti $c = 5,3 \text{ m}$. Zatížení je taktéž nutno přenásobit součinitelem α . Zatížení bylo opět přepočteno na zatěžovací pás o šířce 3 m. Zatížení bylo zadáno jako pohyblivé s krokem 2,0 m na každou kolej.

$$\alpha \cdot q_{vk} / 3,0 = 1,21 \cdot 133,0 / 3,0 \approx 53,645 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 26. Schéma zatížení SW/0

4.2.1.3 Excentricita zatížení dopravou

Zatížení bylo zadáno s excentricitou 80 mm na kolej pro dosažení nejméně příznivých účinků.

4.2.1.4 Dynamické účinky

Dynamické účinky na konstrukci byly zohledněny pomocí dynamického součinitele, který byl následně použit při výpočtu kombinací vnitřních sil.

$$L_m = 1/3 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 1/3 \cdot (57,0 + 75,0 + 57,0) = 63,0 \text{ m}$$

$$L_\varphi = k \cdot L_m = 1,3 \cdot 63,0 = 81,9 \text{ m}$$

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\varphi} - 0,2} + 0,82 = 0,983$$

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\varphi} - 0,2} + 0,73 = 0,974$$

$$1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67; \Phi_2 = 1,000$$

$$1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00; \Phi_3 = 1,000$$

4.2.2 Zatížení teplotou

Konstrukce byla vystavena lineární rozdílové složce teploty. Průběh je lineární po celé výšce průřezu. Zadává se rozdíl mezi horním a dolním povrchem.

Následující hodnoty byly pro zatěžovací stavy stavební a provozní přenásobeny součinitelem k_{sur} .

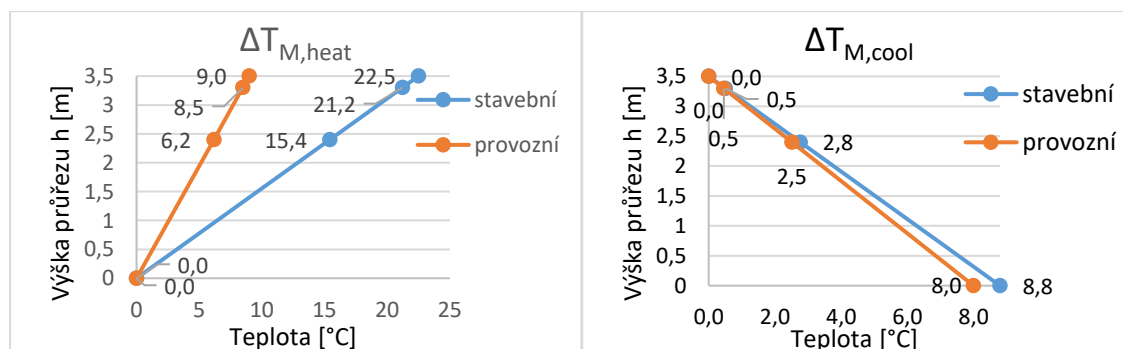
k_{sur}		
Stav	$\Delta T_{M,heat}$	$\Delta T_{M,cool}$
Stavební stav bez izolace	0,8	1,1
Stavební stav s izolace	1,5	1,0
Provozní stav	0,6	1,0

Tabulka 5. Součinitel k_{sur}

Příslušné hodnoty teploty byly zadány na horní a dolní povrch žebra i desky. Obdobně byly hodnoty teploty zadány i na příčnický.

Zatížení bylo zadáno ve čtyřech zatěžovacích stavech.

$$\Delta T_{heat} = 15 \text{ °C}; \Delta T_{cool} = 8 \text{ °C}$$



Obrázek 27. Průběh teploty po výšce průřezu

4.2.3 Staveništní zatížení

V průběhu výstavby byla uvažována tíha montovaných segmentů a použitého jeřábu (viz další kapitoly tohoto výpočtu). Kromě toho bylo uvažováno staveništní zatížení, a to hodnotou 1 kN/m^2 konstrukce. Byly vytvořeny tři zatěžovací stavy. Zatíženo bylo 1. a 3. pole, 2. pole a 1. a 2. pole.

4.2.4 Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo spočteno obecnou metodou na 1 m délky konstrukce podle 7).

Kategorie terénu II

Základní rychlost větru

$$v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$$

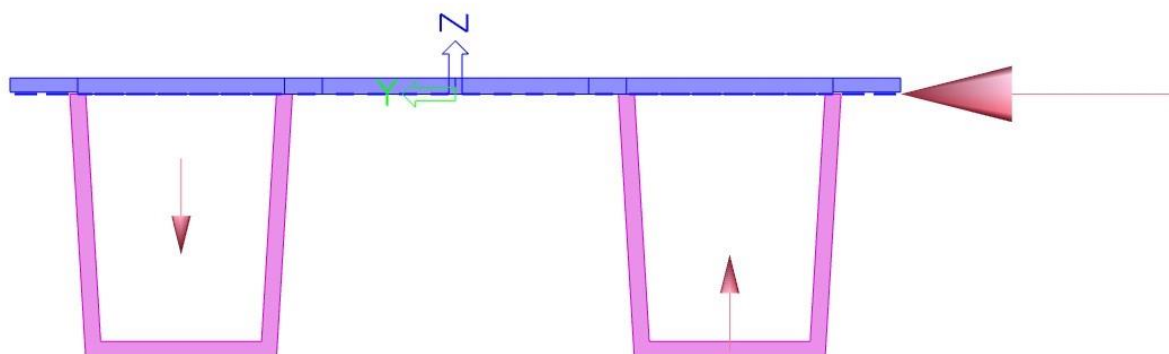
Nezatížený most

$$f_w = 10,107 \text{ kN/m}$$

Zatížený most

$$f_w = 20,342 \text{ kN/m}$$

Na model bylo zatížení zadáno jako příčná síla v úrovni mostovky. Krouťící účinky, které vyplývají z umístění výslednice zatížení větrem, byly zadány pomocí dvojice svislých zatížení působících v osách komorových nosníků.



Obrázek 28. Schéma zatížení větrem

4.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

4.3.1 Mezní stavy únosnosti

Pro sestavení kombinací zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace byly použity rovnice 6.10, 6.10a a 6.10b z 5).

$$6.10 \quad \Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10a \quad \Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10b \quad \Sigma \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Sestaveny byly pro stavební a provozní stav. Jako hlavní proměnné zatížení v provozním stavu se uvažovalo zatížení dopravou a teplotou a ve stavebním stavu zatížení teplotou a staveništní.

Kombinace byly sestaveny bez vlastní tíhy nosné konstrukce, z ostatního stálého zatížení byly uvažovány pouze „přírůstky“. Vlastní tíha nosné konstrukce a střední hodnota ostatního stálého zatížení byly připočítány hodnotami, které byly zjištěny v rámci výpočtu účinků letmé montáže a redistribuce vnitřních sil.

4.3.2 Mezní stavy použitelnosti

Pro posouzení v mezních stavech použitelnosti v provozním stavu byla použita charakteristická, častá a kvazistálá kombinace. Pro stavební stavy charakteristická a kvazistálá.

$$\text{Charakteristická} \quad \Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\text{Častá} \quad \Sigma G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$\text{Kvazistálá} \quad \Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

V následujících tabulkách je uveden rozpis součinitelů uvažovaných při sestavování kombinací.

Rovnice 6.10: $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g ₀		(g-g ₀)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1,35	-	1,35	-	1,2	-	1,21	1	1,45	-	-	1,21	1	1,45	-	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,350		1,200		1,450					1,450					0,900				1,125		

Hl. proměnné zatížení: Tk

g ₀		(g-g ₀)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1,35	-	1,35	-	1,2	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,350		1,200		1,160					1,160					1,500				1,125		

Rovnice 6.10a: $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g ₀		(g-g ₀)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1,35	-	1,35	-	1,2	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,350		1,200		1,160					1,160					0,900				1,125		

Hl. proměnné zatížení: Tk

g ₀		(g-g ₀)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1,35	-	1,35	-	1,2	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,350		1,200		1,160					1,160					0,900				1,125		

Rovnice 6.10b: $\sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g ₀		(g-g ₀)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1,35	0,85	1,35	0,85	1,2	0,85	1,21	1	1,45	-	-	1,21	1	1,45	-	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
1,148		1,148		1,020		1,450					1,450					0,900				1,125		

Hl. proměnné zatížení: Tk

g ₀		(g-g ₀)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	α	Φ ₃	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1,35	0,85	1,35	0,85	1,2	0,85	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
1,148		1,148		1,020		1,160					1,160					1,500				1,125		

Tabulka 6. MSU, max - Provozní stav

Rovnice 6.10: $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g _o		(g-g _o)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	g _o	ψ _o	ψ ₁	ψ ₂	g _o	ψ _o	ψ ₁
1	-	1	-	1,2	-	1,21	1	1,45	-	-	1,21	1	1,45	-	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,000		1,200		1,450					1,450					0,900				1,125		

Hl. proměnné zatížení: Tk

g _o		(g-g _o)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	g _o	ψ _o	ψ ₁	ψ ₂	g _o	ψ _o	ψ ₁
1	-	1	-	1,2	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,000		1,200		1,160					1,160					1,500				1,125		

Rovnice 6.10a: $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g _o		(g-g _o)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	g _o	ψ _o	ψ ₁	ψ ₂	g _o	ψ _o	ψ ₁
1	-	1	-	1,2	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,000		1,200		1,160					1,160					0,900				1,125		

Hl. proměnné zatížení: Tk

g _o		(g-g _o)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	g _o	ψ _o	ψ ₁	ψ ₂	g _o	ψ _o	ψ ₁
1	-	1	-	1,2	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,000		1,200		1,160					1,160					0,900				1,125		

Rovnice 6.10b: $\sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g _o		(g-g _o)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	g _o	ψ _o	ψ ₁	ψ ₂	g _o	ψ _o	ψ ₁
1	0,85	1	0,85	1,2	0,85	1,21	1	1,45	-	-	1,21	1	1,45	-	-	1,5	0,6	-	-	1,5	0,75	-
0,850		0,850		1,020		1,450					1,450					0,900				1,125		

Hl. proměnné zatížení: Tk

g _o		(g-g _o)Δ		Poklesy		α.LM71					α.SW/0					Zatížení teplotou T _k				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	α	Φ ₃	g _o	ψ _o	ψ ₁	g _o	ψ _o	ψ ₁	ψ ₂	g _o	ψ _o	ψ ₁
1	0,85	1	0,85	1,2	0,85	1,21	1	1,45	0,8	-	1,21	1	1,45	0,8	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
0,850		0,850		1,020		1,160					1,160					1,500				1,125		

Tabulka 7. MSU, min - Provozní stav

Charakteristická: $\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g_0		$(g-g_0)\Delta$		Poklesy		$\alpha.LM71$					$\alpha.SW/O$					Zatížení teplotou T_k				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	g_Q	Ψ_0	Ψ_1
1	-	1	-	1	-	1,21	1	1	-	-	1,21	1	1	-	-	1	0,6	-	-	1	0,75	-
1,000		1,000		1,000		1,000					1,000					0,600				0,750		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_0		$(g-g_0)\Delta$		Poklesy		$\alpha.LM71$					$\alpha.SW/O$					Zatížení teplotou T_k				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	g_Q	Ψ_0	Ψ_1
1	-	1	-	1	-	1,21	1	1	0,8	-	1,21	1	1	0,8	-	1	-	-	-	1	0,75	-
1,000		1,000		1,000		0,800					0,800					1,000				0,750		

Častá: $\Sigma G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g_0		$(g-g_0)\Delta$		Poklesy		$\alpha.LM71$					$\alpha.SW/O$					Zatížení teplotou T_k				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	g_Q	Ψ_0	Ψ_1
1	-	1	-	1	-	1,21	1	1	0,8	-	1,21	1	1	0,8	-	1	-	-	0,5	1	-	-
1,000		1,000		1,000		0,800					0,800					0,500				0,000		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_0		$(g-g_0)\Delta$		Poklesy		$\alpha.LM71$					$\alpha.SW/O$					Zatížení teplotou T_k				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	g_Q	Ψ_0	Ψ_1
1	-	1	-	1	-	1,21	1	1	-	-	1,21	1	1	-	-	1	-	0,6	-	1	-	-
1,000		1,000		1,000		0,000					0,000					0,600				0,000		

Kvazistálá: $\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Doprava

g_0		$(g-g_0)\Delta$		Poklesy		$\alpha.LM71$					$\alpha.SW/O$					Zatížení teplotou T_k				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	g_Q	Ψ_0	Ψ_1
1	-	1	-	1	-	1,21	1	1	-	-	1,21	1	1	-	-	1	-	-	0,5	1	-	-
1,000		1,000		1,000		0,000					0,000					0,500				0,000		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_0		$(g-g_0)\Delta$		Poklesy		$\alpha.LM71$					$\alpha.SW/O$					Zatížení teplotou T_k				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	α	Φ_3	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	g_Q	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	g_Q	Ψ_0	Ψ_1
1	-	1	-	1	-	1,21	1	1	-	-	1,21	1	1	-	-	1	-	-	0,5	1	-	-
1,000		1,000		1,000		0,000					0,000					0,500				0,000		

Tabulka 8. MSP - Provozní stav

Rovnice 6.10: $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1,35	-	1,2	-	1,5	0,6	-	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,200		0,900				1,500				1,125		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1,35	-	1,2	-	1,5	-	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,200		1,500				1,500				1,125		

Rovnice 6.10a: $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1,35	-	1,2	-	1,5	0,6	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,200		0,900				1,500				1,125		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1,35	-	1,2	-	1,5	0,6	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
1,350		1,200		0,900				1,500				1,125		

Rovnice 6.10b: $\sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1,35	0,85	1,2	0,85	1,5	0,6	-	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
1,148		1,020		0,900				1,500				1,125		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1,35	0,85	1,2	0,85	1,5	-	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
1,148		1,020		1,500				1,500				1,125		

Tabulka 9. MSU, max - Stavební stav

Rovnice 6.10: $\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1	-	1,2	-	1,5	0,6	-	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,200		0,900				1,500				1,125		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1	-	1,2	-	1,5	-	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,200		1,500				1,500				1,125		

Rovnice 6.10a: $\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1	-	1,2	-	1,5	0,6	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,200		0,900				1,500				1,125		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1	-	1,2	-	1,5	0,6	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
1,000		1,200		0,900				1,500				1,125		

Rovnice 6.10b: $\Sigma \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1	0,85	1,2	0,85	1,5	0,6	-	-	1,5	-	-	-	1,5	0,75	-
0,850		1,020		0,900				1,500				1,125		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g_o		Poklesy		Zatížení teplotou T_k				Staveništní zatížení Q_c				F_{wk}		
$g_{G,sup}$	ξ_G	$g_{G,set}$	ξ_G	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1	ψ_2	g_Q	ψ_0	ψ_1
1	0,85	1,2	0,85	1,5	-	-	-	1,5	1	-	-	1,5	0,75	-
0,850		1,020		1,500				1,500				1,125		

Tabulka 10. MSU, min - Stavební stav

Charakteristická: $\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g _o		Poklesy		Zatížení teplotou T _k				Staveništní zatížení Q _c				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1	-	1	-	1	0,6	-	-	1	-	-	-	1	0,75	-
1,000		1,000		0,600				1,000				0,750		

Hl. proměnné zatížení: T_k

g _o		Poklesy		Zatížení teplotou T _k				Staveništní zatížení Q _c				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1	-	1	-	1	-	-	-	1	1	-	-	1	0,75	-
1,000		1,000		1,000				1,000				0,750		

Kvazistálá: $\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Hl. proměnné zatížení: Q_c

g _o		Poklesy		Zatížení teplotou T _k				Staveništní zatížení Q _c				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1	-	1	-	1	-	-	0,5	1	1	-	-	-	-	-
1,000		1,000		0,500				1,000				0,000		

Hl. proměnné zatížení: T_k

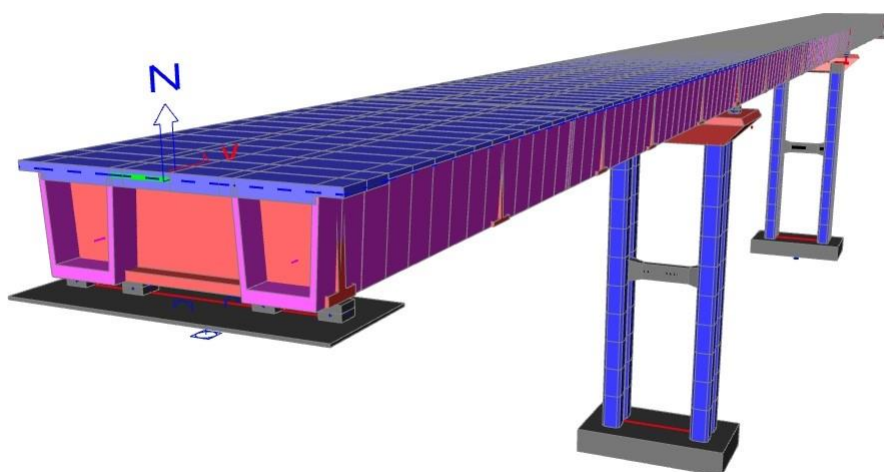
g _o		Poklesy		Zatížení teplotou T _k				Staveništní zatížení Q _c				F _{wk}		
g _{G,sup}	ξ _G	g _{G,set}	ξ _G	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	g _Q	ψ ₀	ψ ₁
1	-	1	-	1	-	-	0,5	1	1	-	-	-	-	-
1,000		1,000		0,500				1,000				0,000		

Tabulka 11. MSP - Stavební stav

5 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

5.1 ÚVOD

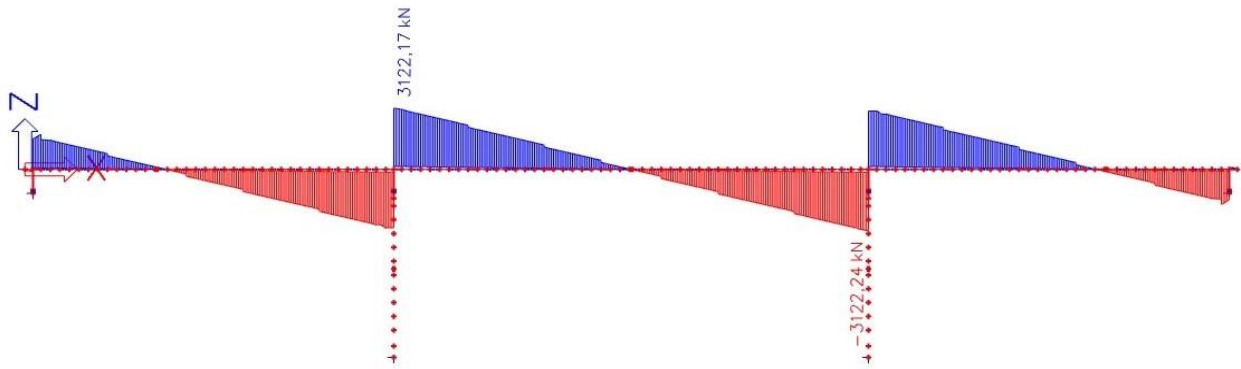
Vnitřní síly jsou spočítány v programu SCIA Engineer na modelu „deska s žebry“. Bylo vytvořeno celkem 537 zatěžovacích stavů, které byly zařazeny do výběrových skupin zatížení, do tříd a do kombinací. Průběhy vnitřních sil jsou vykresleny na jednom hlavním komorovém nosníku.



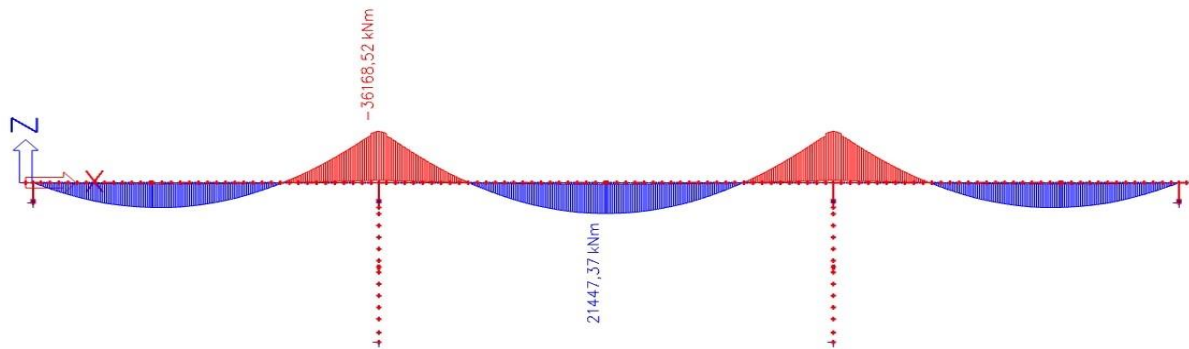
Obrázek 29. Výpočetní model („deska s žebry“)

5.2 VNITŘNÍ SÍLY OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

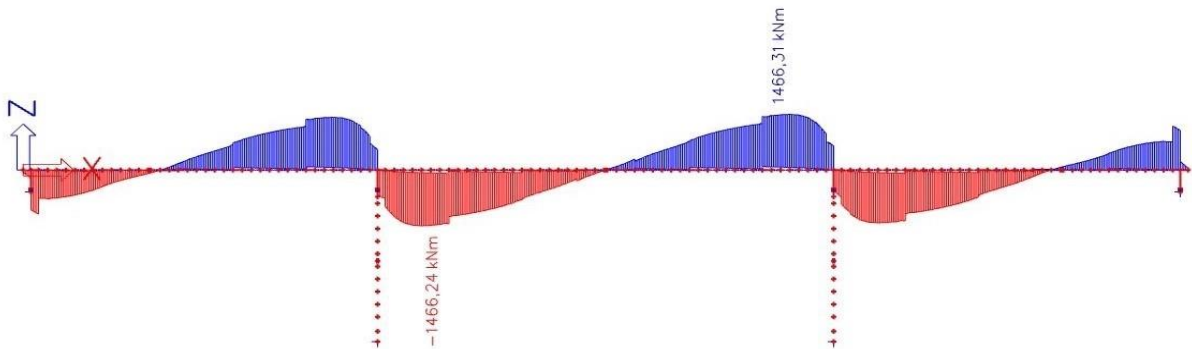
Vlastní tíha nosné konstrukce g_0 (zde jako při betonáži „vcelku na skruži“)



Obrázek 30. Vz vlastní tíha nosné konstrukce g_0

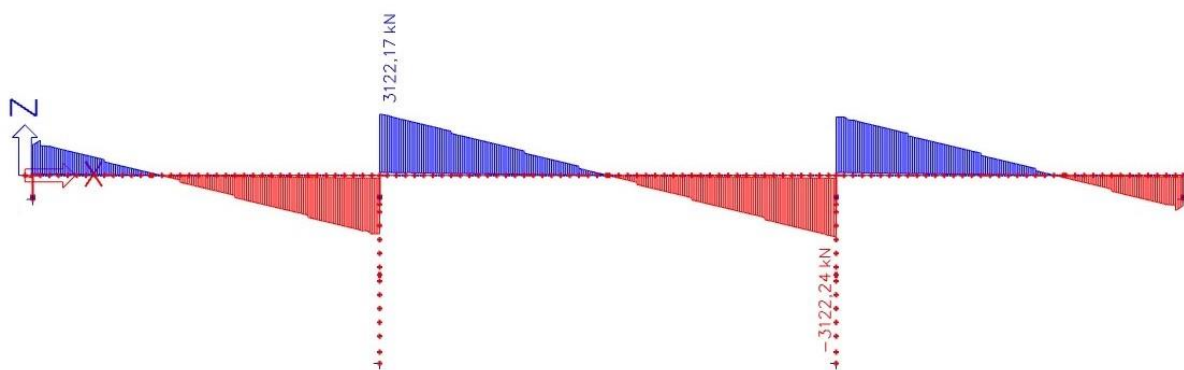


Obrázek 31. My vlastní tíha nosné konstrukce g_0

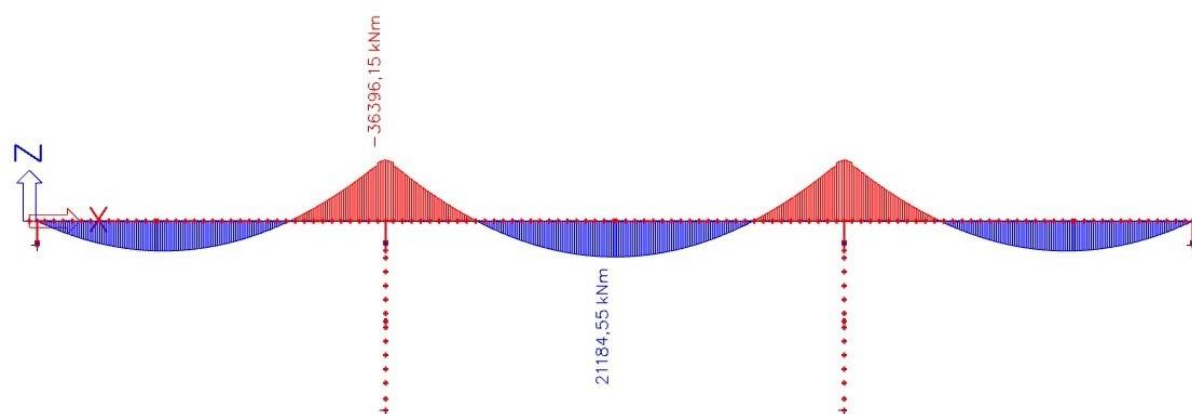


Obrázek 32. M_x vlastní tíha nosné konstrukce g_0

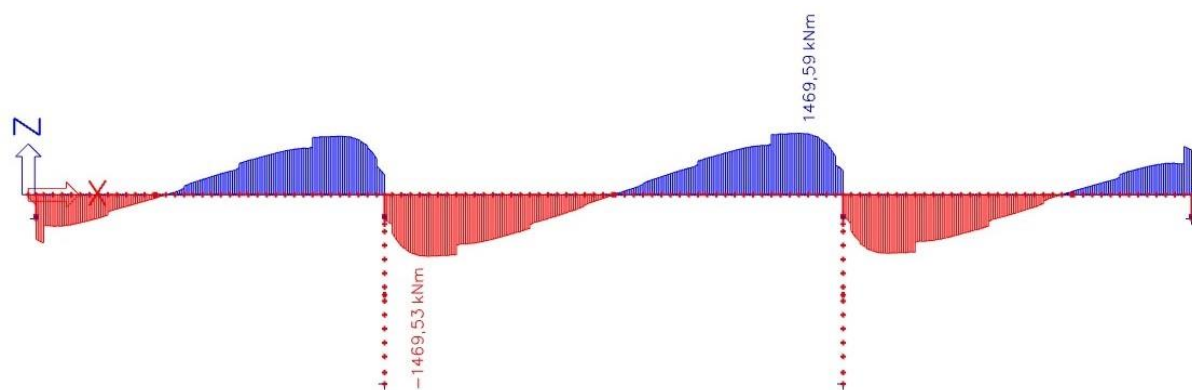
5.2.1 Ostatní stálé zatížení (g-g₀)



