

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Diplomová práce

Rekonstrukce silničního mostu II/150 Okrouhlice

Statický výpočet

Vypracoval:

Michal Kulhavý

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.

Rok:

2016/17

Obsah

1	Úvod	4
1.1	Použité program	4
2	Dispozice	4
3	Zatížení nosné konstrukce	6
3.1	Stálé zatížení	6
3.1.1	Vlastní tíha nosné konstrukce	6
3.1.2	Ostatní stálé zatížení.....	6
3.2	Proměnné zatížení	7
3.2.1	Dopravní zatížení	7
3.2.2	Zatížení teplotou.....	10
4	Materiály	11
5	Výpočetní modely	13
5.1	3D model	13
5.1.1	Roznos zatížení	15
5.2	2D model	17
5.2.1	Interakce integrovaného mostu se zeminou	17
5.2.2	Popis 2D modelu	19
5.2.3	Zatížení 2D modelu	21
5.2.3.1	Stálé zatížení	21
5.2.3.2	Proměnné zatížení	24
5.2.4	Výsledky 2D model.....	26
5.2.4.1	Ohybové momenty	26
5.2.4.2	Posouvající síly	33
6	Čadově závislá analýza, model TDA	35
6.1	Postup výstavby.....	36
6.2	Výsledky TDA	44
7	MSP	50
7.1	Geometrie průřezů.....	52
7.2	Kombinace zatížení MSP	58
7.2.1	Kombinační součinitele.....	58
7.2.2	Charakteristická kombinace zatížení.....	59
7.3	Návrh předpětí.....	61
7.4	Výsledná napětí MSP	63
7.5	Hlavní napětí v betonu	71
7.6	Koncový příčnick	97
7.6.1	Výpočtový model 3D	97

7.6.2	Zatížení a kombinace zatížení	100
7.6.3	Výsledky ze 3D modelu	100
7.6.4	Návrh výztuže příčnicku	101
7.7	Pilota.....	102
7.7.1	Zatížení a kombinace zatížení	102
7.7.2	Kombinační součinitele.....	103
7.7.3	Posouzení piloty	104
8	MSÚ.....	108
8.1	Kombinace zatížení MSÚ	108
8.1.1	Kombinační součinitele MSÚ	108
8.1.2	Kombinace zatížení 6.10a a 6.10b	110
8.1.2.1	Ohybové momenty	110
8.1.2.2	Posouvající síly	112
8.2	Ohyb.....	114
8.2.1	Návrhové pracovní diagramy	115
8.2.2	Posouzení MSÚ.....	116
8.3	Smyk.....	134
8.3.1	Smyková únosnost stojiny nosníku	134
8.3.2	Smyk mezi stěnou a přilehlými deskami průřezu tvaru T.....	140
8.3.3	Smyk mezi betony různého stáří	146
8.4	Únava	151
8.4.1	Zatížení a kombinace zatížení na únavu	151
8.4.1.1	Ohybové momenty	152
8.4.1.2	Kombinace zatížení	153
8.4.2	Ověření tlačeného betonu na únavu	156
8.4.3	Ověření betonářské a předpínací výztuže na únavu	161
8.4.3.1	Rozkmit napětí v předpínací výztuži.....	165
9	Seznam literatury	168
9.1	Normy, předpisy, vzorové listy, skripta	168
9.2	Seznam obrázků	169
9.3	Seznam tabulek	173

1 Úvod

V této části diplomové práci se budu zabývat podrobnějším statickým posouzením vybraných částí nosné konstrukce.

1.1 Použité program

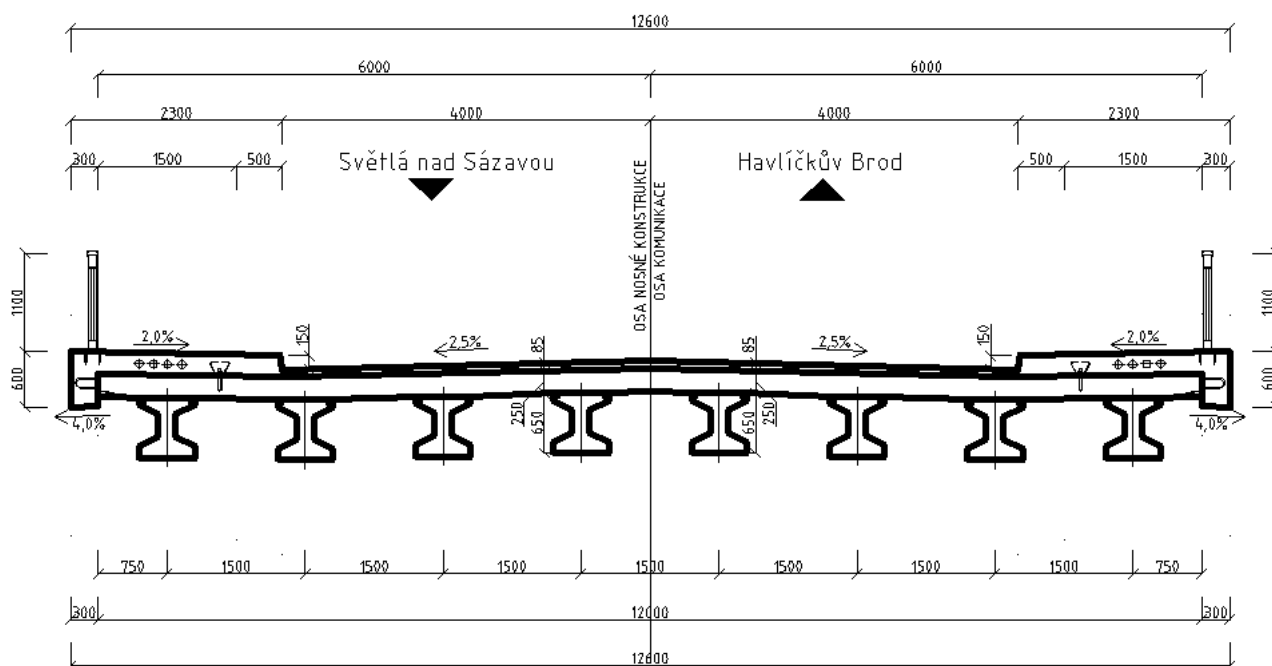
Autocad 2013 – grafický program

Scia Engineer 2009 – výpočetní program