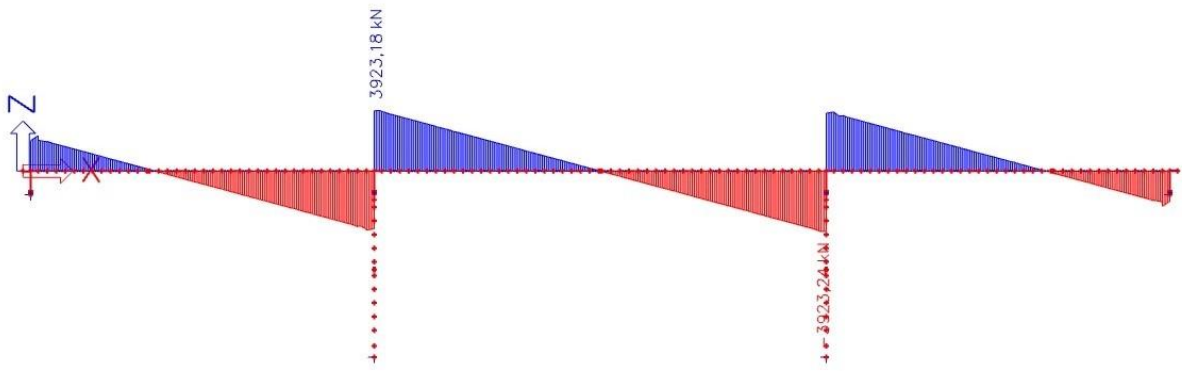
Obrázek 33. V_y (g-g₀)m



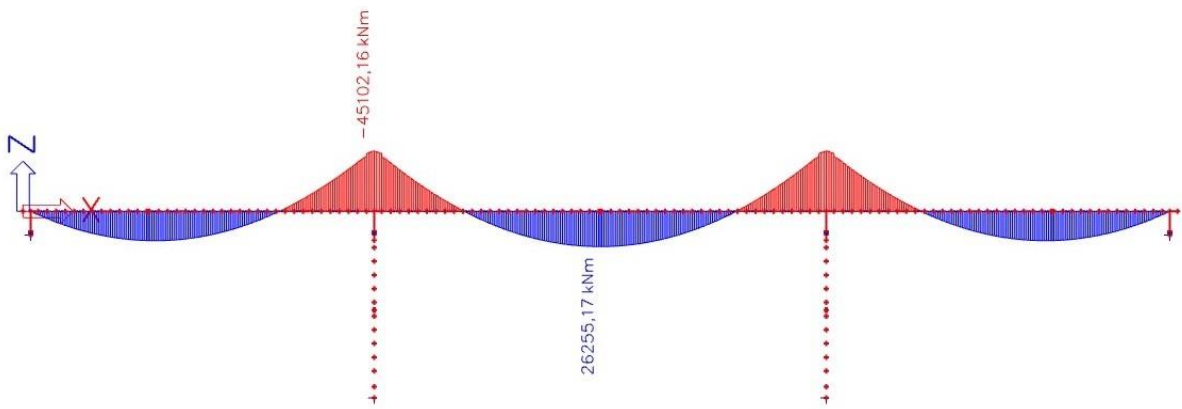
Obrázek 34. M_y (g-g₀)m



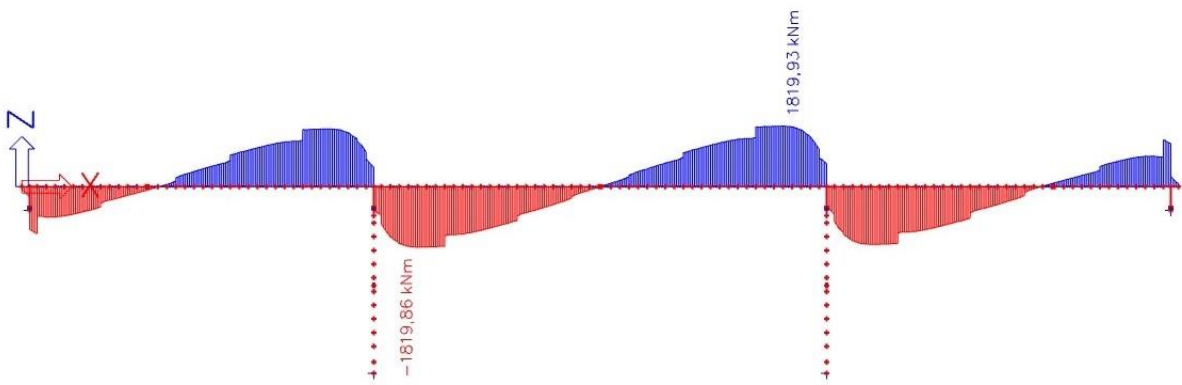
Obrázek 35. M_x (g-g₀)m



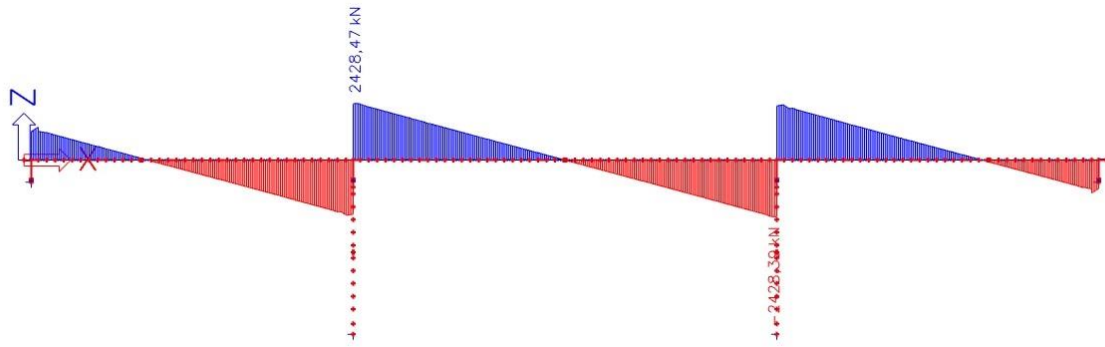
Obrázek 36. $V_z (g-g_0)k,sup$



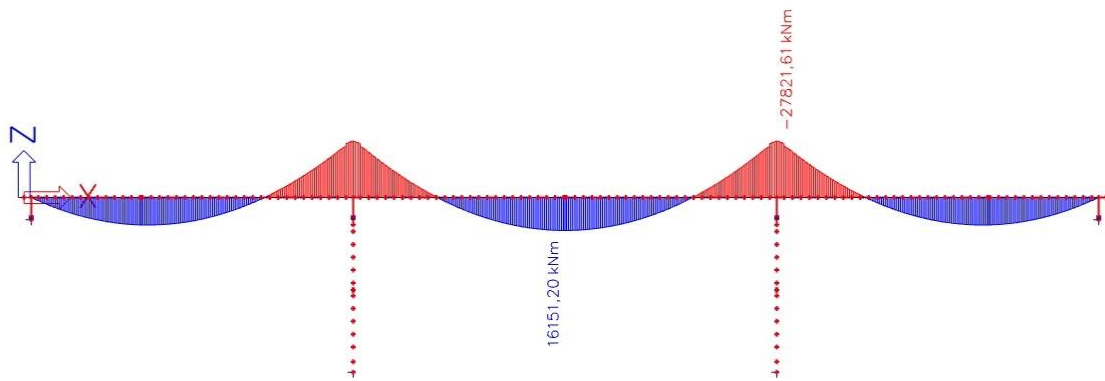
Obrázek 37. $M_y (g-g_0)k,sup$



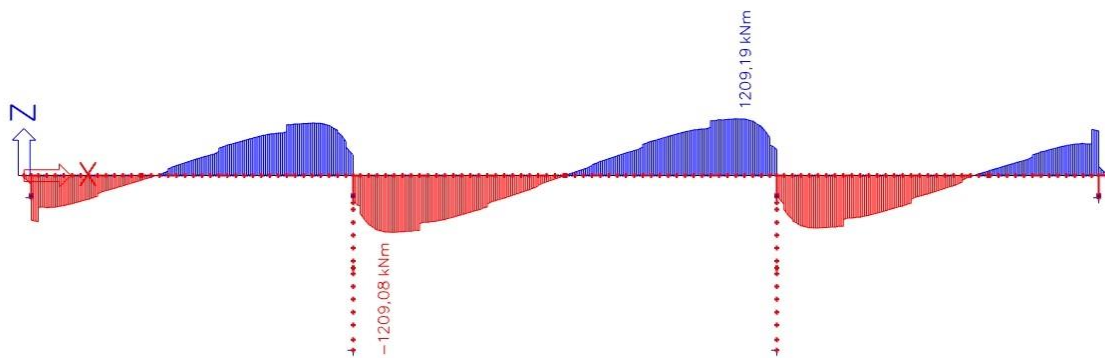
Obrázek 38. $M_x (g-g_0)k,sup$



Obrázek 39. $V_z (g-g_0)k,inf$

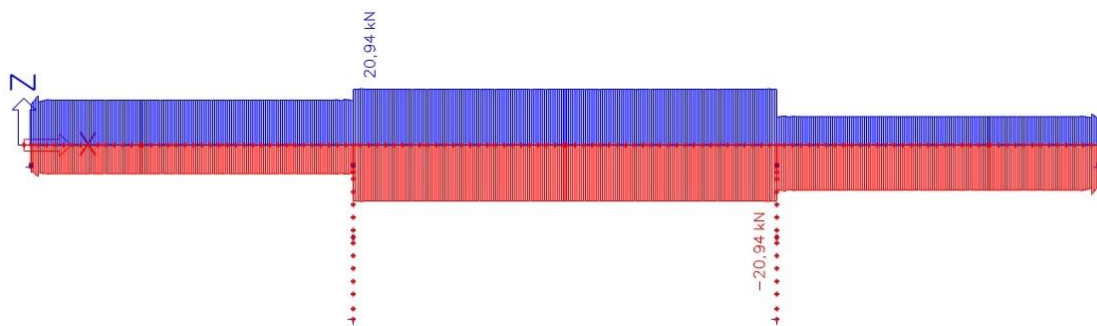


Obrázek 40. $M_y (g-g_0)k,inf$

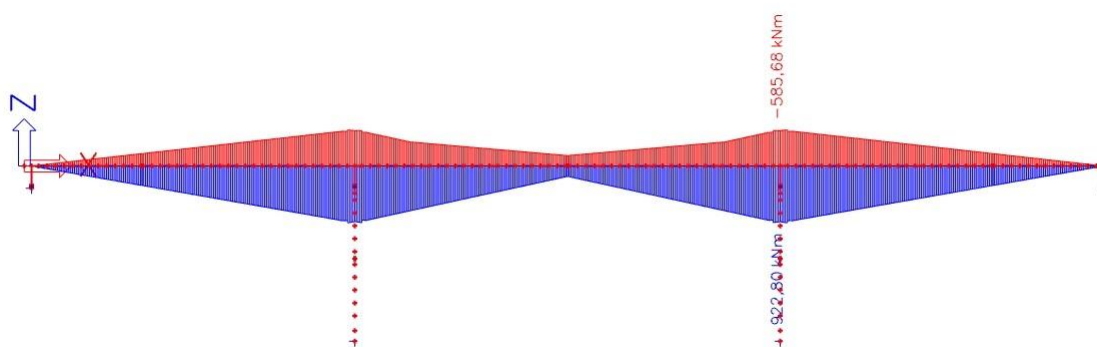


Obrázek 41. $M_x (g-g_0)k,inf$

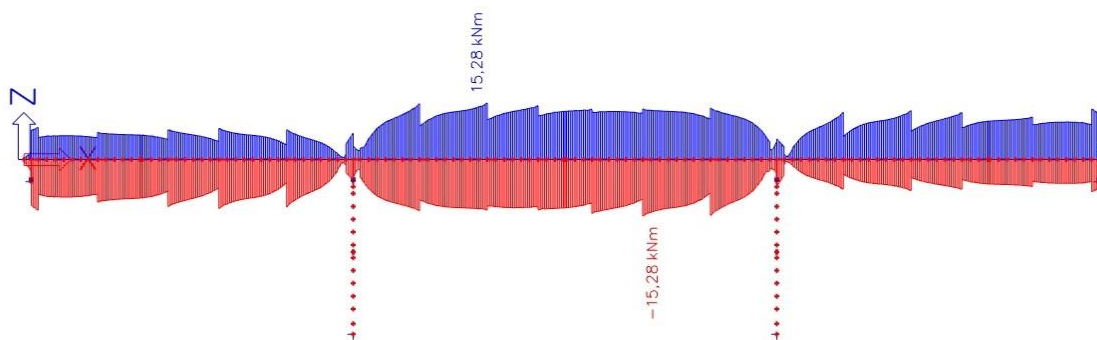
5.2.2 Nerovnoměrné poklesy podpor



Obrázek 42. V_z nerovnoměrné poklesy podpor



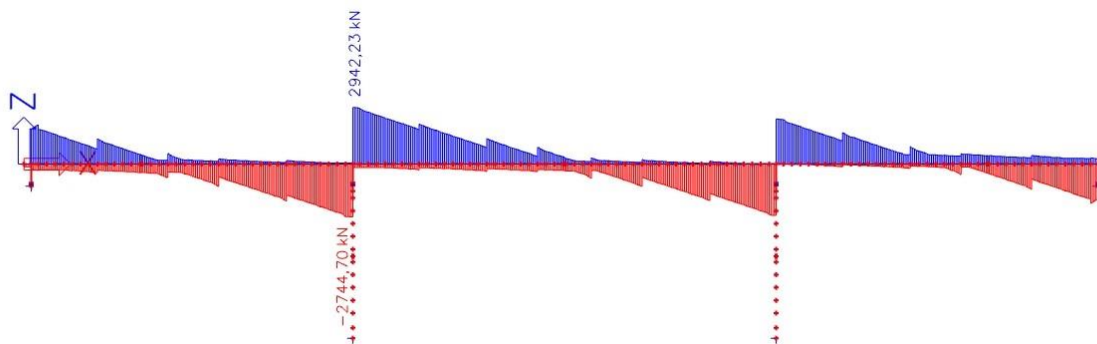
Obrázek 43. M_y nerovnoměrné poklesy podpor



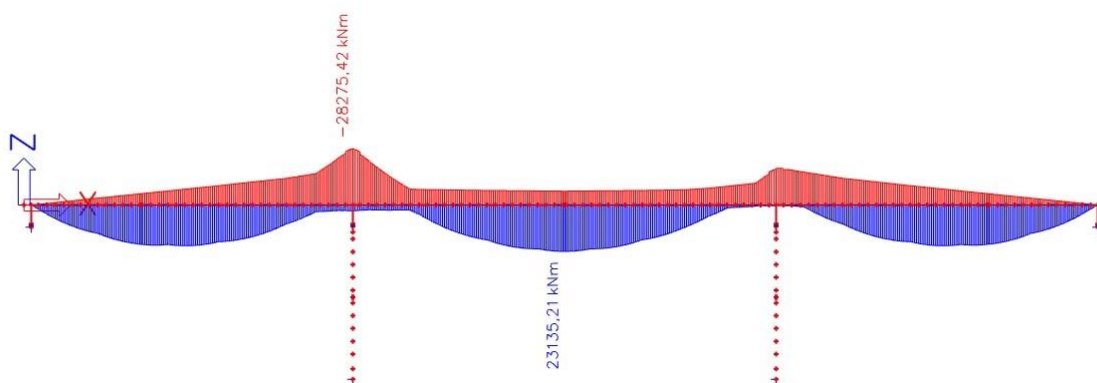
Obrázek 44. M_x nerovnoměrné poklesy podpor

5.3 VNITŘNÍ SÍLY OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

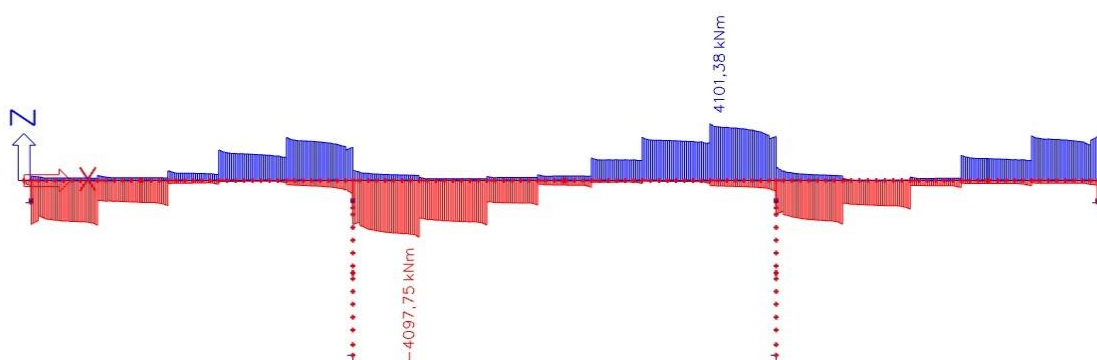
5.3.1 Model zatížení LM71



Obrázek 45. V_z LM71

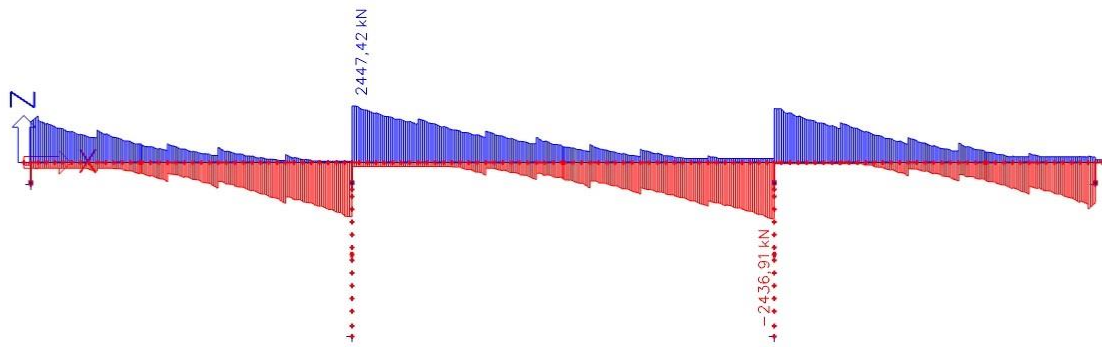


Obrázek 46. M_y LM71

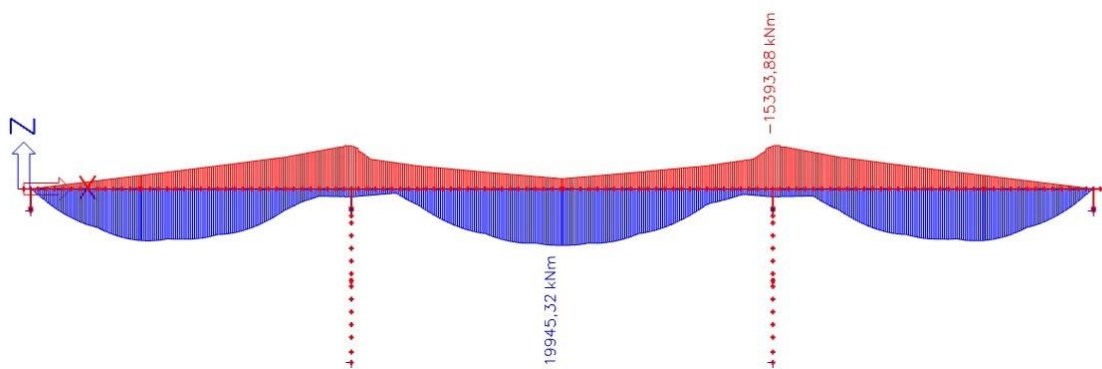


Obrázek 47. M_x LM71

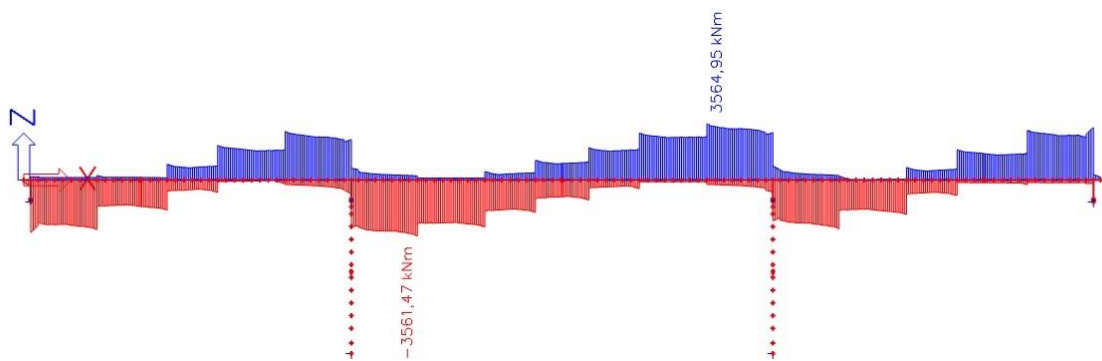
5.3.2 Model zatížení SW/0



Obrázek 48. V_z SW/0

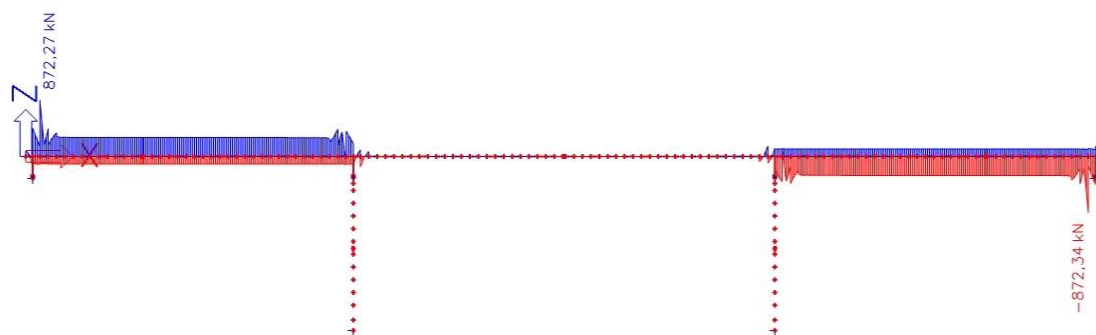


Obrázek 49. M_y SW/0

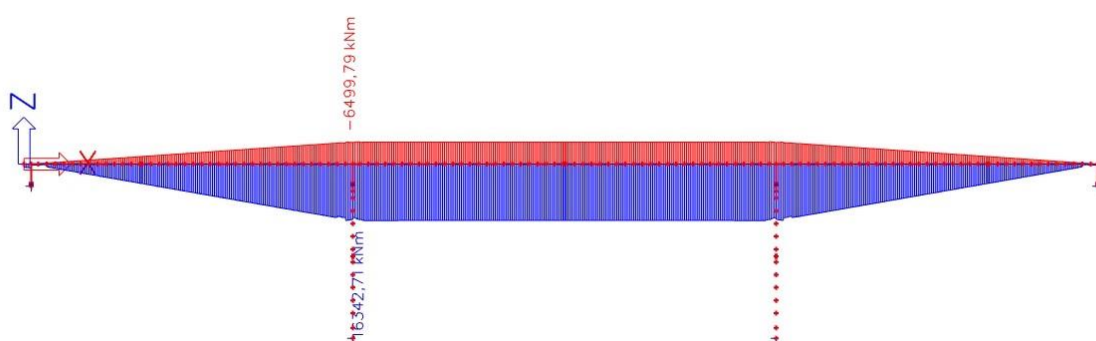


Obrázek 50. M_x SW/0

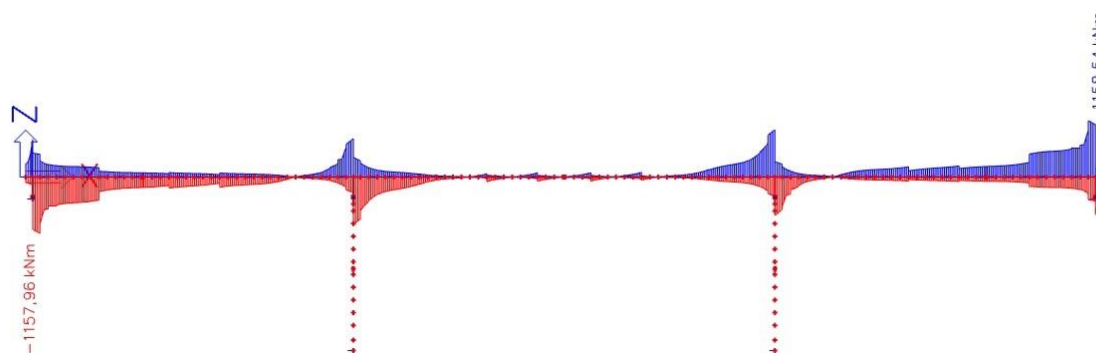
5.3.3 Zatížení teplotními účinky



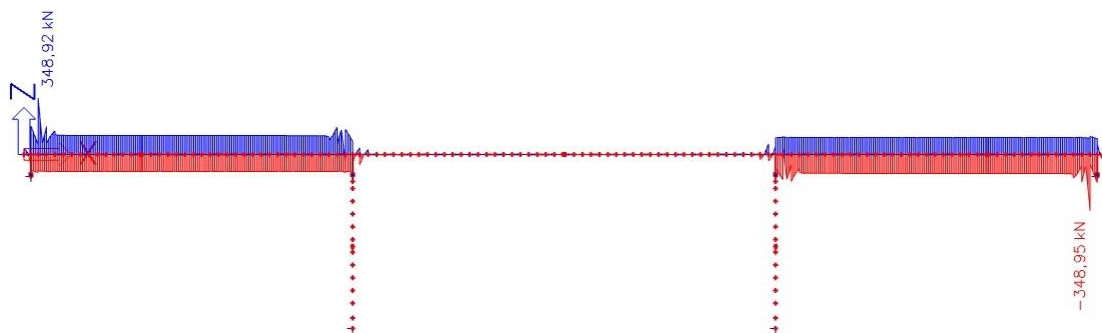
Obrázek 51. Vz Tk – stavební



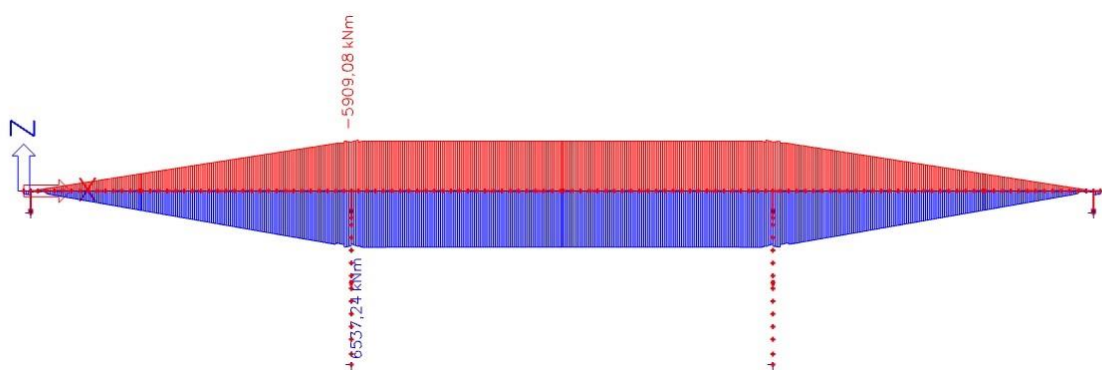
Obrázek 52. My Tk – stavební



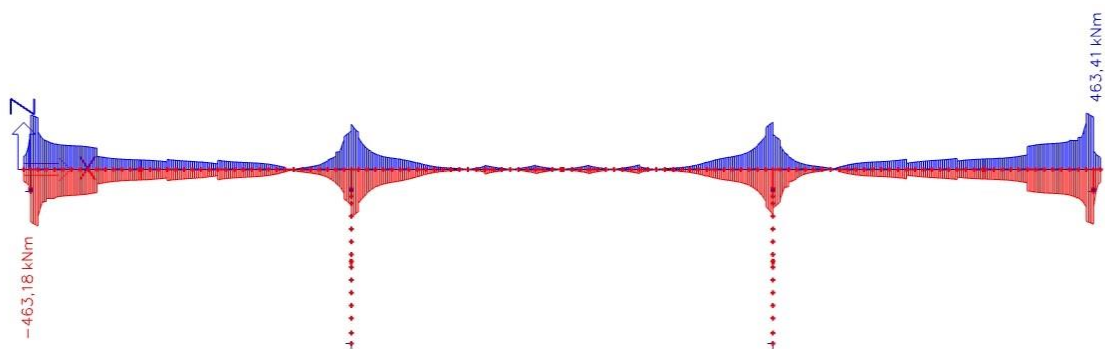
Obrázek 53. Mx Tk - stavební



Obrázek 54. Vz Tk – provozní

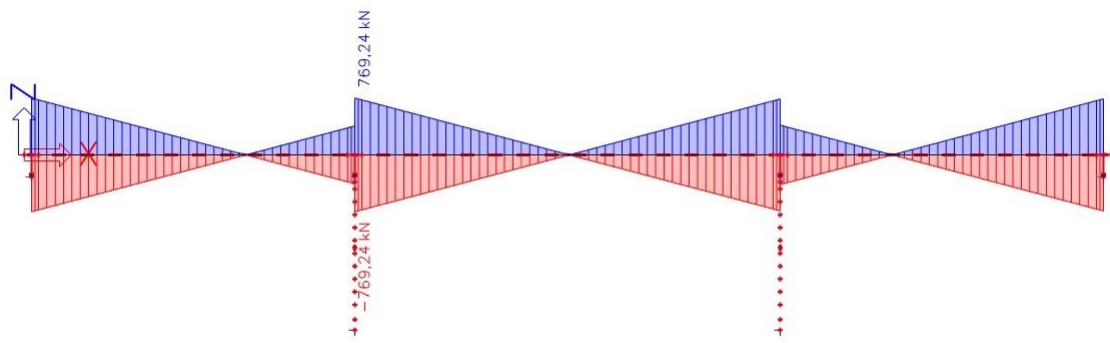


Obrázek 55. My Tk – provozní

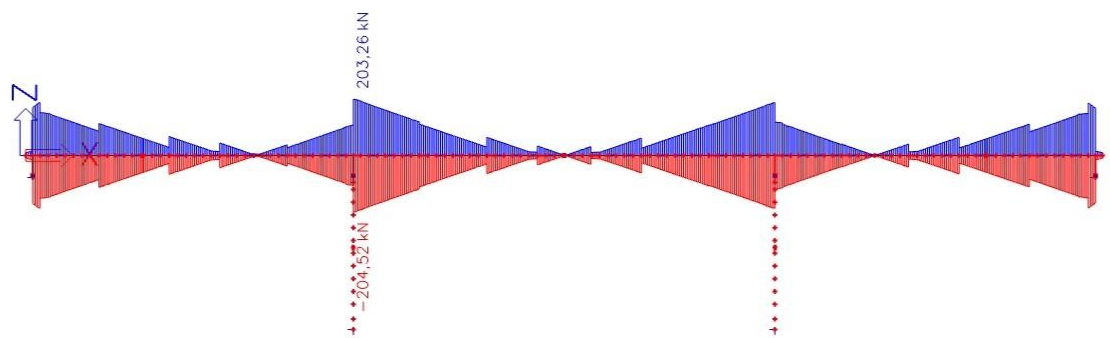


Obrázek 56. Mx Tk - provozní

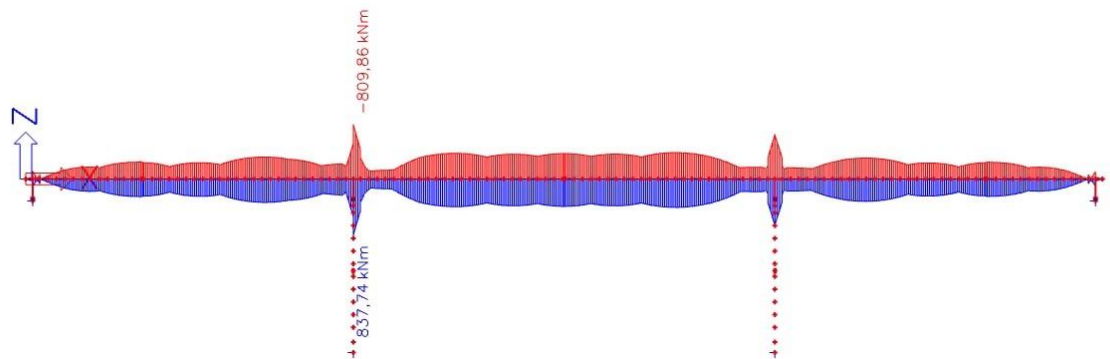
5.3.4 Zatížení větrem



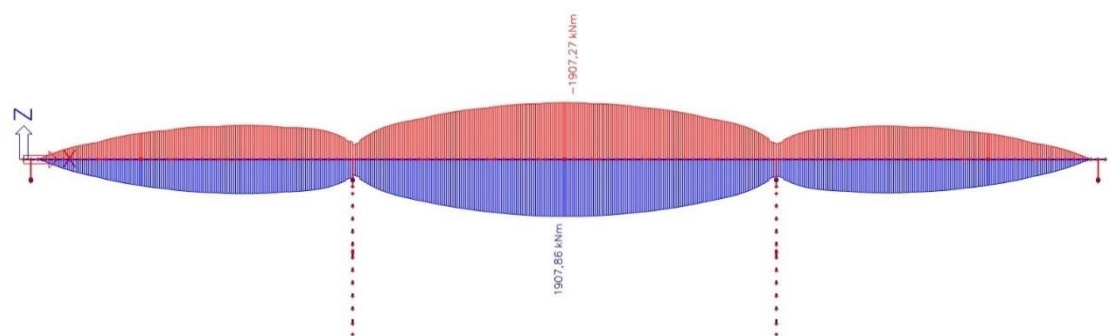
Obrázek 57. V_y Fwk



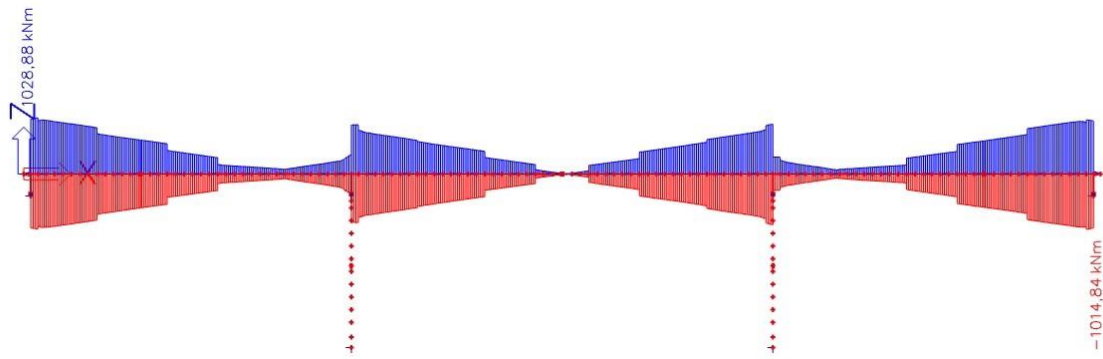
Obrázek 58. V_z Fwk



Obrázek 59. M_y Fwk

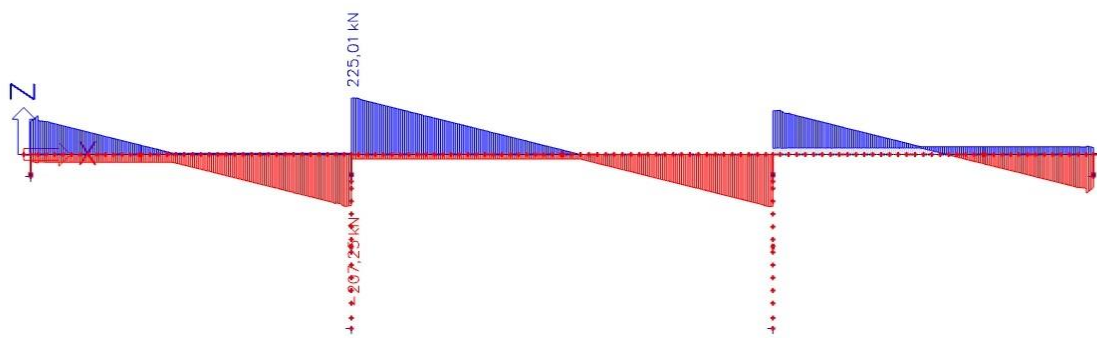


Obrázek 60. M_z Fwk

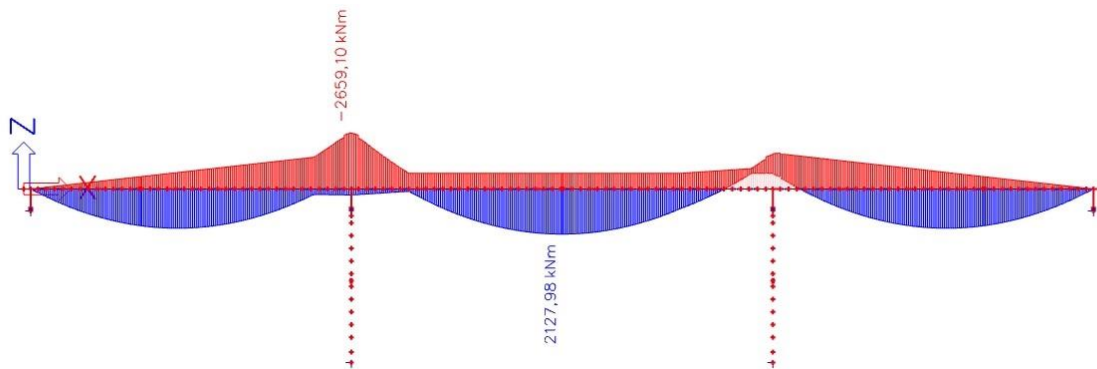


Obrázek 61. $M_x Fwk$

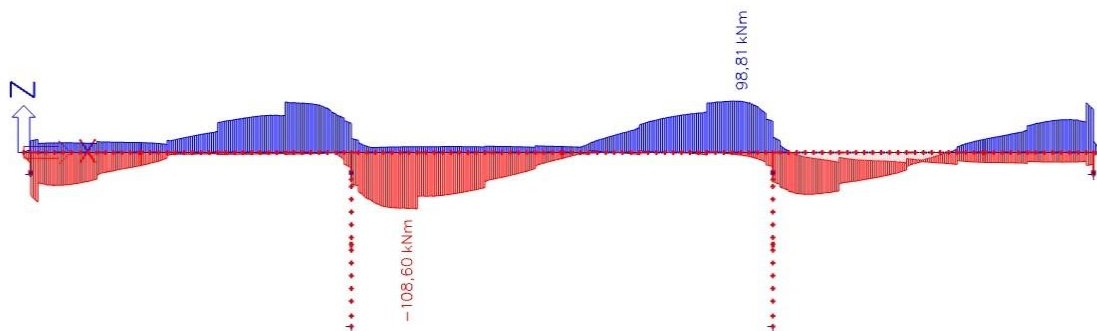
5.3.5 Staveništní zatížení



Obrázek 62. V_z staveništní zatížení



Obrázek 63. M_y staveništní zatížení



Obrázek 64. M_x staveništní zatížení

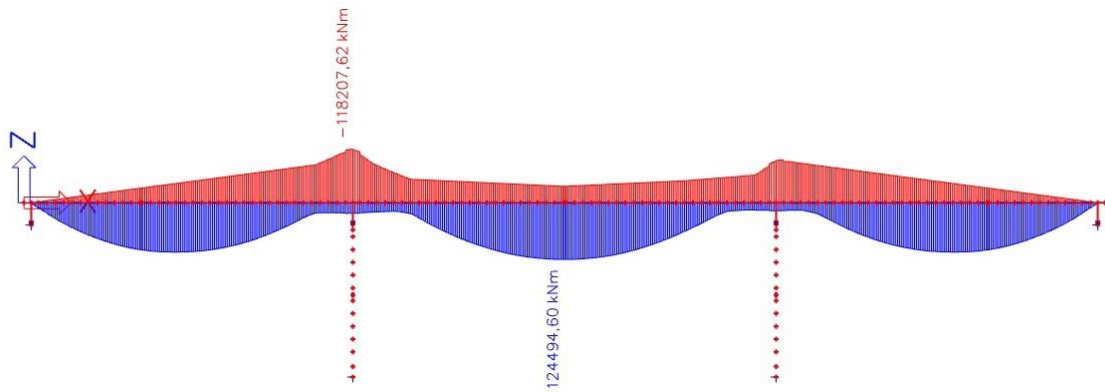
5.4 KOMBINACE VNITŘNÍCH SIL

Kombinace vnitřních sil jsou sestaveny za pomoci kombinačních součinitelů z kapitoly 4.3.

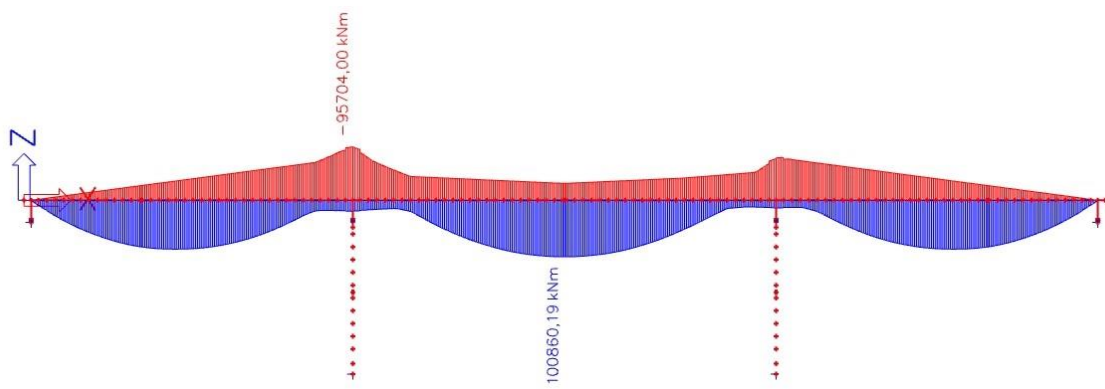
Jsou vykresleny pro jeden hlavní komorový nosník.

Obálky ohybových momentů jsou vykresleny pro rovnice 6.10, 6.10a, 6.10b a dále pro charakteristické, časté a kvazistálé kombinace

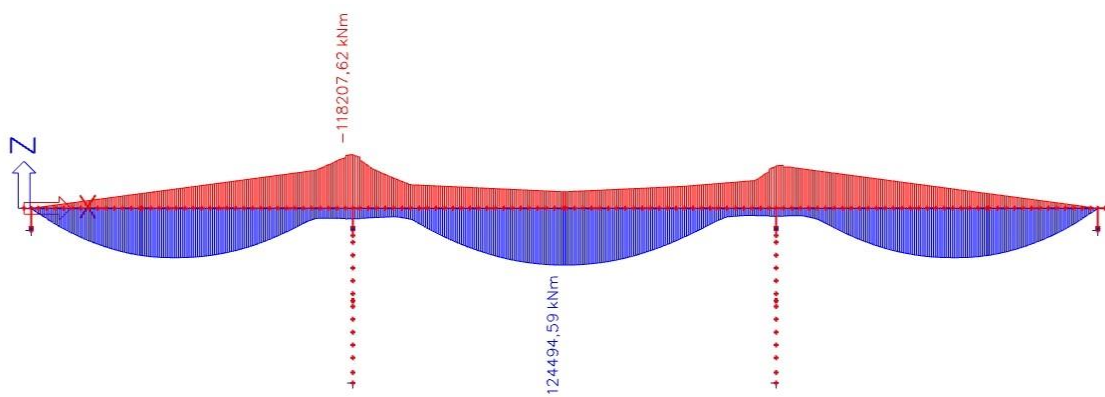
5.4.1 Kombinace pro mezní stavy únosnosti – dokončená konstrukce (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.1.)



Obrázek 65. My 6.10

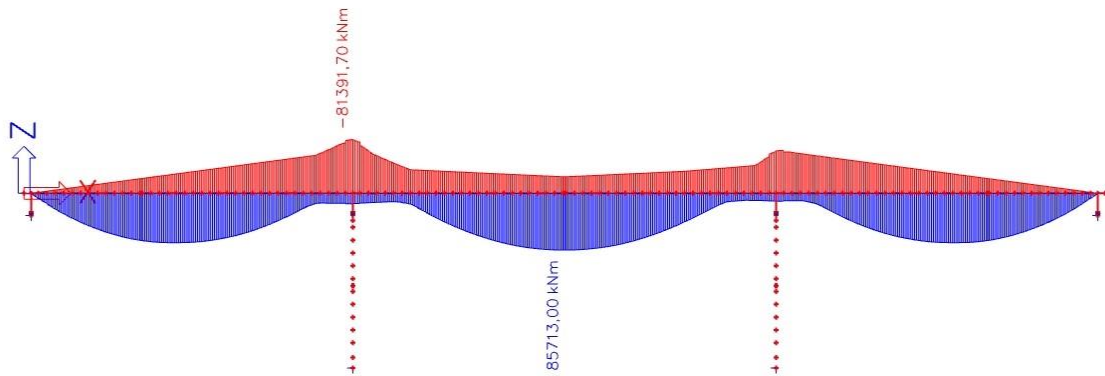


Obrázek 66. My 6.10a

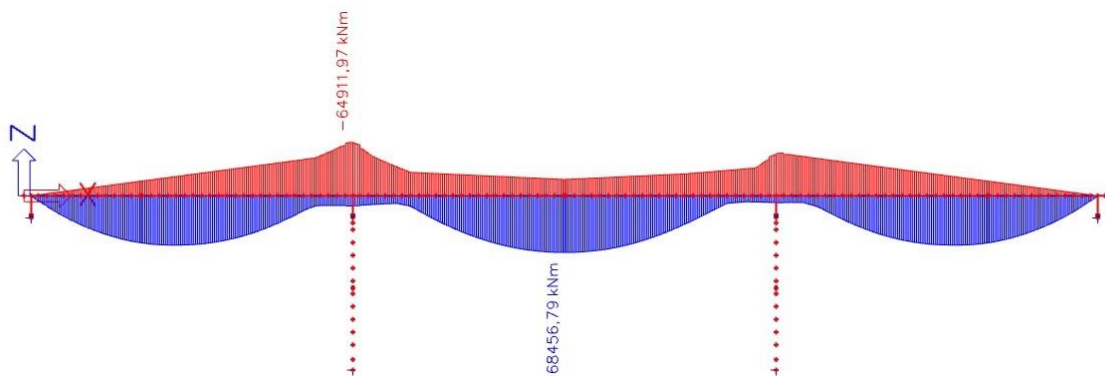


Obrázek 67. My 6.10b

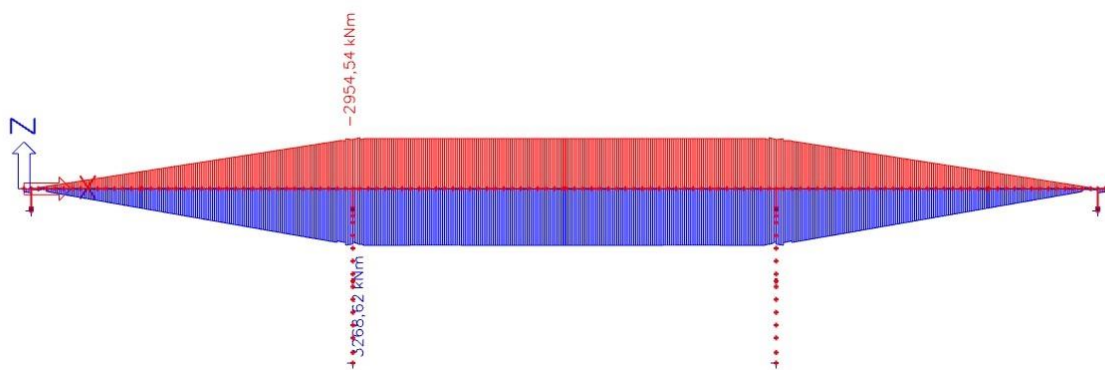
5.4.2 Kombinace pro mezní stavy použitelnosti – dokončená konstrukce (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.2.)



Obrázek 68. My Charakteristická kombinace

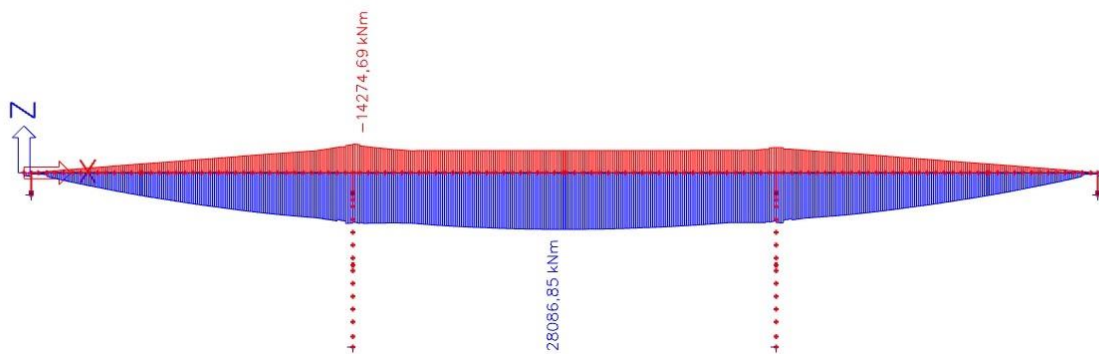


Obrázek 69. My Častá kombinace

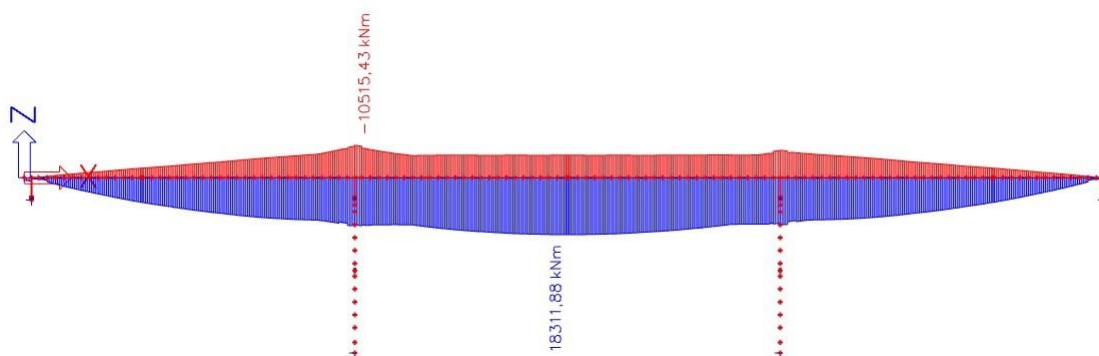


Obrázek 70. My Kvazistálá kombinace

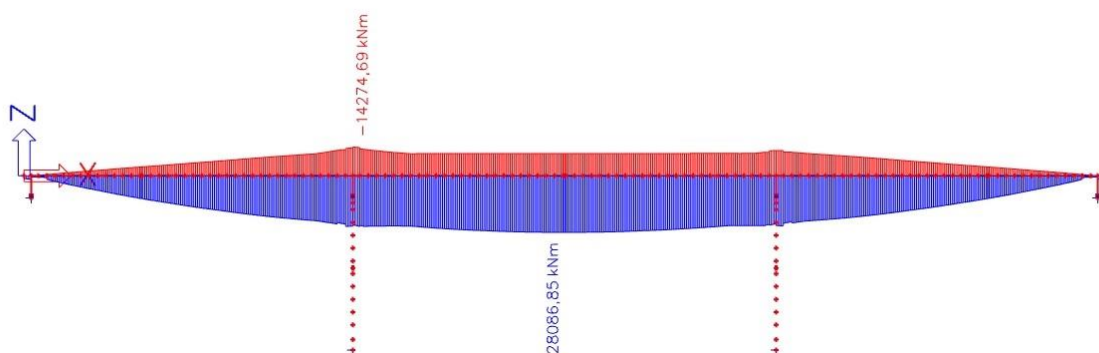
5.4.3 Kombinace pro mezní stavy únosnosti – stavební stádium (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.1.)



Obrázek 71. My 6.10

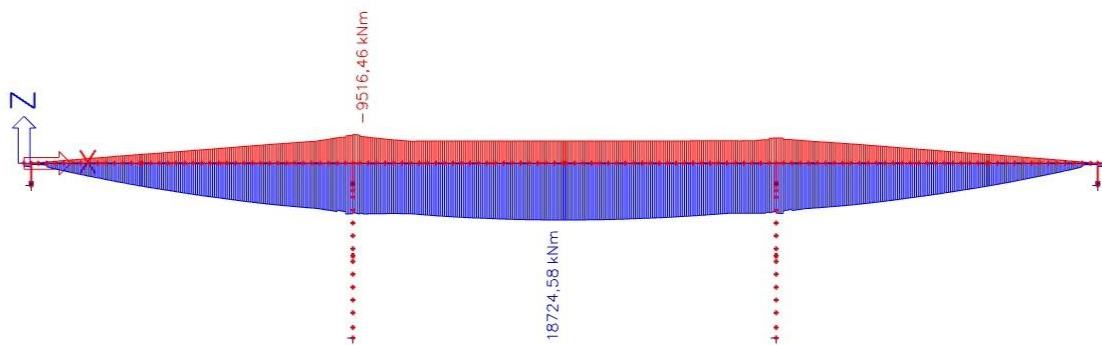


Obrázek 72. My 6.10a

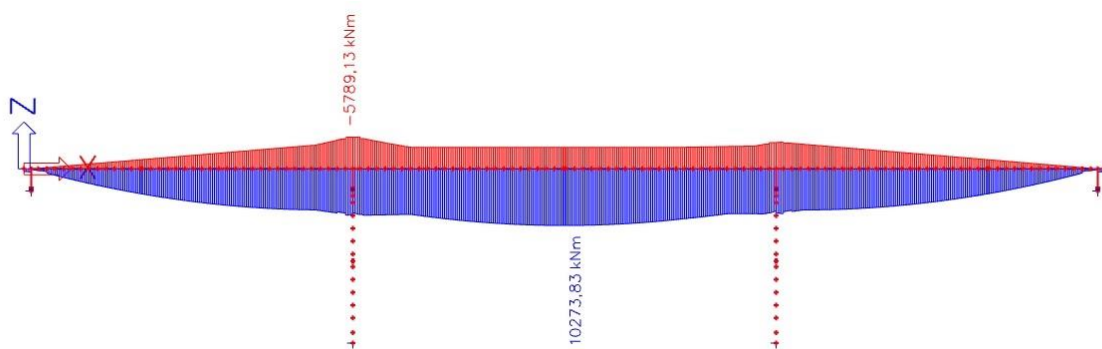


Obrázek 73. My 6.10b

5.4.4 Kombinace pro mezní stavy použitelnosti – stavební stádium (bez předpětí a stálých zatížení – viz kapitola 4.3.2.)



Obrázek 74. My Charakteristická kombinace

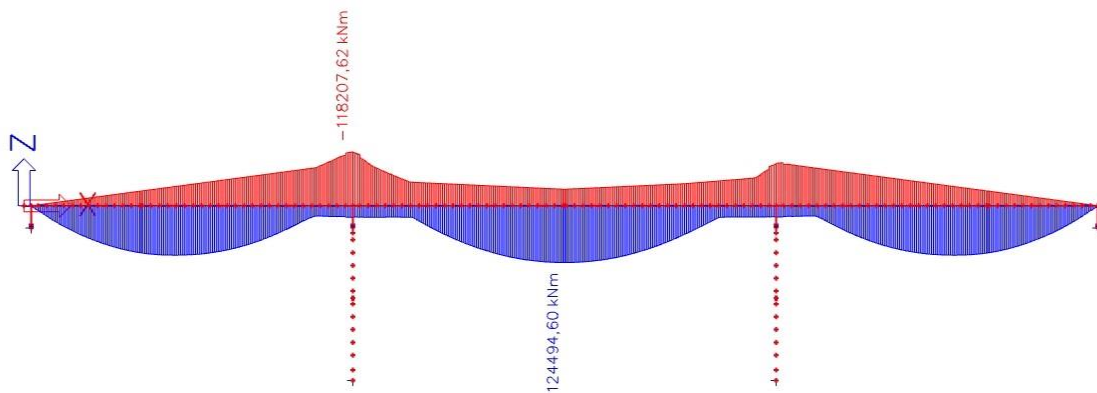


Obrázek 75. My Kvazistálá kombinace

5.4.5 Přehled kombinací vnitřních sil

5.4.5.1 MSU

Jsou zde vykresleny obálky všech kombinací pro posouzení MSÚ.



Obrázek 76. My MSU – Extrémy

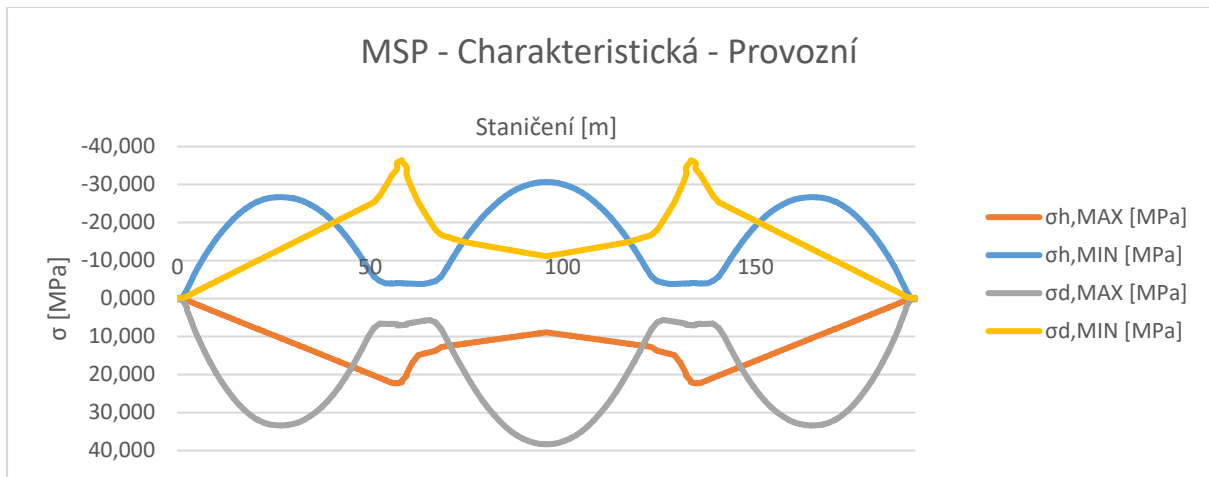
5.4.5.2 MSP

Pro mezní stavy použitelnosti byly vyexportovány vnitřní síly ve všech spárách segmentů zleva i zprava. Z těchto exportů byly pomocí kontingenčních tabulek vytaženy maximální a minimální hodnoty, které byly utříděny v následující tabulky a grafy napětí pro horní a dolní vlákna průřezu.

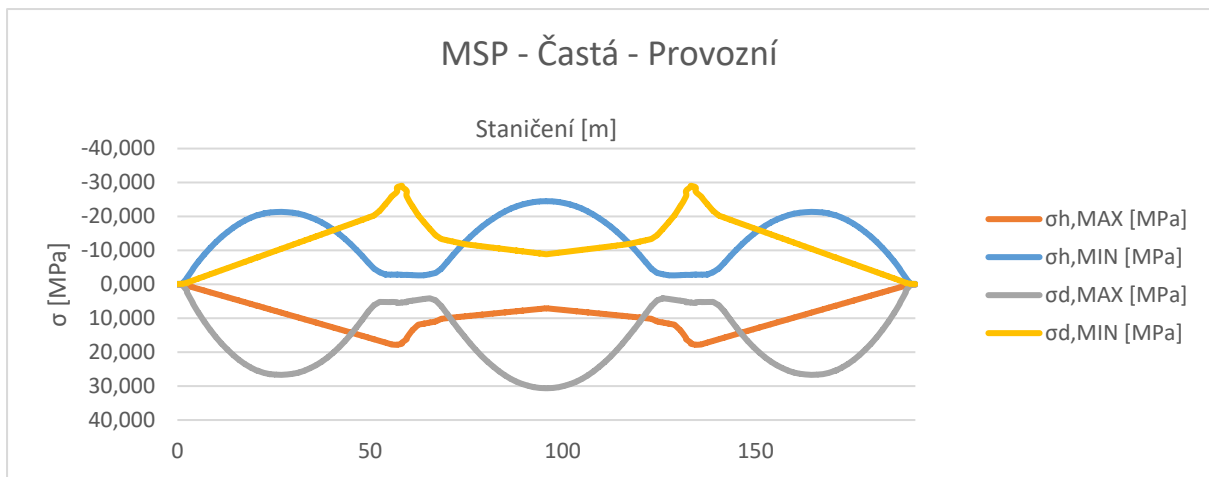
Hodnoty zatím neobsahují předpětí a většinu stálých zatížení – viz kapitola 4.3.

Staničení [m]	MSP - Charakteristická				MSP - Častá				MSP - Kvazistálá			
	oh,MAX [MPa]	oh,MIN [MPa]	od,MAX [MPa]	od,MIN [MPa]	oh,MAX [MPa]	oh,MIN [MPa]	od,MAX [MPa]	od,MIN [MPa]	oh,MAX [MPa]	oh,MIN [MPa]	od,MAX [MPa]	od,MIN [MPa]
0,0	0,08	-0,19	0,20	-0,09	0,06	-0,13	0,14	-0,07	0,00	-0,05	0,06	0,00
2,5	0,45	-2,29	2,42	-0,48	0,35	-1,82	1,92	-0,37	0,01	-0,01	0,01	-0,01
2,5	0,47	-2,41	3,02	-0,58	0,37	-1,93	2,41	-0,47	0,02	-0,03	0,03	-0,03
5,5	1,75	-8,49	10,62	-2,19	1,38	-6,78	8,48	-1,73	0,08	-0,09	0,11	-0,10
5,5	1,74	-8,44	10,55	-2,18	1,38	-6,73	8,42	-1,72	0,08	-0,09	0,11	-0,10
8,5	2,98	-13,44	16,83	-3,73	2,36	-10,72	13,42	-2,95	0,13	-0,15	0,19	-0,16
8,5	2,97	-13,39	16,76	-3,72	2,35	-10,68	13,38	-2,94	0,13	-0,15	0,18	-0,16
11,5	4,21	-17,57	21,99	-5,26	3,33	-14,03	17,55	-4,17	0,19	-0,21	0,26	-0,23
11,5	4,19	-17,53	21,94	-5,25	3,33	-13,99	17,51	-4,16	0,19	-0,21	0,26	-0,23
14,5	5,42	-20,92	26,17	-6,78	4,31	-16,70	20,89	-5,38	0,24	-0,27	0,34	-0,30
14,5	5,41	-20,89	26,13	-6,77	4,30	-16,68	20,86	-5,38	0,24	-0,27	0,34	-0,30
17,5	6,65	-23,56	29,47	-8,32	5,28	-18,81	23,52	-6,61	0,30	-0,33	0,42	-0,37
17,5	6,64	-23,53	29,43	-8,31	5,27	-18,78	23,49	-6,59	0,29	-0,33	0,42	-0,37
20,5	7,89	-25,41	31,78	-9,87	6,27	-20,28	25,37	-7,84	0,35	-0,39	0,49	-0,44
20,5	7,90	-25,40	31,77	-9,88	6,28	-20,28	25,37	-7,85	0,35	-0,40	0,49	-0,44
21,0	8,03	-25,55	31,96	-10,04	6,39	-20,40	25,52	-7,99	0,36	-0,40	0,50	-0,45
21,0	8,04	-25,58	31,99	-10,06	6,40	-20,42	25,54	-8,00	0,36	-0,40	0,50	-0,45
24,0	9,28	-26,51	33,16	-11,60	7,39	-21,18	26,49	-9,25	0,41	-0,47	0,58	-0,52
24,0	9,27	-26,50	33,15	-11,59	7,38	-21,17	26,49	-9,23	0,41	-0,47	0,58	-0,52
27,0	10,49	-26,71	33,41	-13,12	8,37	-21,34	26,69	-10,46	0,47	-0,53	0,66	-0,58
27,0	10,48	-26,71	33,40	-13,11	8,36	-21,34	26,69	-10,45	0,47	-0,53	0,66	-0,58
30,0	11,72	-26,40	33,01	-14,65	9,34	-21,09	26,37	-11,68	0,52	-0,59	0,74	-0,65
30,0	11,70	-26,40	33,02	-14,64	9,33	-21,09	26,38	-11,67	0,52	-0,59	0,74	-0,65
33,0	12,93	-25,47	31,86	-16,17	10,32	-20,35	25,45	-12,90	0,58	-0,65	0,81	-0,72
33,0	12,92	-25,49	31,88	-16,15	10,31	-20,36	25,47	-12,89	0,58	-0,65	0,81	-0,72
36,0	14,15	-23,85	29,83	-17,69	11,29	-19,05	23,83	-14,12	0,63	-0,71	0,89	-0,79
36,0	14,14	-23,87	29,86	-17,68	11,28	-19,07	23,85	-14,11	0,63	-0,71	0,89	-0,79
39,0	15,38	-21,56	26,97	-19,24	12,27	-17,21	21,53	-15,34	0,69	-0,77	0,97	-0,86
39,0	15,37	-21,58	27,01	-19,22	12,26	-17,23	21,56	-15,33	0,69	-0,77	0,97	-0,86
42,0	16,60	-18,51	23,17	-20,77	13,24	-14,77	18,49	-16,56	0,74	-0,83	1,04	-0,93
42,0	16,59	-18,56	23,22	-20,75	13,23	-14,81	18,53	-16,55	0,74	-0,83	1,04	-0,92
45,0	17,81	-14,78	18,49	-22,28	14,22	-11,79	14,74	-17,78	0,79	-0,90	1,12	-0,99
45,0	17,80	-14,82	18,54	-22,27	14,21	-11,82	14,79	-17,77	0,79	-0,89	1,12	-0,99
48,0	19,03	-10,41	13,03	-23,80	15,20	-8,31	10,39	-19,01	0,85	-0,96	1,20	-1,06
48,0	19,02	-10,46	13,10	-23,79	15,19	-8,35	10,44	-19,00	0,85	-0,96	1,20	-1,06
51,0	20,25	-5,78	7,71	-25,34	16,20	-4,62	6,15	-20,25	0,90	-1,02	1,27	-1,13
51,0	20,23	-5,81	7,75	-25,33	16,19	-4,65	6,18	-20,24	0,90	-1,02	1,27	-1,13
54,0	21,49	-4,00	6,65	-29,56	17,20	-2,87	5,22	-23,64	0,96	-1,08	1,35	-1,20
54,0	21,48	-4,00	6,65	-29,51	17,19	-2,87	5,22	-23,60	0,96	-1,08	1,35	-1,20
57,0	22,32	-4,04	6,72	-34,13	17,85	-2,86	5,27	-27,31	0,99	-1,11	1,39	-1,24
57,0	22,28	-4,08	7,04	-35,67	17,80	-2,87	5,51	-28,54	0,99	-1,12	1,46	-1,30
59,5	20,30	-3,97	6,91	-34,51	16,22	-2,78	5,31	-27,54	1,01	-1,10	1,44	-1,32
59,5	19,79	-3,98	6,62	-32,46	15,83	-2,79	5,08	-25,93	1,01	-1,14	1,42	-1,27
62,5	14,87	-3,84	6,09	-25,37	11,90	-2,62	4,58	-20,31	1,04	-1,17	1,46	-1,29
62,5	14,88	-3,84	6,09	-25,42	11,91	-2,62	4,59	-20,35	1,04	-1,17	1,46	-1,29
65,5	14,10	-4,18	5,64	-20,38	11,28	-2,95	4,13	-16,32	1,03	-1,17	1,46	-1,29
65,5	14,11	-4,18	5,65	-20,42	11,28	-2,95	4,13	-16,35	1,03	-1,17	1,46	-1,29
68,5	12,74	-5,84	8,11	-16,71	10,17	-4,59	6,45	-13,34	1,03	-1,17	1,46	-1,29
68,5	12,76	-5,81	8,05	-16,71	10,19	-4,56	6,41	-13,34	1,03	-1,17	1,46	-1,29
71,5	12,29	-10,80	13,92	-15,78	9,80	-8,61	11,09	-12,58	1,03	-1,16	1,46	-1,29
71,5	12,29	-10,75	13,86	-15,79	9,80	-8,57	11,04	-12,59	1,03	-1,16	1,46	-1,29
74,5	11,87	-15,44	19,33	-14,86	9,46	-12,32	15,41	-11,83	1,03	-1,17	1,46	-1,29
74,5	11,88	-15,40	19,28	-14,87	9,46	-12,28	15,37	-11,84	1,03	-1,17	1,46	-1,29
77,5	11,45	-19,47	24,36	-14,32	9,12	-15,54	19,43	-11,41	1,03	-1,17	1,46	-1,29
77,5	11,46	-19,43	24,31	-14,33	9,13	-15,50	19,39	-11,41	1,03	-1,17	1,46	-1,29
80,5	11,02	-22,88	28,62	-13,78	8,78	-18,27	22,85	-10,98	1,03	-1,17	1,46	-1,29
80,5	11,03	-22,85	28,58	-13,79	8,79	-18,24	22,82	-10,99	1,03	-1,17	1,46	-1,29
83,5	10,60	-25,70	32,14	-13,26	8,45	-20,50	25,67	-10,56	1,03	-1,17	1,46	-1,29
83,5	10,60	-25,67	32,10	-13,26	8,45	-20,50	25,64	-10,57	1,03	-1,17	1,46	-1,29
86,5	10,19	-27,92	34,92	-12,74	8,11	-22,30	27,89	-10,14	1,03	-1,17	1,46	-1,29
86,5	10,19	-27,90	34,89	-12,74	8,11	-22,28	27,87	-10,15	1,03	-1,17	1,46	-1,29
89,5	9,76	-29,43	36,80	-12,21	7,77	-23,51	29,40	-9,72	1,03	-1,17	1,46	-1,29
89,5	9,76	-29,42	36,79	-12,21	7,78	-23,50	29,39	-9,73	1,03	-1,17	1,46	-1,29
92,5	9,34	-30,35	37,96	-11,68	7,44	-24,24	30,32	-9,30	1,03	-1,17	1,46	-1,29
92,5	9,35	-30,34	37,94	-11,69	7,44	-24,23	30,31	-9,31	1,03	-1,17	1,46	-1,29
95,5	8,92	-30,66	38,34	-11,16	7,10	-24,49	30,63	-8,88	1,03	-1,17	1,46	-1,29
95,5	8,92	-30,65	38,33	-11,15	7,10	-24,48	30,61	-8,87	1,03	-1,17	1,46	-1,29
96,0	8,92	-30,65	38,33	-11,15	7,10	-24,48	30,61	-8,87	1,03	-1,17	1,46	-1,29

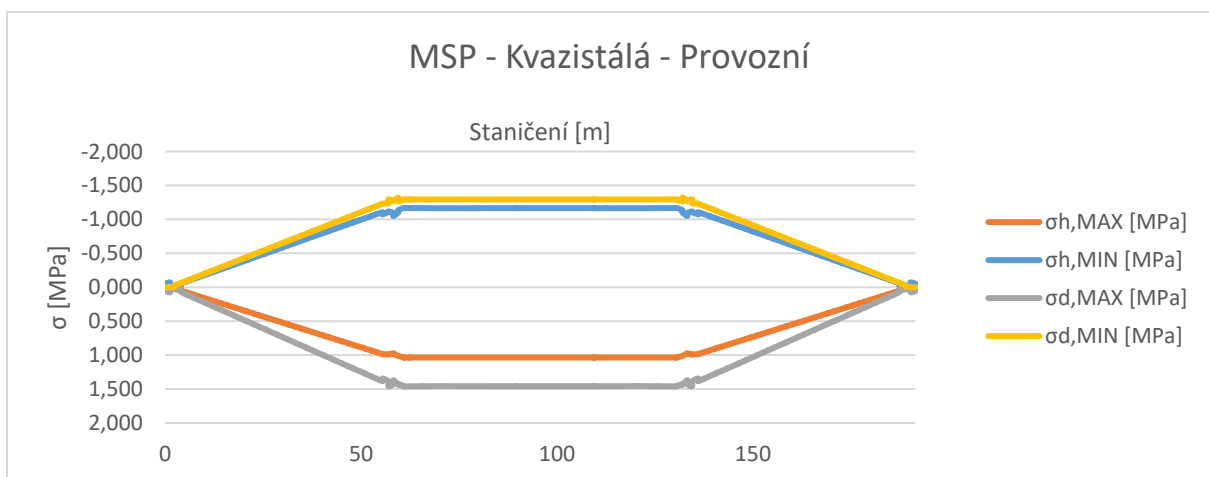
Tabulka 12. MSP – Provozní



Obrázek 77. MSP - Charakteristická – Provozní



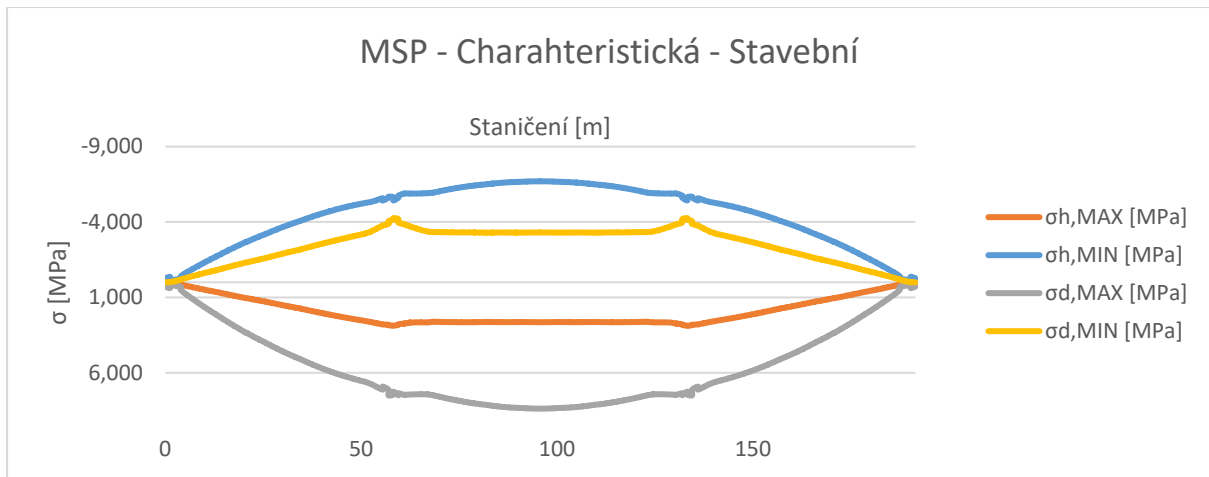
Obrázek 78. MSP - Častá – Provozní



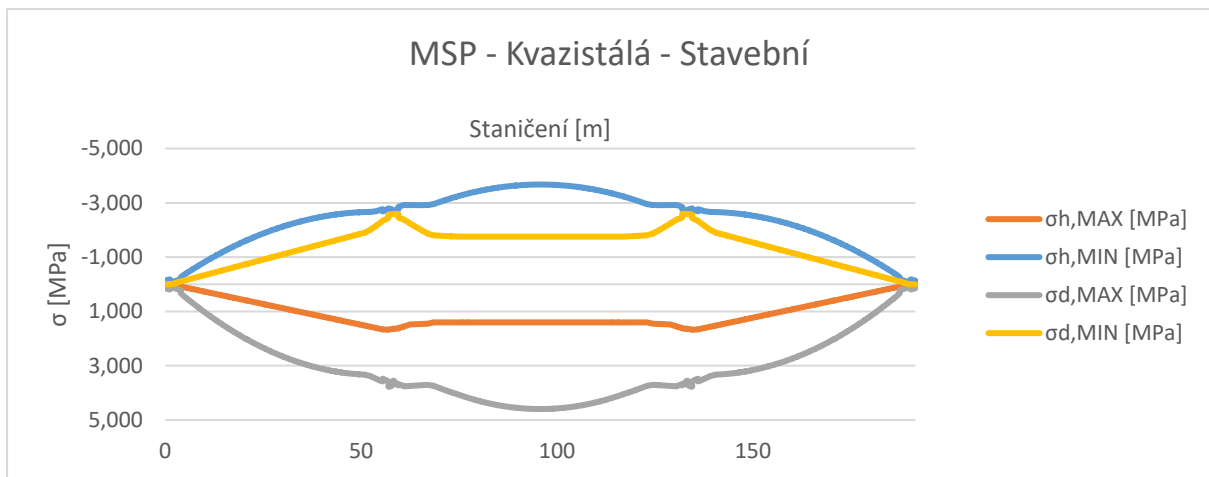
Obrázek 79. MSP - Kvazistálá - Provozní

Staniční [m]	MSP - Charakteristická				MSP - Kvazistálá			
	σ_h, MAX [MPa]	σ_h, MIN [MPa]	σ_d, MAX [MPa]	σ_d, MIN [MPa]	σ_h, MAX [MPa]	σ_h, MIN [MPa]	σ_d, MAX [MPa]	σ_d, MIN [MPa]
0,0	0,003	-0,273	0,287	-0,003	0,000	-0,135	0,142	0,000
2,5	0,053	-0,137	0,145	-0,056	0,025	-0,088	0,092	-0,027
2,5	0,065	-0,182	0,228	-0,082	0,039	-0,119	0,149	-0,048
5,5	0,242	-0,666	0,833	-0,302	0,130	-0,419	0,523	-0,163
5,5	0,239	-0,656	0,821	-0,299	0,130	-0,414	0,517	-0,162
8,5	0,410	-1,103	1,380	-0,513	0,222	-0,688	0,861	-0,278
8,5	0,408	-1,097	1,373	-0,511	0,222	-0,685	0,857	-0,277
11,5	0,567	-1,517	1,897	-0,710	0,314	-0,943	1,179	-0,393
11,5	0,565	-1,512	1,891	-0,707	0,313	-0,940	1,176	-0,392
14,5	0,724	-1,913	2,393	-0,907	0,406	-1,179	1,475	-0,508
14,5	0,722	-1,909	2,388	-0,904	0,405	-1,177	1,472	-0,507
17,5	0,887	-2,298	2,874	-1,110	0,498	-1,400	1,750	-0,623
17,5	0,885	-2,294	2,869	-1,108	0,497	-1,397	1,747	-0,622
20,5	1,044	-2,662	3,330	-1,307	0,591	-1,604	2,006	-0,739
20,5	1,045	-2,664	3,332	-1,307	0,592	-1,606	2,008	-0,740
21,0	1,060	-2,701	3,378	-1,327	0,602	-1,627	2,035	-0,753
21,0	1,060	-2,703	3,381	-1,327	0,603	-1,629	2,037	-0,754
24,0	1,209	-3,040	3,802	-1,513	0,697	-1,815	2,270	-0,872
24,0	1,207	-3,036	3,798	-1,511	0,696	-1,814	2,268	-0,870
27,0	1,359	-3,356	4,198	-1,701	0,789	-1,979	2,475	-0,986
27,0	1,357	-3,353	4,194	-1,698	0,788	-1,978	2,473	-0,985
30,0	1,519	-3,665	4,584	-1,901	0,881	-2,126	2,659	-1,101
30,0	1,517	-3,662	4,580	-1,898	0,880	-2,125	2,657	-1,100
33,0	1,669	-3,946	4,936	-2,088	0,972	-2,256	2,821	-1,216
33,0	1,667	-3,943	4,932	-2,086	0,972	-2,254	2,819	-1,215
36,0	1,825	-4,216	5,274	-2,284	1,064	-2,367	2,960	-1,331
36,0	1,823	-4,213	5,271	-2,282	1,063	-2,366	2,959	-1,330
39,0	1,990	-4,478	5,604	-2,492	1,156	-2,462	3,079	-1,446
39,0	1,988	-4,476	5,600	-2,489	1,155	-2,461	3,078	-1,444
42,0	2,146	-4,714	5,899	-2,688	1,248	-2,539	3,175	-1,561
42,0	2,144	-4,711	5,896	-2,686	1,247	-2,538	3,174	-1,559
45,0	2,293	-4,923	6,162	-2,874	1,340	-2,598	3,249	-1,675
45,0	2,292	-4,921	6,160	-2,872	1,339	-2,598	3,249	-1,674
48,0	2,432	-5,104	6,394	-3,053	1,431	-2,639	3,300	-1,790
48,0	2,431	-5,102	6,392	-3,052	1,430	-2,639	3,300	-1,789
51,0	2,563	-5,258	6,597	-3,228	1,524	-2,661	3,329	-1,905
51,0	2,562	-5,256	6,594	-3,227	1,523	-2,661	3,328	-1,904
54,0	2,714	-5,442	6,938	-3,564	1,616	-2,697	3,491	-2,175
54,0	2,712	-5,440	6,936	-3,559	1,615	-2,696	3,489	-2,171
57,0	2,814	-5,614	7,127	-3,869	1,671	-2,776	3,592	-2,448
57,0	2,848	-5,683	7,492	-4,053	1,674	-2,797	3,774	-2,567
59,5	2,830	-5,612	7,487	-4,195	1,633	-2,761	3,724	-2,590
59,5	2,783	-5,747	7,346	-3,964	1,617	-2,843	3,672	-2,464
62,5	2,665	-5,887	7,442	-3,708	1,480	-2,918	3,744	-2,242
62,5	2,665	-5,887	7,441	-3,710	1,480	-2,918	3,745	-2,245
65,5	2,655	-5,894	7,420	-3,457	1,461	-2,915	3,717	-1,986
65,5	2,653	-5,893	7,418	-3,458	1,461	-2,915	3,717	-1,989
68,5	2,614	-5,946	7,494	-3,327	1,404	-2,953	3,740	-1,803
68,5	2,613	-5,943	7,490	-3,326	1,404	-2,951	3,738	-1,803
71,5	2,634	-6,115	7,675	-3,324	1,404	-3,102	3,903	-1,779
71,5	2,634	-6,113	7,673	-3,323	1,404	-3,101	3,901	-1,780
74,5	2,644	-6,258	7,830	-3,311	1,404	-3,236	4,047	-1,756
74,5	2,643	-6,256	7,828	-3,310	1,404	-3,234	4,045	-1,756
77,5	2,645	-6,375	7,974	-3,310	1,404	-3,351	4,191	-1,756
77,5	2,644	-6,373	7,972	-3,309	1,404	-3,350	4,189	-1,756
80,5	2,637	-6,465	8,086	-3,299	1,404	-3,449	4,313	-1,756
80,5	2,636	-6,463	8,084	-3,298	1,404	-3,448	4,312	-1,756
83,5	2,636	-6,544	8,184	-3,297	1,404	-3,529	4,413	-1,756
83,5	2,636	-6,543	8,183	-3,296	1,404	-3,528	4,412	-1,756
86,5	2,641	-6,613	8,270	-3,303	1,404	-3,592	4,492	-1,756
86,5	2,641	-6,612	8,269	-3,303	1,404	-3,592	4,492	-1,756
89,5	2,638	-6,654	8,321	-3,298	1,404	-3,637	4,548	-1,756
89,5	2,637	-6,654	8,321	-3,298	1,404	-3,637	4,548	-1,756
92,5	2,638	-6,683	8,357	-3,299	1,404	-3,665	4,583	-1,756
92,5	2,638	-6,683	8,357	-3,299	1,404	-3,665	4,583	-1,756
95,5	2,644	-6,699	8,377	-3,306	1,404	-3,675	4,596	-1,756
95,5	2,644	-6,698	8,376	-3,306	1,404	-3,675	4,596	-1,756
96,0	2,644	-6,698	8,376	-3,306	1,404	-3,675	4,596	-1,756

Tabulka 13. MSP Stavební



Obrázek 80. MSP - Charakteristická – Stavební



Obrázek 81. MSP - Kvazistálá - Stavební

6 NÁVRH PŘEDPĚTÍ

6.1 ÚVOD

Předpětí bylo navrženo pro fáze výstavby i pro dokončenou spojitou konstrukci. Při návrhu byla uvažována redistribuce vnitřních sil od zatížení, která byla vnesena do konstrukce před změnou statického systému (tzn. od vlastní tíhy nosné konstrukce a od předpětí konzolovými kabely).

Do předpínacích kabelů byla použita lana o průměru $\varnothing = 15,7$ mm z oceli s charakteristickou pevností v tahu 1860 MPa a modulem pružnosti $E = 195$ GPa.

Kabely jsou vedeny vnitřkem komor jako volné.

Byly zpracovány čtyři varianty. Varianta s přímými kabely, s lomenými kabely a obě schémata vyztužení ještě pro průřez se základní a se zesílenou tloušťkou desek a stěn.

Vybrána byla varianta s přímými kabely a původním průřezem, pro kterou bude uveden podrobný postup. Výsledky ostatních variant a jejich srovnání je uvedeno na konci kapitoly.

Cílem těchto porovnávacích výpočtů bylo v daném případě najít variantu s co nejmenší spotřebou předpínací výztuže.

Jedná se o prvotní návrhy předpětí.

6.1.1 Napětí ve výztuži

Maximální napětí ve výztuži při napínání

$$\sigma_{\max} = \min(0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{pk0,1}) = \min(0,8 \cdot 1860; 0,9 \cdot 1636,8) = \min(1488; 1473)$$

$$\sigma_{\max} = 1473 \text{ Mpa}$$

6.1.2 Ztráty předpětí

Ztráty pro konzolové kabely byly uvažovány:

Vnesení předpětí	5%
Uvedení do provozu	15%
Konec životnosti	25%

Ztráty pro přímé kabely (napínané později):

Vnesení předpětí	5%
Uvedení do provozu	10%
Konec životnosti	25%

6.2 NÁVRH PŘEDPĚTÍ VAHADLA

Při posouzení vahadla se ve všech fázích uvažovala vlastní tíha již smontované části vahadla, tíha nově montovaného (zatím nespolutůsobícího) segmentu, tíha jeřábu na konci konzoly a staveništní zatížení.

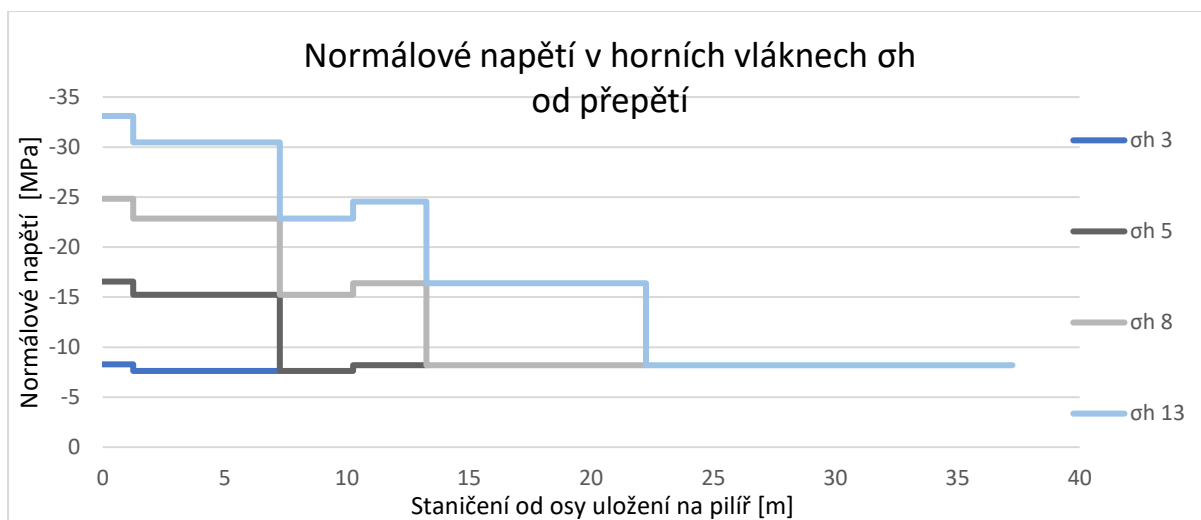
Předpínací kabely byly vedeny při spodním povrchu horní desky ve vzdálenosti 200 mm.

Definitivní konzolové kabely se napínaly ve čtyřech fázích (z důvodu omezení počtu konzolových kabelů) – v místě druhého, čtvrtého, sedmého a dvanáctého segmentu od pilíře rovnoměrně na obě strany. Fáze mezi předpínáním kabely jsou zajištěny provizorním předpětím (předpínacími tyčemi, případně provizorními kabely).

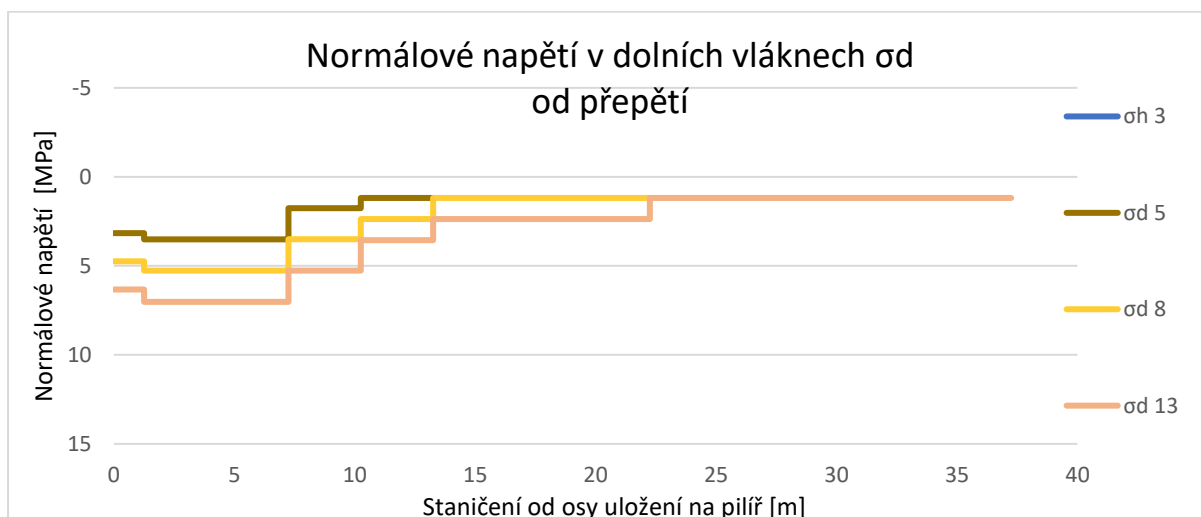
Byly navrženy 4 dvojice kabelů po 24 lanech.

Návrh byl zhotoven v excelové tabulce.

6.2.1 Napětí ve fázích výstavby od předpětí

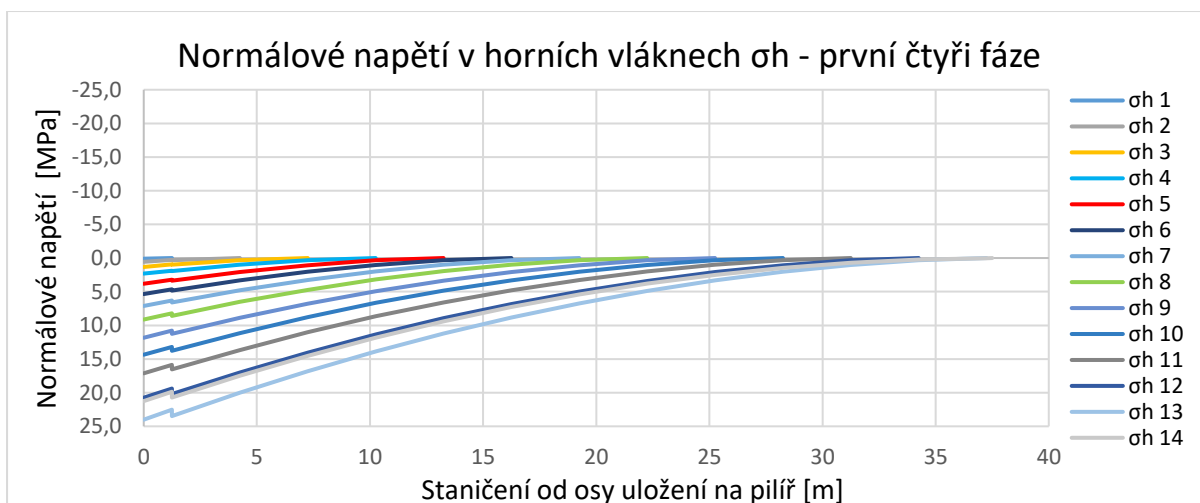


Obrázek 82. Fáze předpínání

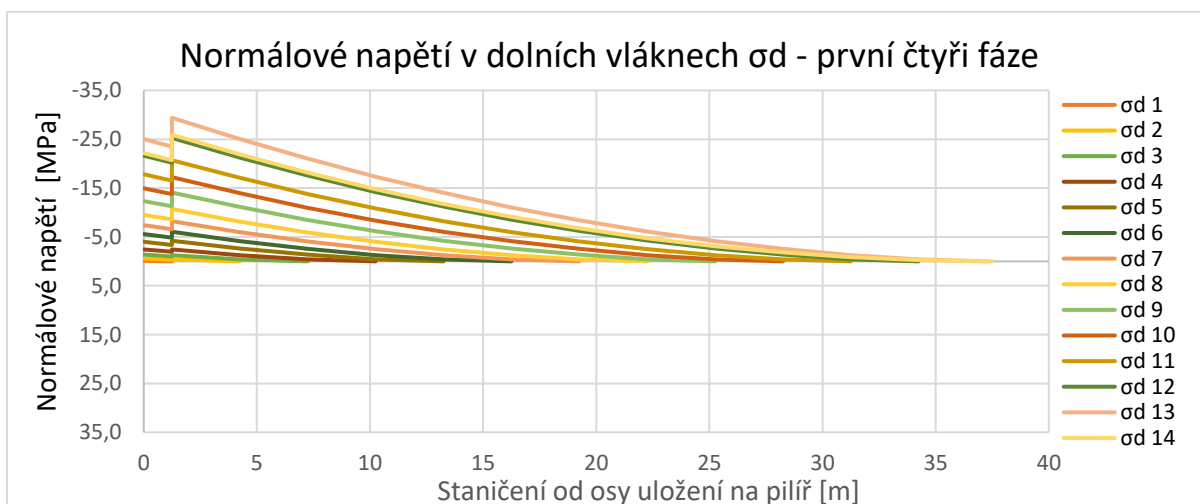


Obrázek 83. Fáze předpínání

6.2.1.1 Napětí ve fázích výstavby bez předpětí

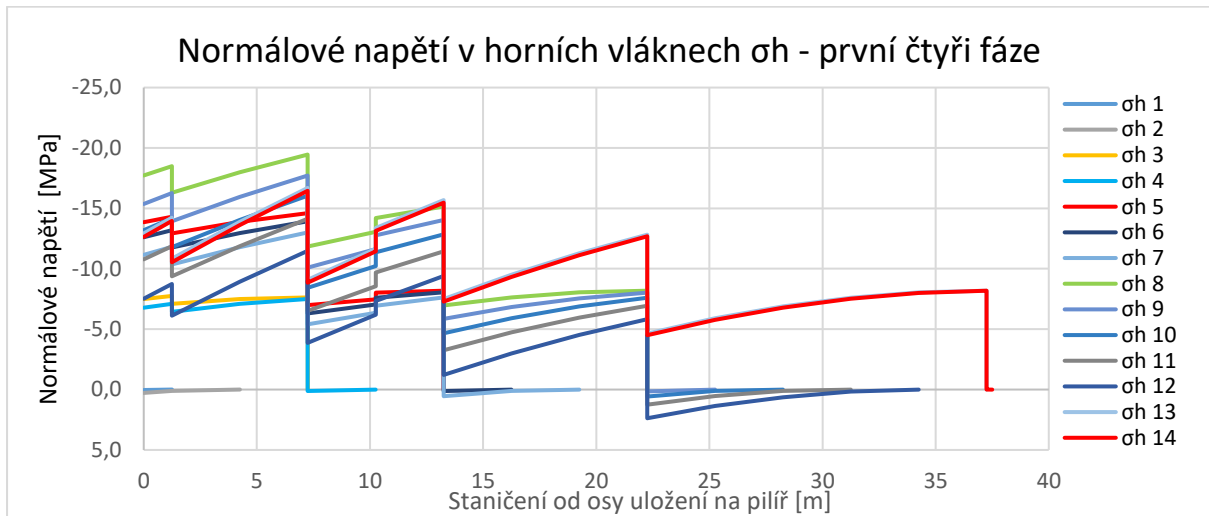


Obrázek 84. Fáze výstavby po segmentech

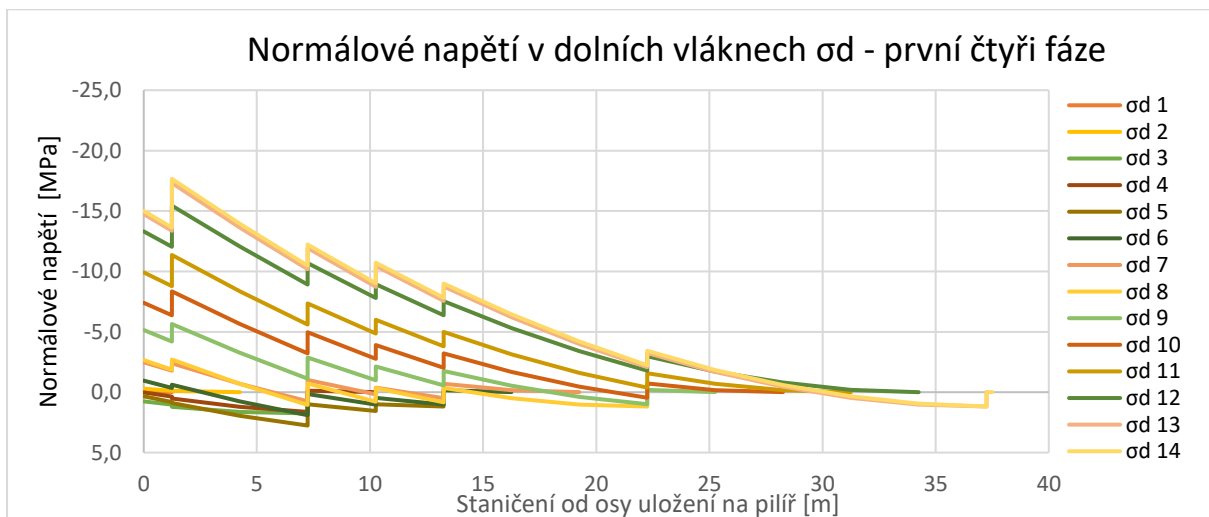


Obrázek 85. Fáze výstavby po segmentech

6.2.2 Celkové napětí na vahadle (včetně předpětí definitivními konzolovými kably)



Obrázek 86. Napětí v segmentech na konci předpínání



Obrázek 87. Napětí v segmentech na konci předpínání

Tahová napětí v grafech by byla pokryta provizorním předpětím (předpínacími tyčemi, případně kably).

6.3 REDISTRIBUCE VNITŘNÍCH SIL

6.3.1 Dotvarování a smršťování UHPFRC 150

Dotvarování a smršťování bylo spočítáno pro UHPFRC 160 podle NF-P18-710 příloha T. Byl uvažován způsob ošetřování TT1 - tepelné ošetřování během hydratace (nižší teploty než u TT2), podporuje nárůst pevnosti betonu.

Při výpočtu uvažujeme následující časy rozhodujících etap:

Vnesení zatížení (předpětí) $t_0 = 120$ dní (průměr)

Změna statického systému $t_1 = 225$ dní

Čas vnesení ostatního stálého zatížení $t = \underline{267}$ dní

Čase uvedení do provozu $t = 309$ dní

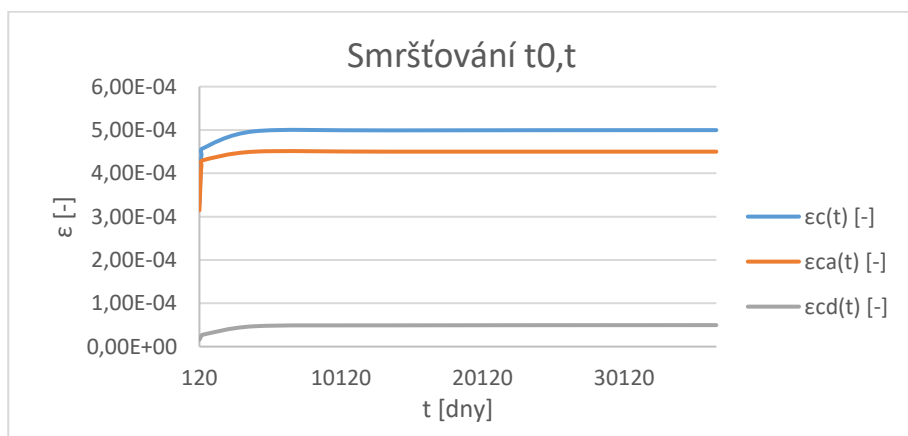
Konec životnosti $t = 36620$ dní

t	t ₀	β _{ca}	T _{ca}	ε _{ca} (t)	RH	h ₀	β _{cd}	t _s	K	ε _{cd} (t)	ε _c (t)	β _{bc1}	β _{bc2}	β _{bc}	f _{ck}	f _{cm} (t ₀)	φ _{b0}	φ _b (t,t ₀)	φ _{d0}	ε _{cd} (t ₀)	φ _d (t,t ₀)	φ(t,t ₀)	
[dny]	[dny]	mm/m	[dny]	[-]	[%]	[mm]	[dny/mm ²]	[dny]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
120	120	450	100	3,14E-04	70	199	0,007	3	5	1,56E-05	3,30E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	0,00E+00	35	1,56E-05	0,00E+00	0,00E+00	
225	120	450	100	4,03E-04	70	199	0,007	3	5	2,32E-05	4,26E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	4,98E-01	35	1,56E-05	2,64E-04	4,98E-01	
267	120	450	100	4,19E-04	70	199	0,007	3	5	2,53E-05	4,44E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	5,47E-01	35	1,56E-05	3,39E-04	5,47E-01	
309	120	450	100	4,30E-04	70	199	0,007	3	5	2,72E-05	4,57E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	5,83E-01	35	1,56E-05	4,04E-04	5,83E-01	
4000	120	450	100	4,50E-04	70	199	0,007	3	5	4,70E-05	4,97E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	9,54E-01	35	1,56E-05	1,10E-03	9,55E-01	
13505	120	450	100	4,50E-04	70	199	0,007	3	5	4,91E-05	4,99E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	1,04E+00	35	1,56E-05	1,17E-03	1,04E+00	
36620	120	450	100	4,50E-04	70	199	0,007	3	5	4,97E-05	5,00E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	1,09E+00	35	1,56E-05	1,19E-03	1,09E+00	

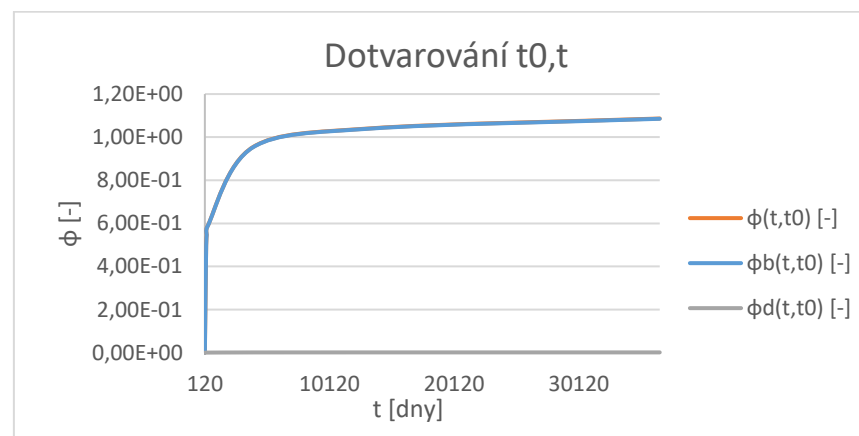
Tabulka 14. Smršťování a dotvarování od času t₀ do t

t	t ₁	β _{ca}	T _{ca}	ε _{ca} (t)	RH	h ₀	β _{cd}	t _s	K	ε _{cd} (t)	ε _c (t)	β _{bc1}	β _{bc2}	β _{bc}	f _{ck}	f _{cm} (t ₀)	φ _{b0}	φ _b (t,t ₁)	φ _{d0}	ε _{cd} (t ₀)	φ _d (t,t ₁)	φ(t,t ₁)	
[dny]	[dny]	mm/m	[dny]	[-]	[%]	[mm]	[dny/mm ²]	[dny]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
225	225	450	100	4,03E-04	70	199	0,007	3	5	2,32E-05	4,26E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	0,00E+00	35	2,32E-05	0,00E+00	0,00E+00	
267	225	450	100	4,19E-04	70	199	0,007	3	5	2,53E-05	4,44E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	3,74E-01	35	2,32E-05	7,57E-05	3,74E-01	
309	225	450	100	4,30E-04	70	199	0,007	3	5	2,72E-05	4,57E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	4,67E-01	35	2,32E-05	1,40E-04	4,67E-01	
4000	225	450	100	4,50E-04	70	199	0,007	3	5	4,70E-05	4,97E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	9,51E-01	35	2,32E-05	8,33E-04	9,52E-01	
13505	225	450	100	4,50E-04	70	199	0,007	3	5	4,91E-05	4,99E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	1,04E+00	35	2,32E-05	9,06E-04	1,04E+00	
36620	225	450	100	4,50E-04	70	199	0,007	3	5	4,97E-05	5,00E-04	2	0,7	13,676	130	138	0,58	1,09E+00	35	2,32E-05	9,27E-04	1,09E+00	

Tabulka 15. Smršťování a dotvarování od času t₁ do t



Obrázek 88. Průběh smršťování



Obrázek 89. Průběh dotvarování

6.3.2 Zjednodušená metoda součinitele stárnutí

Pro výpočet účinků předpětí bylo třeba ještě redistribuovat ohybové momenty od vlastní tíhy nosné konstrukce a od účinků předpětí konzolovými kabely. Použijeme metodu součinitele stárnutí.

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

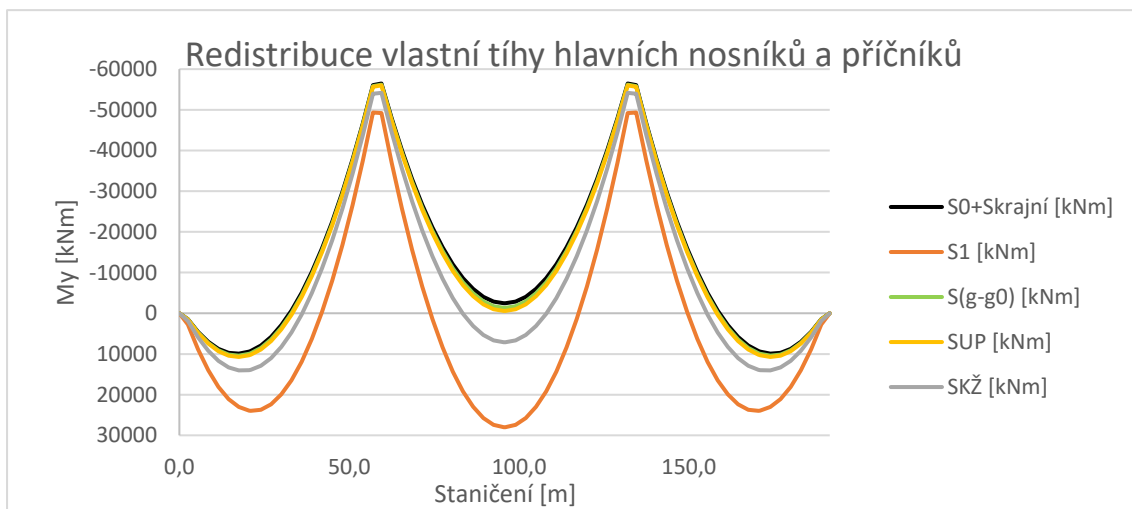
S_0 vnitřní síly po ukončení výstavby

S_1 vnitřní síly na definitivní soustavě

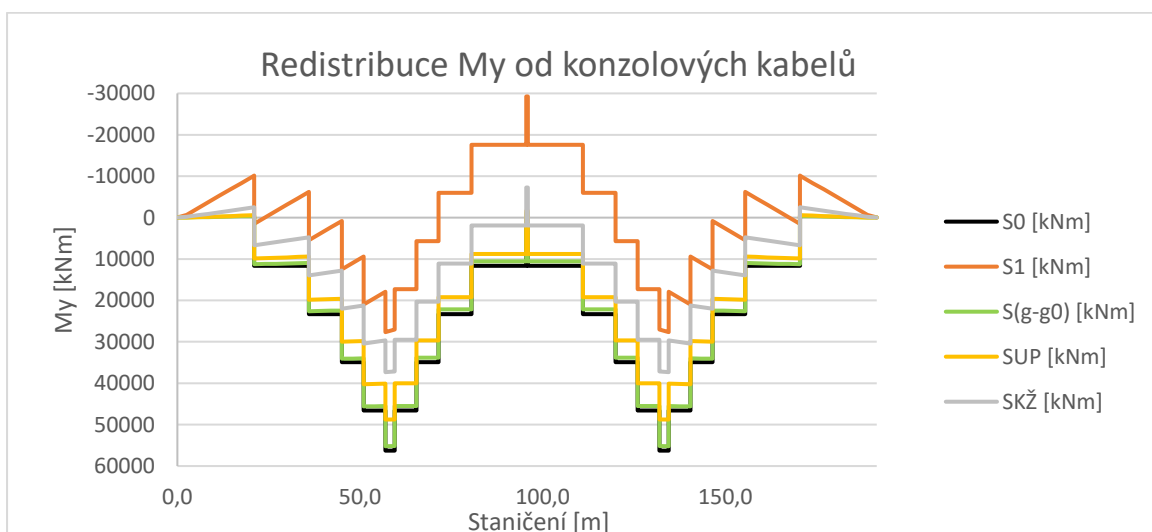
t_0 stáří betonu při vyvození konstantního stálého zatížení

t stáří betonu, kdy dochází ke změně působení soustavy

χ součinitel, který zohledňuje skutečnost, že normálové napětí není v průběhu času konstantní, ale postupně klesá; obvykle se uvažuje hodnotou 0,8



Obrázek 90. Redistribuce M_y od vlastní tíhy hlavních nosníků a příčníků



Obrázek 91. Redistribuce M_y od konzolových kabelů

6.4 NÁVRH PŘÍMÝCH KABELŮ SPOJITOSTI

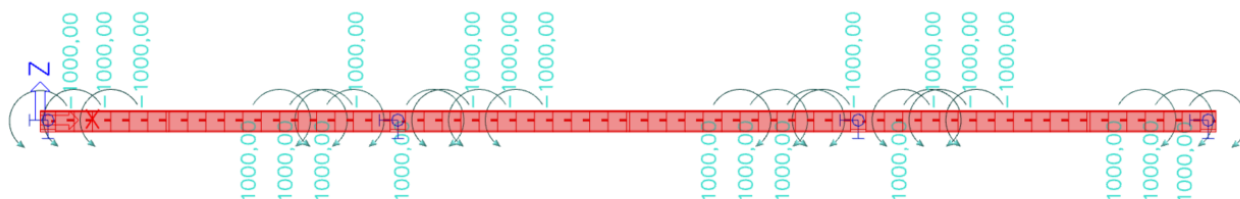
U segmentové konstrukce nesmí podle platné normy dojít k tahovému namáhání.

Předpětí bylo navrženo tak, aby konstrukce vyhověla z hlediska dekomprese při charakteristické kombinaci i na konci svojí životnosti.

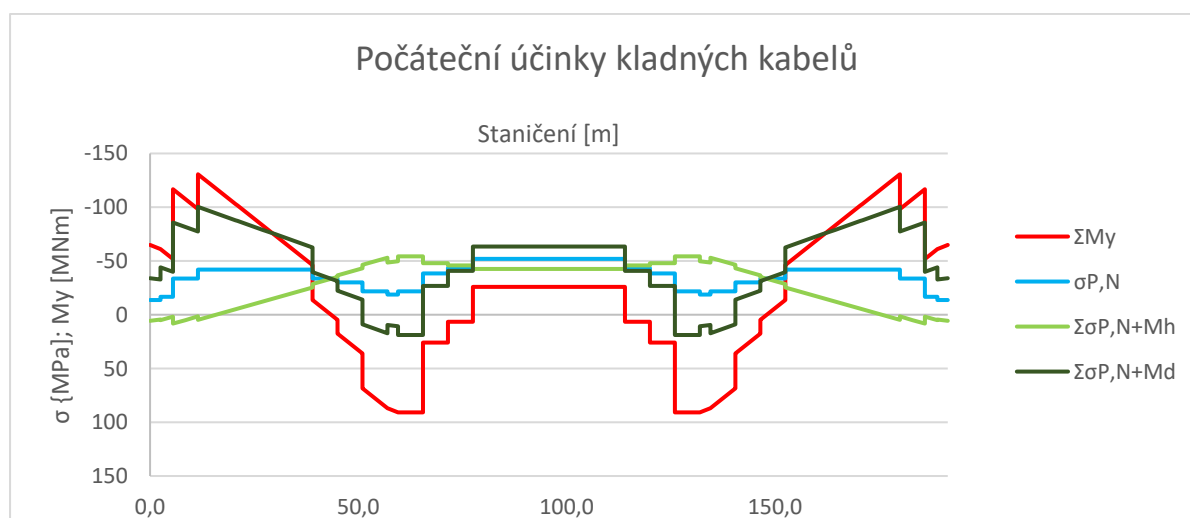
Tlaková napětí nesmí při charakteristické kombinaci přesáhnout hodnoty $0,6 f_{ck}$ a při kvazistálé kombinaci $0,45 f_{ck}$.

Do programu SCIA byly pomocí jednotkových momentů vyneseny skupiny kabelů a výsledky byly jednotlivě vytaženy do excelu k dalšímu zpracování.

Přímé kabely - ve středním poli	KS1 2 x 40 lan
	KS2a 2 x 55 lan
	KS2b 2 x 36 lan - taženy přes pilíř
	KS3a 4 x 40 lan
	KS3b 2 x 36 lan - taženy přes pilíř
Přímé kabely - v krajním poli	KK1 2 x 30 lan
	KK2 2 x 30 lan
	KK3a 4 x 45 lan
	KK3b 2 x 36 lan - taženy přes pilíř



Obrázek 92. Schéma rozmístění jednotkových momentů



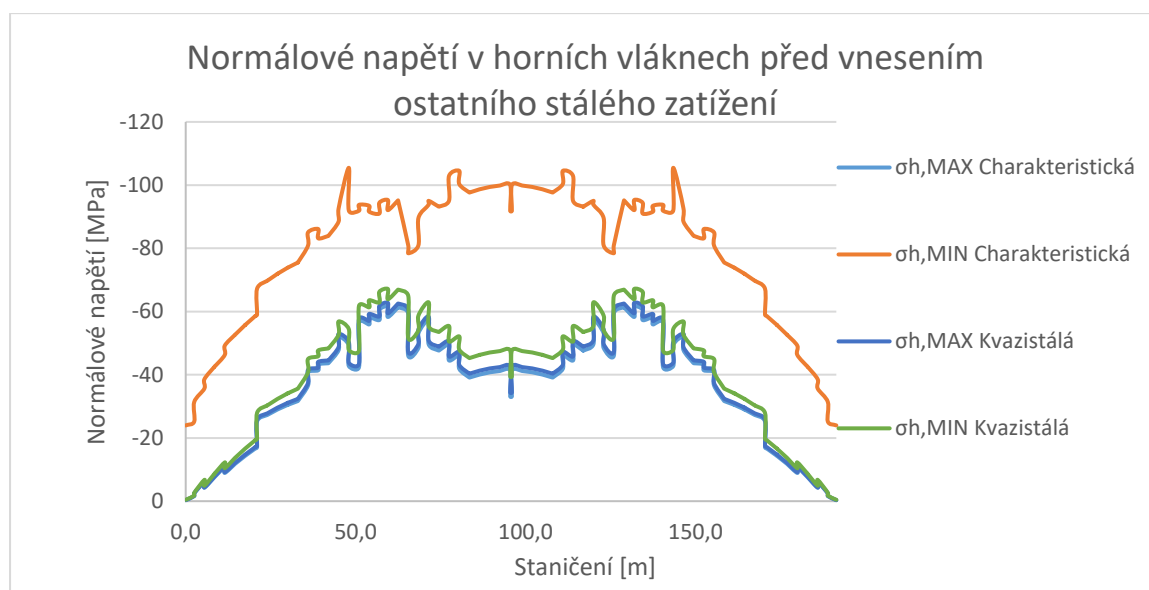
Obrázek 93. Počáteční účinky kladných kabelů

6.4.1 Výpočet a posouzení normálových napětí

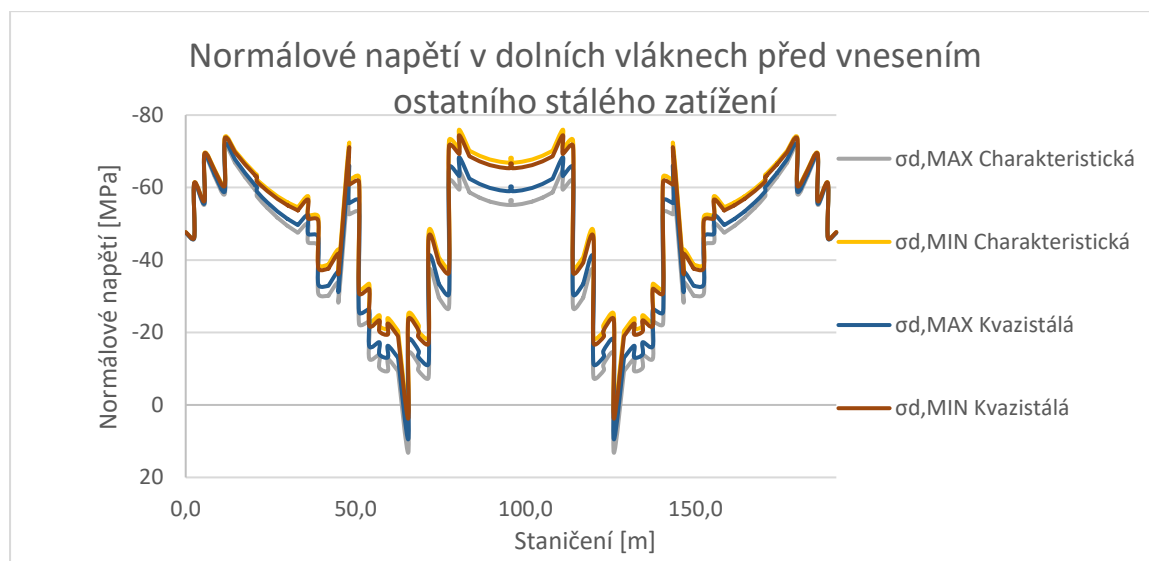
V následujících grafech jsou vyneseny průběhy normálových napětí v horních a v dolních vláknech nosné konstrukce v rozhodujících etapách výstavby a provozu na mostě. Limitní hodnoty normálových napětí z hlediska MSP omezení napětí a omezení trhlin jsou v kapitole 7.1..

Ve stavebních stavech se tahové namáhání ve spodních vláknech průřezu bude řešit provizorním předpětím.

6.4.1.1 Stavební stav před vnesením (g-g0)

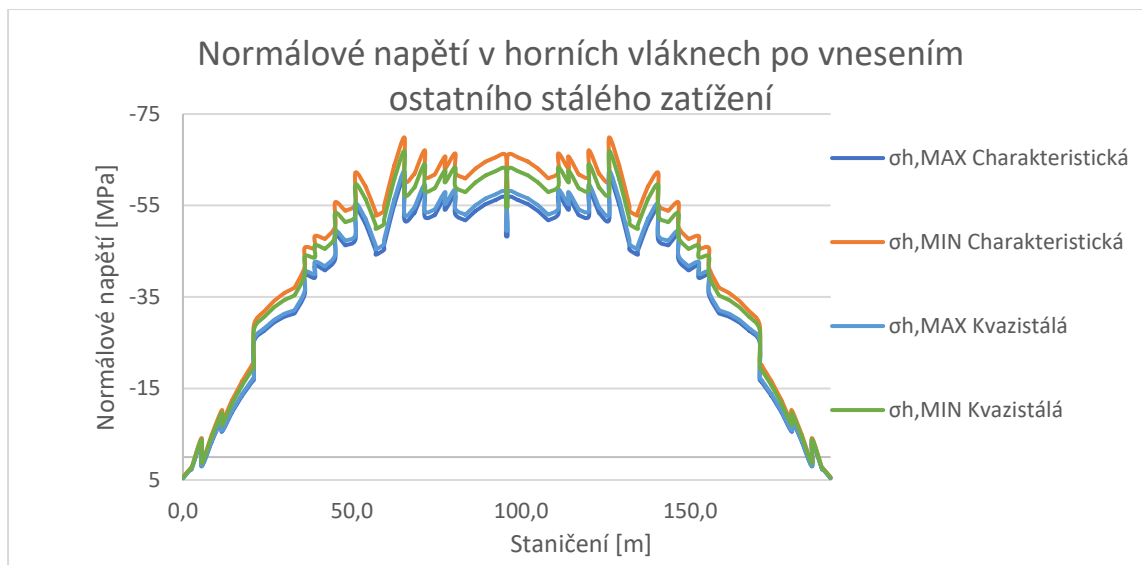


Obrázek 94. Průběh normálového napětí před vnesením (g-g0) – horní vlákna

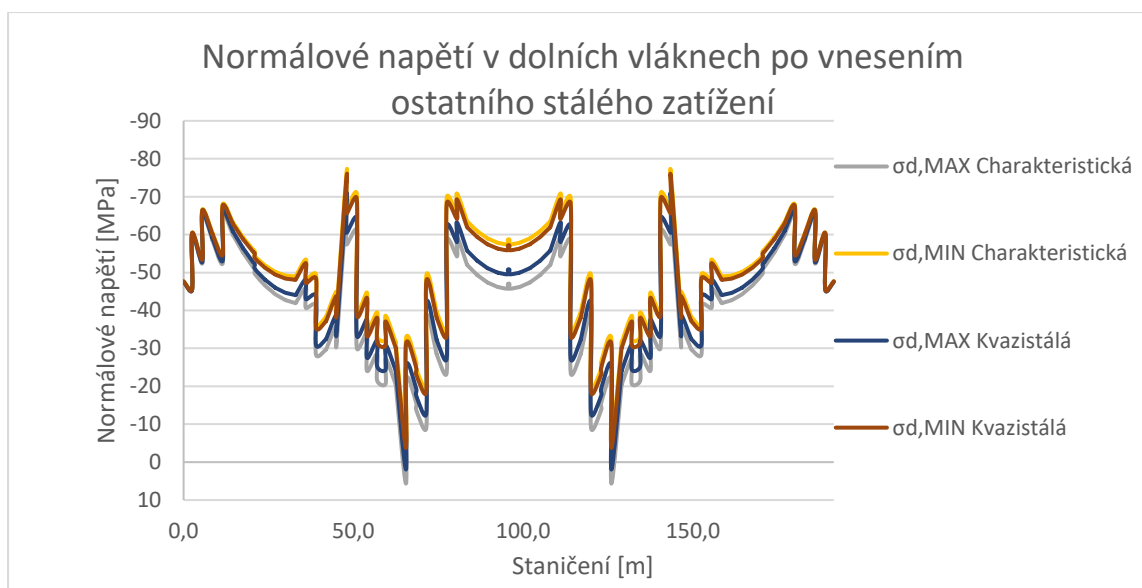


Obrázek 95. Průběh normálového napětí před vnesením (g-g0) – dolní vlákna

6.4.1.2 Stavební stav po vnesení (g-g0)

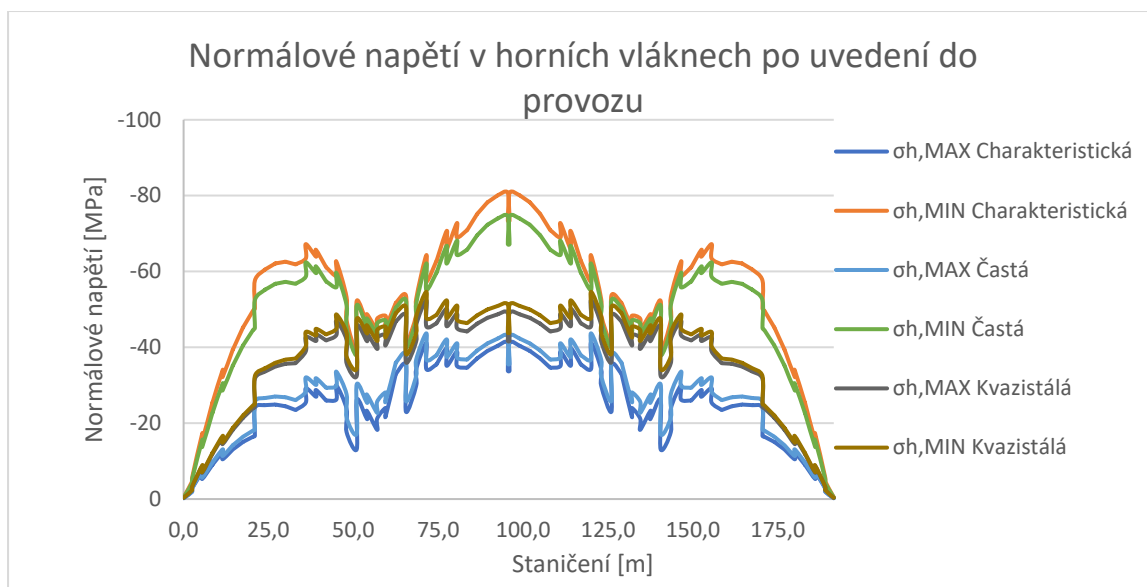


Obrázek 96. Průběh normálového napětí po vnesení (g-g0) – horní vlákna

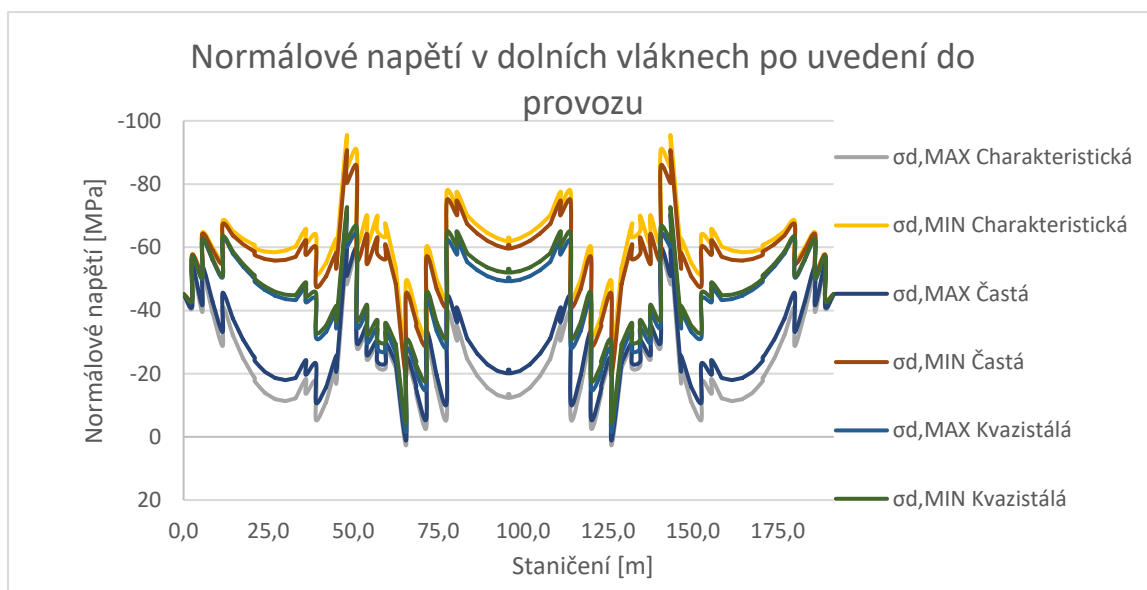


Obrázek 97. Průběh normálového napětí po vnesení (g-g0) – dolní vlákna

6.4.1.3 Provozní stav – uvedení do provozu

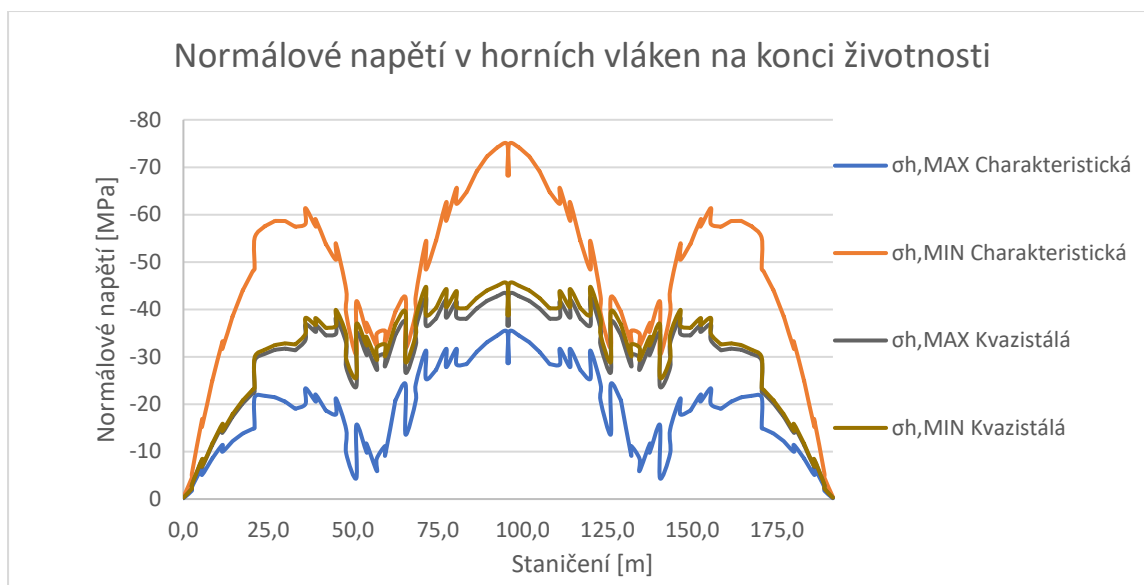


Obrázek 98. Průběh normálového napětí při uvedení do provozu – horní vlákna

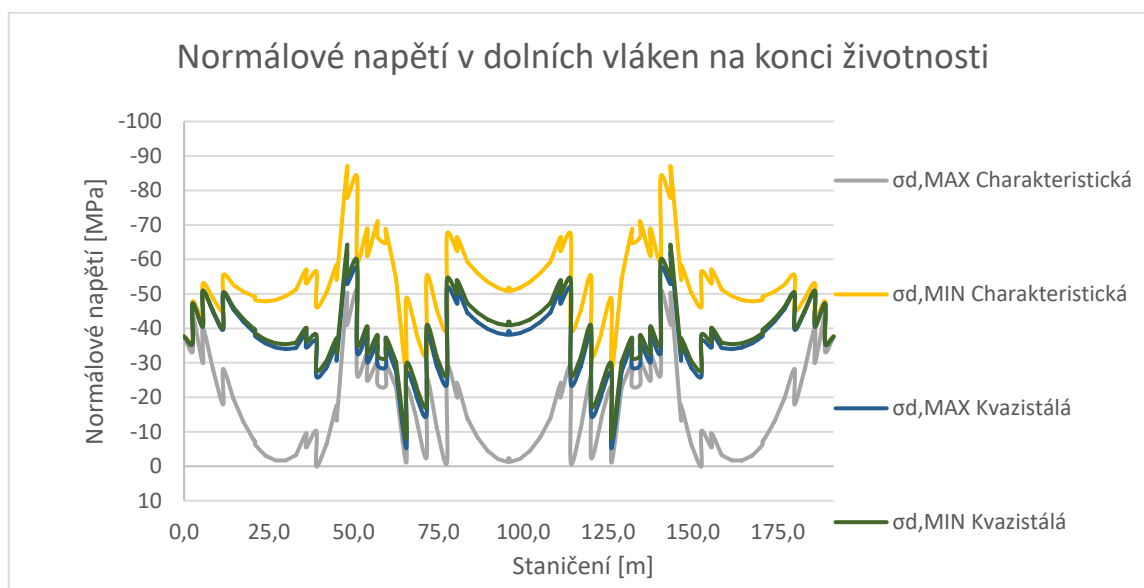


Obrázek 99. Průběh normálového napětí při uvedení do provozu – dolní vlákna

6.4.1.4 Provozní stav – konec životnosti



Obrázek 100. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna



Obrázek 101. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna

6.4.1.5 Omezení tlakového napětí

UHPFRC 160

$0,6 f_{ck} = 96,0 \text{ MPa}$

$0,45 f_{ck} = 72,0 \text{ MPa}$

Charakteristická kombinace $\sigma_{\max} = 94,640 \text{ MPa} < 96,0 \text{ MPa}$ Vyhovuje

Kvazistálá kombinace $\sigma_{\max} = 71,897 \text{ MPa} < 72,0 \text{ MPa}$ Vyhovuje

Vzhledem k tomu, že se jedná o konstrukci z prefabrikovaných prvků, uvažujeme i ve stavebních staveb stáří betonu min. 28 dní.

6.5 SROVNÁNÍ NÁVRHŮ

V rámci optimalizace nosné konstrukce byly posouzeny dvě varianty uspořádání předpínací výztuže, u každé z nich se uvažovaly dvě varianty tvaru průřezů. Celkem se tedy jednalo o čtyři varianty.

Varianty uspořádání předpínací výztuže byly uvažovány následujícím způsobem

- přímé kabely spojitosti („kladné kabely“),
- lomené kabely spojitosti.

Konzolové kabely aplikované během letmé montáže byly v obou případech uvažovány stejně.

Z hlediska tvaru příčného řezu byly uvažovány následující varianty

- uspořádání podle kapitoly 6.1., tzn. s tloušťkou prvků příčného řezu většinou 200 mm,
- zesílení prvků příčného řezu na 300 mm – účelem bylo posoudit vliv zvýšení hodnot průřezových charakteristik (při zvýšení vlastní tíhy nosné konstrukce).

6.5.1 Lomené kabely v základním průřezu

Do modelu byl vnesen ocelový prut o ploše 100 lan. Byl v místech lomu připevněn tuhými rameny a napětí do něj bylo vneseno zkrácením o 7,6 mm/m

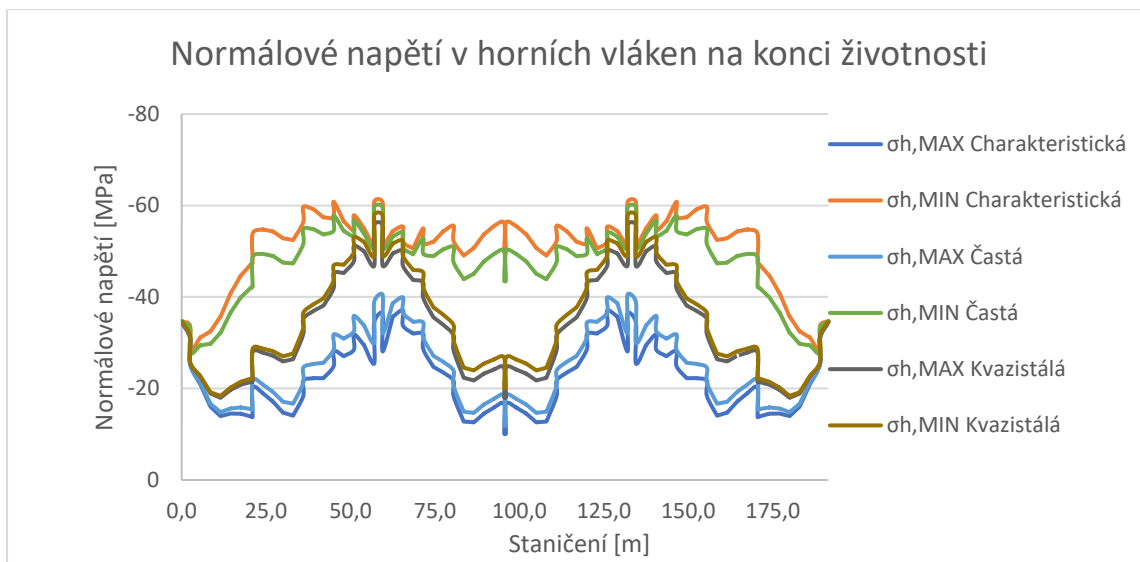
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{1474}{190000} = 7,6 \text{ mm/m}$$

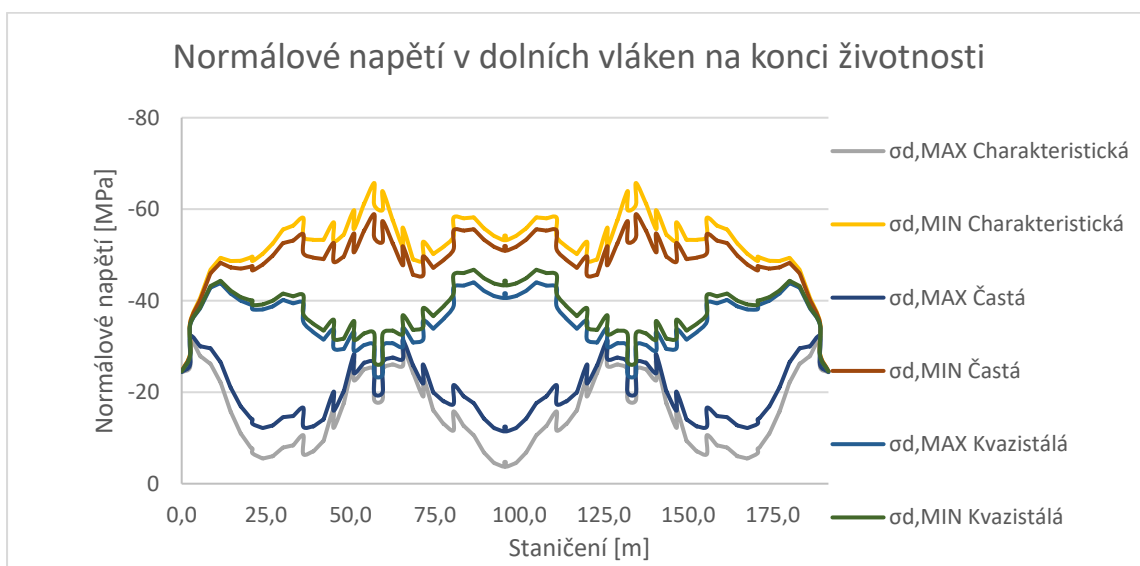
Navrženo bylo 10 lomených průběžných kabelů po 55 lanech.



Obrázek 102. Schéma lomeného kabelu spojitosti



Obrázek 103. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna



Obrázek 104. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna

6.5.1.1 Omezení tlakového napětí

UHPFRC 130

0,6 f_{ck} = 78 MPa

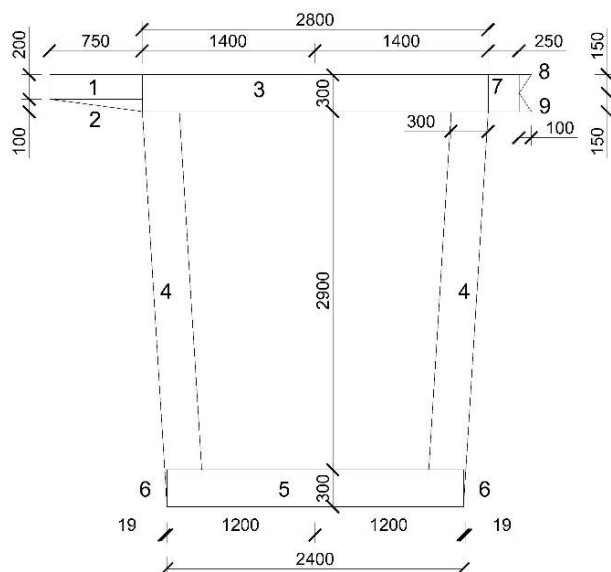
0,45 f_{ck} = 58,5 MPa

Charakteristická kombinace $\sigma_{max} = 65,742 \text{ MPa} < 70 \text{ MPa}$ Vyhovuje

Kvazistálá kombinace $\sigma_{max} = 57,825 \text{ MPa} < 58,5 \text{ MPa}$ Vyhovuje

6.5.2 Přímé kabely pro zesílený průřez

Pro zesílený průřez byly přepočítány průřezové charakteristiky, fáze výstavby, kde byl potřeba navýšit počet lan v konzolových kabelech na 32, redistribuce atd.



Obrázek 105. Schéma zesíleného průřezu

Přímé kabely – ve středním poli

KS1 4 x 50 lan

KS2a 4 x 55 lan

KS2b 2 x 50 lan – taženy přes pilíř

KS3a 4 x 55 lan

KS3b 2 x 55 lan – taženy přes pilíř

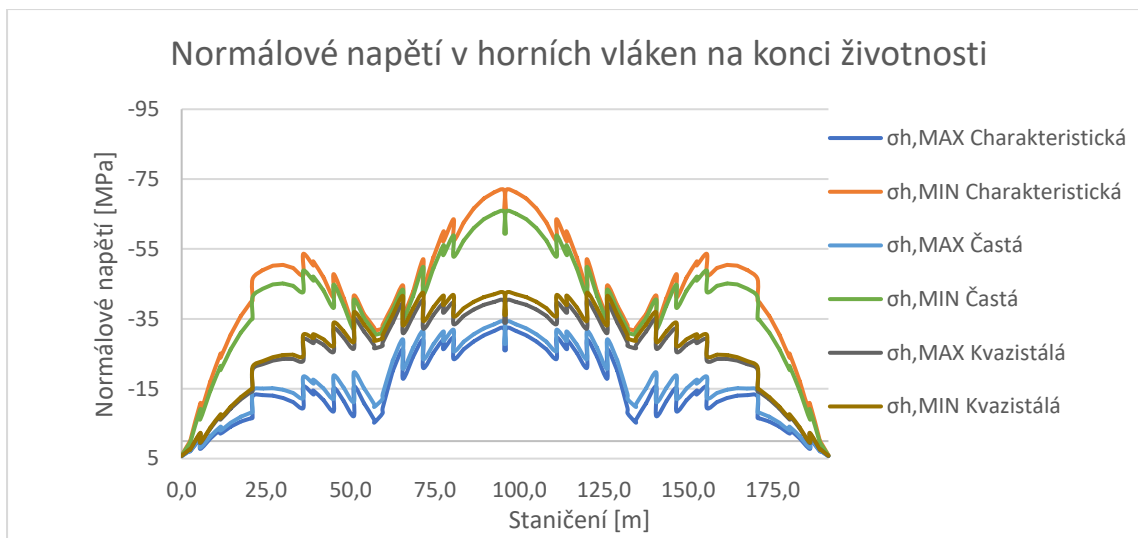
Přímé kabely – v krajním poli

KK1 2 x 40 lan

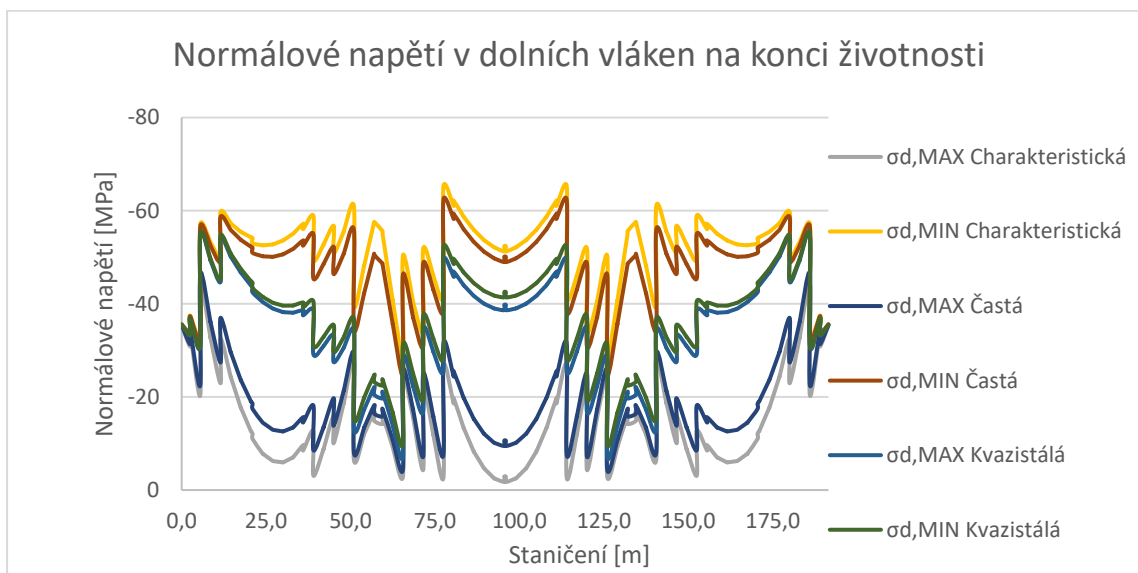
KK2 4 x 50 lan

KK3a 4 x 55 lan

KK3b 2 x 55 lan – taženy přes pilíř



Obrázek 106. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna



Obrázek 107. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna

6.5.2.1 Omezení tlakového napětí

UHPFRC 125

0,6 f_{ck} = 75 MPa

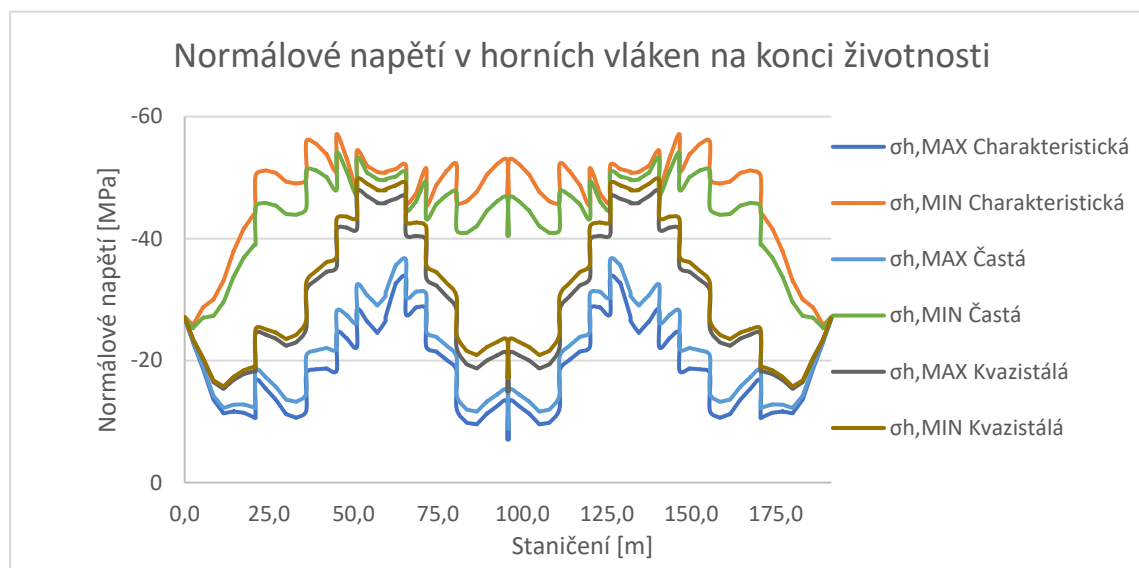
0,45 f_{ck} = 56,25 MPa

Charakteristická kombinace $\sigma_{max} = 71,822 \text{ MPa} < 75 \text{ MPa}$ Vyhovuje

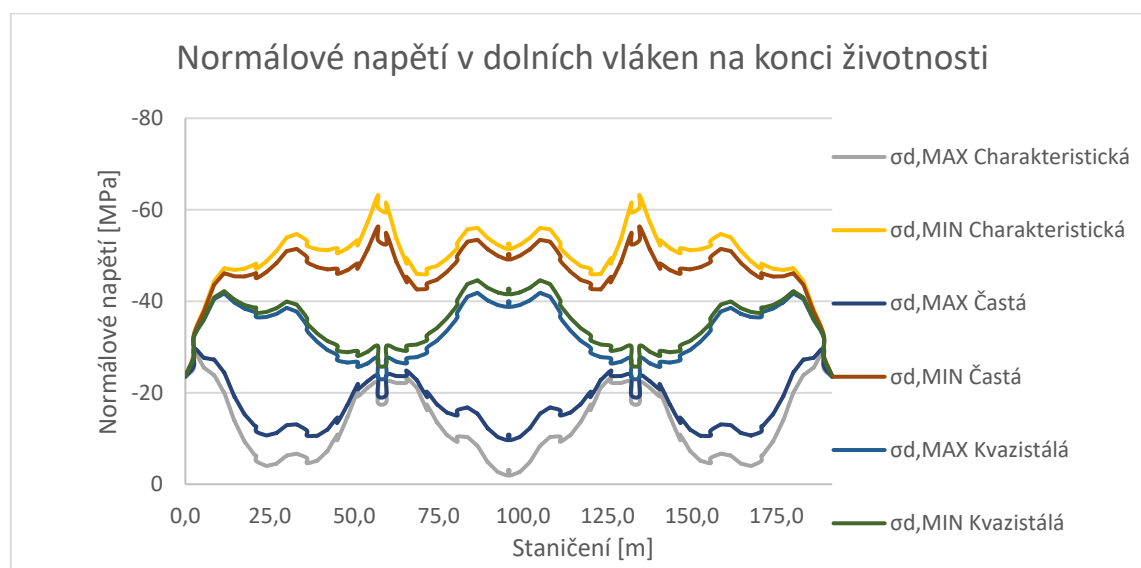
Kvazistálá kombinace $\sigma_{max} = 54,951 \text{ MPa} < 56,25 \text{ MPa}$ Vyhovuje

6.5.3 Lomený kabel pro zesílený průřez

Navrženo bylo 12 lomených průběžných kabelů po 50 lanech.



Obrázek 108. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna



Obrázek 109. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna

6.5.3.1 Omezení tlakového napětí

UHPFRC 115

$0,6 f_{ck} = 69 \text{ MPa}$

$0,45 f_{ck} = 51,75 \text{ MPa}$

Charakteristická kombinace $\sigma_{max} = 63,164 \text{ MPa} < 69 \text{ MPa}$ Vyhovuje

Kvazistálá kombinace $\sigma_{max} = 49,623 \text{ MPa} < 51,75 \text{ MPa}$ Vyhovuje

6.5.4 Shrnutí a porovnání

Srovnání	Základní průřez		Zesílený průřez		Jednotky
	Přímé	Lomené	Přímé	Lomené	
Beton	1151	1151	1650	1650	[m ³]
UHPFRC	160	130	125	115	[MPa]
Předp. výztuž	113	301	340	339	[t]

Tabulka 16. Výpis materiálů variant

Z hlediska spotřeby materiálů vychází nejpříznivěji varianta se základním uspořádáním příčného řezu (bez zesílení) a s přímými kabely spojitosti („kladnými kabely“). Případně by bylo možno uspořádání kabelů spojitosti zkombinovat – použít část kabelů lomených a část přímých (např. z důvodu zjednodušení kotvení).

7 POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

7.1 MS OMEZENÍ NAPĚTÍ A TRHLIN

Konstrukce byla posouzena v kapitole 6. na omezení tlakového napětí v charakteristické a kvazistálé kombinaci.

Mezní stavy použitelnosti byly splněny omezením napětí a splněnou podmínkou dekomprese.

7.2 MS OMEZENÍ DEFORMACÍ

Pro železniční mosty jsou mezní stavy omezení deformací a vibrací uvedeny v ČSN EN 1990, příloha A2. Zde je provedeno posouzení pro následující dva vybrané mezní stavy, které patří do skupiny mezních stavů posuzovaných pro zajištění bezpečnosti dopravy (další skupina posuzovaných mezních stavů slouží k ověření konstrukce z hlediska pohodlí cestujících).

7.2.1 Posouzení svislého průhybu

Maximální průhyb pro železniční mosty od dopravy nesmí přesáhnout hodnotu $l/600$.

Střední pole

$$w_{lim} = 75000/600 = 125,0 \text{ mm}$$

$$w = \max(w_{LM71}; w_{SW/O}) = \max(55,1; 47,1) = 55,1 \text{ mm}$$

$$w = 55,1 \text{ mm} < w_{lim} = 125,0 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Krajní pole

$$w_{lim} = 57000/600 = 95,0 \text{ mm}$$

$$w = \max(w_{LM71}; w_{SW/O}) = \max(31,9; 28,4) = 31,9 \text{ mm}$$

$$w = 31,9 \text{ mm} < w_{lim} = 95,0 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.2.2 Posouzení pootočení nad koncovou opěrou

Pootočení nad opěrou od dopravy nesmí přesáhnout hodnotu $\Phi_{max} = 3,5 \text{ mrad}$

$$\Phi_{LM71} = 1,8 \text{ mrad}; \Phi = \alpha \cdot \Phi_{LM71} = 1,21 \cdot 1,8 = 2,2 \text{ mrad}$$

$$\Phi = 2,2 \text{ mrad} < \Phi_{max} = 3,5 \text{ mrad} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.3 MEZNÍ STAV OMEZENÍ VIBRACÍ

Omezení vibrací nebylo v této práci řešeno.

8 POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

Z hlediska mezních stavů únosnosti bylo provedeno posouzení nosné konstrukce na ohyb, a to v průřezu v poli a v průřezu nad pilířem. Posouzení bylo provedeno v čase uvedení do provozu a na konci životnosti.

Pro výpočet momentu únosnosti byla uvažována nesoudržná předpínací výztuž. Předpokládáme, že tato výztuž nebude na mezi únosnosti zplastizována – uvažujeme v ní napětí v příslušné časové etapě, zvýšené (z důvodu deformace konstrukce na mezi únosnosti) o 100 MPa (u kabelů vedených přes jedno pole), resp. o 100 MPa „děleno“ počtem dotčených polí v případě, že je kabel veden přes větší počet polí.

8.1 MSÚ – VE STŘEDNÍM POLI

$M_{Ed,max,UP} = 152,084 \text{ MNm}$ – maximum z hodnot spočítaných podle vztahu (6.10a), (6.10b)

$M_{Ed,max,KŽ} = 160,926 \text{ MNm}$ – maximum z hodnot spočítaných podle vztahu (6.10a), (6.10b)

$h = 3,5 \text{ m}$

$t = 1,945 \text{ m}$

$f_{cd} = 90,7 \text{ MPa}$

$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$

$f_{p0,1k} = 1637 \text{ MPa}$

$f_{p, kotevní} = 1473 \text{ MPa}$

Předpínací výztuž v posuzovaném průřezu	KS1 4 x 40 lan
	KS2a 2 x 55 lan
	KS2b 2 x 36 lan
	KS3a 4 x 40 lan
	KS3b 2 x 36 lan

$A_p = 0,086 \text{ m}^2$

8.1.1 Uvedení do provozu

Ztráty 10%

$N_{pd} = 122,762 \text{ MN}$

$N_{pd} = N_{cd}$; $N_{pd} = b \cdot e_{ff} \cdot x \cdot f_{cd}$

$x = 0,242 \text{ m} \Rightarrow$ tlačené jsou částečně i stěny komorového průřezu

$x_{stěn} = 0,585 \text{ m} \Rightarrow$ rameno výslednice F_c od horního povrchu = 0,168 m

Rameno F_c a N_{pd}

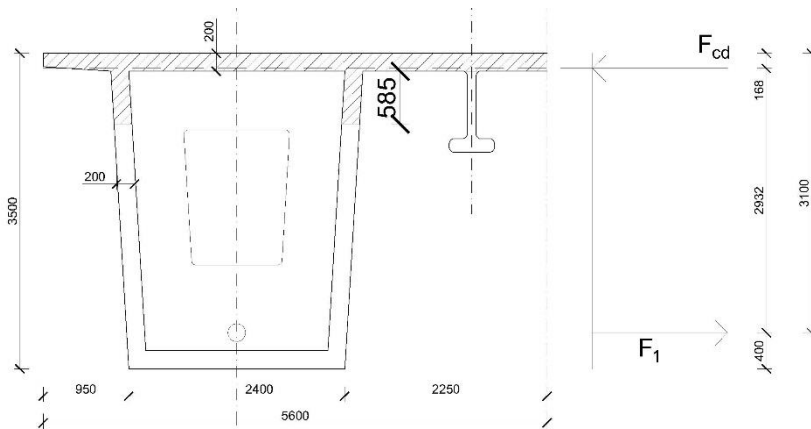
$r = 2,932 \text{ m}$

$$M_{Rd} = N_{pd} \cdot r = 122,762 \cdot 2,832 = 359,959 \text{ MNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} + \Delta M_p = 152,084 + 149,419 = 301,504 \text{ MNm}$$

$$359,959 \text{ MNm} > 301,504 \text{ MNm}$$

Vyhovuje



Obrázek 110. MSU – průřez ve středním poli UP

8.1.2 Konec životnosti

Ztráty 25%

$$N_{pd} = 90,724 \text{ MN}$$

$$N_{pd} = N_{cd}; N_{pd} = b_{eff} \cdot x \cdot f_{cd}$$

$$x = 0,179 \text{ m}$$

rameno výslednice F_c od horního povrchu = 0,089 m

Rameno F_c a N_{pd}

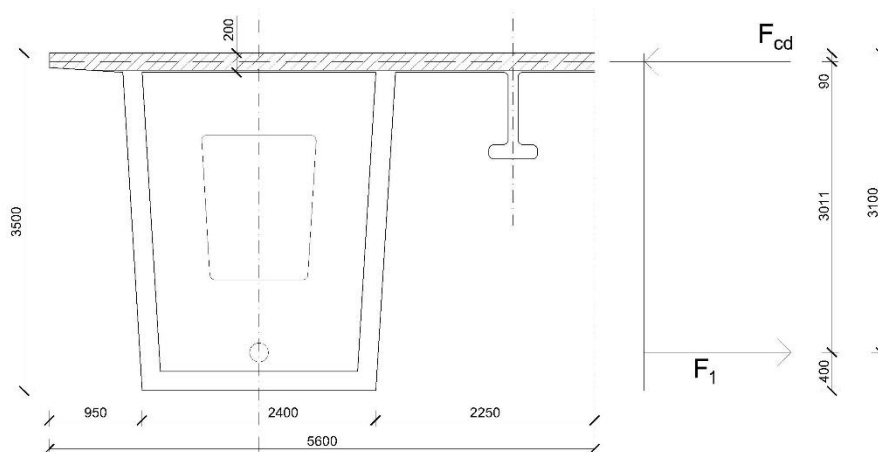
$$r = 3,011 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = N_{pd} \cdot r = 90,724 \cdot 3,011 = 273,140 \text{ MNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} + \Delta M_p = 160,926 + 85,751 = 246,676 \text{ MNm}$$

$$273,140 \text{ MNm} > 246,676 \text{ MNm}$$

Vyhovuje



Obrázek 111. MSU – průřez ve středním poli KŽ

8.2 MSU NAD PILÍŘEM

$$M_{Ed,min,UP} = -228,170 \text{ MNm}$$

$$M_{Ed,min,K\check{Z}} = -226,216 \text{ MNm}$$

$$h = 3,5 \text{ m}$$

$$t = 1,704 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 85 \text{ MPa}$$

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{p0,1k} = 1637 \text{ MPa}$$

$$f_{p, \text{kotevní}} = 1473 \text{ MPa}$$

Předpínací výztuž v posuzovaném průřezu	KS2b 2 x 36 lan
	KS3b 2x 36 lan
	KK3b 2 x 36 lan
	K1,2,3 8 x 24 lan

$$A_p = 0,061 \text{ m}^2$$

8.2.1 Uvedení do provozu

Ztráty 10%

$$N_{pd1} = 46,196 \text{ MN}$$

$$N_{pd2} = 41,063 \text{ MN}$$

$$N_{pd} = N_{cd}; N_{pd} = beff \cdot x \cdot f_{cd}$$

$x = 0,401 \text{ m} \Rightarrow$ tlačené jsou částečně i stěny komory

$x_{stěn} = 0,006 \text{ m} \Rightarrow$ rameno výslednice F_c od horního povrchu = 3,299 m

Ramena sil

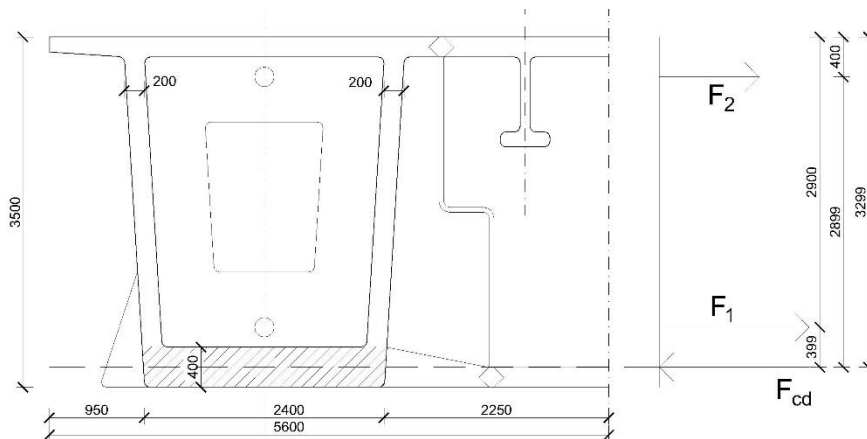
$$r_1 = 0,399 \text{ m}$$

$$r_1 = 2,899 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \sum N_{pd} \cdot r = 46,196 \cdot 0,399 + 41,063 \cdot 2,899 = -137,517 \text{ MNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} + \Delta M_p = -228,170 + 113,980 = -114,190 \text{ MNm}$$

$$-137,517 \text{ MNm} > -114,190 \text{ MNm} \quad \text{Vyhovuje}$$



Obrázek 112. MSU nad pilířem UP

8.2.2 Konec životnosti

Ztráty 25%

$$N_{pd1} = 39,037 \text{ MN}$$

$$N_{pd2} = 34,699 \text{ MN}$$

$$N_{pd} = N_{cd}; N_{pd} = b_{eff} \cdot x \cdot f_{cd}$$

$$x = 0,399 \text{ m}$$

rameno výslednice F_c od horního povrchu = 3,331 m

Ramena sil

$$r_1 = 0,431 \text{ m}$$

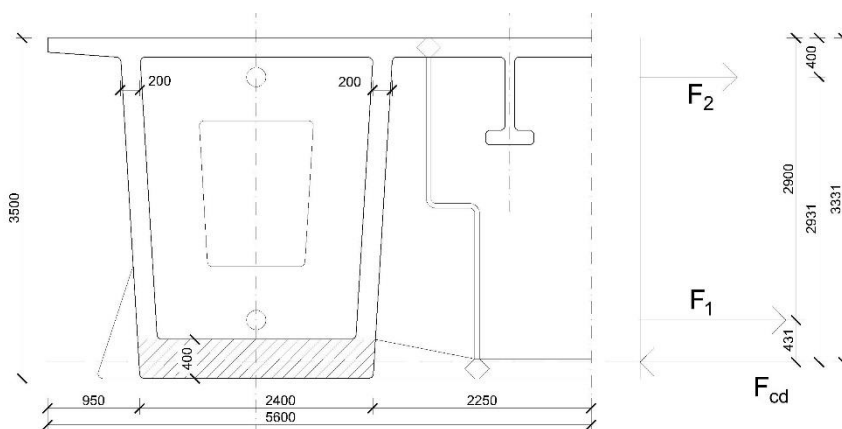
$$r_2 = 2,931 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \sum N_{pd} \cdot r = 39,037 \cdot 0,431 + 34,699 \cdot 2,931 = -118,497 \text{ MNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed} + \Delta M_p = -226,216 + 111,244 = -114,927 \text{ MNm}$$

$$-118,497 \text{ MNm} > -114,927 \text{ MNm}$$

Vyhovuje



Obrázek 113. MSU nad pilířem KŽ

9 ZÁVĚR

Byl proveden návrh uspořádání mostní konstrukce, sestavení výpočetních modelů a porovnání jejich výsledků, návrh a posouzení nosné konstrukce v podélném směru.

Návrh předpětí výztuže byl vybrán ze čtyř zpracovaných variant, ve kterých se porovnávaly kombinace tlouštěk průřezů a vedení předpínací výztuže. Bylo zjištěno, že při vhodném použití volných přímých kabelů spojitosti při spodním povrchu nosné konstrukce („kladných kabelů“) se dosáhne minimální spotřeby předpínací výztuže, přičemž bylo vhodné použít mírně vyšší třídu betonu než pro variantu se zvedanými volnými kabely spojitosti. Případně by bylo možno realizovat kabely spojitosti také v kombinaci kabelů lomených (zvedaných) a přímých („kladných“). U konstrukcí s kvalitní protikorozní ochranou předpínací výztuže by bylo vhodné a ekonomické připustit i tahová namáhání v nosné konstrukci (resp. posuzovat konstrukci z hlediska dekomprese při méně účinné kombinaci než charakteristické). U silně zatížených konstrukcí tohoto typu, použitých zejména pro větší rozpětí polí, by mohlo být vhodné rovněž doplnit dolní desku průřezu i mezi komorovými nosníky a vytvořit tak ve výsledku konstrukci tříkomorovou.

Varianty byly posouzeny ve stavebních fázích během letmé montáže, v čase před a po vnesení ostatního stálého zatížení, v čase uvedení do provozu a na konci jejich životnosti.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Průřezové charakteristiky v poli	21
Tabulka 2. Průřezové charakteristiky nad pilířem	22
Tabulka 3. Průřezové charakteristiky nad opěrou	23
Tabulka 4. Přehled průřezových charakteristik s plnou šířkou desek.....	33
Tabulka 5. Součinitel k_{sur}	38
Tabulka 6. MSU, max - Provozní stav.....	41
Tabulka 7. MSU, min - Provozní stav.....	42
Tabulka 8. MSP - Provozní stav.....	43
Tabulka 9. MSU, max - Stavební stav	44
Tabulka 10. MSU, min - Stavební stav	45
Tabulka 11. MSP - Stavební stav	46
Tabulka 13. MSP – Provozní	65
Tabulka 14. MSP Stavební	67
Tabulka 15. Smršťování a dotvarování od času t_0 do t	75
Tabulka 16. Smršťování a dotvarování od času t_1 do t	75
Tabulka 17. Výpis materiálů variant.....	87

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Schéma rozmístění ložisek	6
Obrázek 2. Příčný řez konstrukcí – vlevo v poli (mimo příčník), vpravo nad pilířem.....	17
Obrázek 3. Model se žebrem	19
Obrázek 4. Model deskostěnový.....	19
Obrázek 5. Model prut	20
Obrázek 6. Průřezové charakteristiky v poli	21
Obrázek 7. Průřezové charakteristiky nad pilířem	22
Obrázek 8. Průřezové charakteristiky nad opěrou	23
Obrázek 9. Definice l_0 pro výpočet spolupůsobící šířky.....	24
Obrázek 10. Průběh napětí na desce nad pilířem P1	29
Obrázek 11. σ_x 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1	29
Obrázek 12. τ_{xy} 3,5 a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1	29
Obrázek 13. τ_{yz} 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1	30
Obrázek 14. Průběh napětí na desce nad polovinou středního pole	30
Obrázek 15. σ_x ve středním poli	30
Obrázek 16. τ_{xy} ve středním poli.....	30
Obrázek 17. τ_{yz} ve středním poli	31
Obrázek 18. Průběh napětí na desce nad pilířem P1	31
Obrázek 19. σ_x 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1	31
Obrázek 20. τ_{xy} 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1	31
Obrázek 21. τ_{yz} 3,5 m a 2,0 m před osou uložení na pilíř P1	32
Obrázek 22. Průběh napětí na desce nad polovinou středního pole	32
Obrázek 23. σ_x ve středním poli	32
Obrázek 24. τ_{xy} ve středním poli.....	32
Obrázek 25. τ_{yz} ve středním poli	33
Obrázek 26. Schéma zatížení SW/0.....	37
Obrázek 27. Průběh teploty po výšce průřezu	38
Obrázek 28. Schéma zatížení větrem	39
Obrázek 29. Výpočetní model („deska s žebry“)	47
Obrázek 30. Vz vlastní tíha nosné konstrukce g_0	48

Obrázek 31. My vlastní tíha nosné konstrukce g_0	48
Obrázek 32. Mx vlastní tíha nosné konstrukce g_0	48
Obrázek 33. Vy ($g-g_0$)m	49
Obrázek 34. My ($g-g_0$)m	49
Obrázek 35. Mx ($g-g_0$)m	49
Obrázek 36. Vz ($g-g_0$)k,sup	50
Obrázek 37. My ($g-g_0$)k,sup	50
Obrázek 38. Mx ($g-g_0$)k,sup	50
Obrázek 39. Vz ($g-g_0$)k,inf	51
Obrázek 40. My ($g-g_0$)k,inf	51
Obrázek 41. Mx ($g-g_0$)k,inf	51
Obrázek 42. Vz nerovnoměrné poklesy podpor.....	52
Obrázek 43. My nerovnoměrné poklesy podpor.....	52
Obrázek 44. Mx nerovnoměrné poklesy podpor.....	52
Obrázek 45. Vz LM71	53
Obrázek 46. My LM71	53
Obrázek 47. Mx LM71	53
Obrázek 48. Vz SW/0.....	54
Obrázek 49. My SW/0.....	54
Obrázek 50. Mx SW/0.....	54
Obrázek 51. Vz Tk – stavební.....	55
Obrázek 52. My Tk – stavební.....	55
Obrázek 53. Mx Tk - stavební.....	55
Obrázek 54. Vz Tk – provozní	56
Obrázek 55. My Tk – provozní.....	56
Obrázek 56. Mx Tk - provozní	56
Obrázek 57. Vy Fwk	57
Obrázek 58. Vz Fwk	57
Obrázek 59. My Fwk	57
Obrázek 60. Mz Fwk.....	57
Obrázek 61. Mx Fwk	58

Obrázek 62. Vz staveništní zatížení.....	58
Obrázek 63. My staveništní zatížení.....	58
Obrázek 64. Mx staveništní zatížení.....	58
Obrázek 65. My 6.10.....	60
Obrázek 66. My 6.10a.....	60
Obrázek 67. My 6.10b.....	60
Obrázek 68. My Charakteristická kombinace	61
Obrázek 69. My Častá kombinace.....	61
Obrázek 70. My Kvizistálá kombinace	61
Obrázek 71. My 6.10.....	62
Obrázek 72. My 6.10a.....	62
Obrázek 73. My 6.10b.....	62
Obrázek 74. My Charakteristická kombinace	63
Obrázek 75. My Kvizistálá kombinace	63
Obrázek 76. My MSU – Extrémy	64
Obrázek 77. MSP - Charakteristická – Provozní	66
Obrázek 78. MSP - Častá – Provozní.....	66
Obrázek 79. MSP - Kvizistálá - Provozní	66
Obrázek 80. MSP - Charakteristická – Stavební.....	68
Obrázek 81. MSP - Kvizistálá - Stavební.....	68
Obrázek 82. Fáze předpínání.....	71
Obrázek 83. Fáze předpínání.....	71
Obrázek 84. Fáze výstavby po segmentech	72
Obrázek 85. Fáze výstavby po segmentech	72
Obrázek 86. Napětí v segmentech na konci předpínání	73
Obrázek 87. Napětí v segmentech na konci předpínání	73
Obrázek 88. Průběh smršťování.....	75
Obrázek 89. Průběh dotvarování.....	75
Obrázek 90. Redistribuce My od vlastní tíhy hlavních nosníků a příčníků	76
Obrázek 91. Redistribuce My od konzolových kabelů	76
Obrázek 92. Schéma rozmístění jednotkových momentů.....	77

Obrázek 93. Počáteční účinky kladných kabelů.....	77
Obrázek 94. Průběh normálového napětí před vnesením (g-g0) – horní vlákna.....	78
Obrázek 95. Průběh normálového napětí před vnesením (g-g0) – dolní vlákna	78
Obrázek 96. Průběh normálového napětí po vnesením (g-g0) – horní vlákna.....	79
Obrázek 97. Průběh normálového napětí po vnesením (g-g0) – dolní vlákna.....	79
Obrázek 98. Průběh normálového napětí při uvedení do provozu – horní vlákna.....	80
Obrázek 99. Průběh normálového napětí při uvedení do provozu – dolní vlákna	80
Obrázek 100. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna	81
Obrázek 101. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna.....	81
Obrázek 102. Schéma lomeného kabelu spojitosti.....	82
Obrázek 103. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna	83
Obrázek 104. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna.....	83
Obrázek 105. Schéma zesíleného průřezu.....	84
Obrázek 106. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna	85
Obrázek 107. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna.....	85
Obrázek 108. Průběh normálového napětí na konci životnosti – horní vlákna	86
Obrázek 109. Průběh normálového napětí na konci životnosti – dolní vlákna.....	86
Obrázek 110. MSU – průřez ve středním poli UP	90
Obrázek 111. MSU – průřez ve středním poli KŽ.....	90
Obrázek 112. MSU nad pilířem UP	92
Obrázek 113. MSU nad pilířem KŽ	92

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Návrh dvoukolejného železničního mostu z UHPFRC prefabrikátů

Design of a double-track railway bridge of UHPFRC precast elements

VÝKRESY

SEZNAM PŘÍLOH

1.	Podélný řez	1:100	4x9 A4
2.	Půdorys	1:100	4x9 A4
3.	Vzorový příčný řez v poli	1:50	3x1 A4
4.	Vzorový příčný řez nad pilířem	1:50	3x1 A4
5.	Pohled na opěru O1	1:100	3x2 A4
6.	Pohled na pilíř P1	1:100	3x2 A4
7.	Schéma předpětí	1:100/50	2x9 A4
8.	Schéma prefabrikátů	1:50	3x A4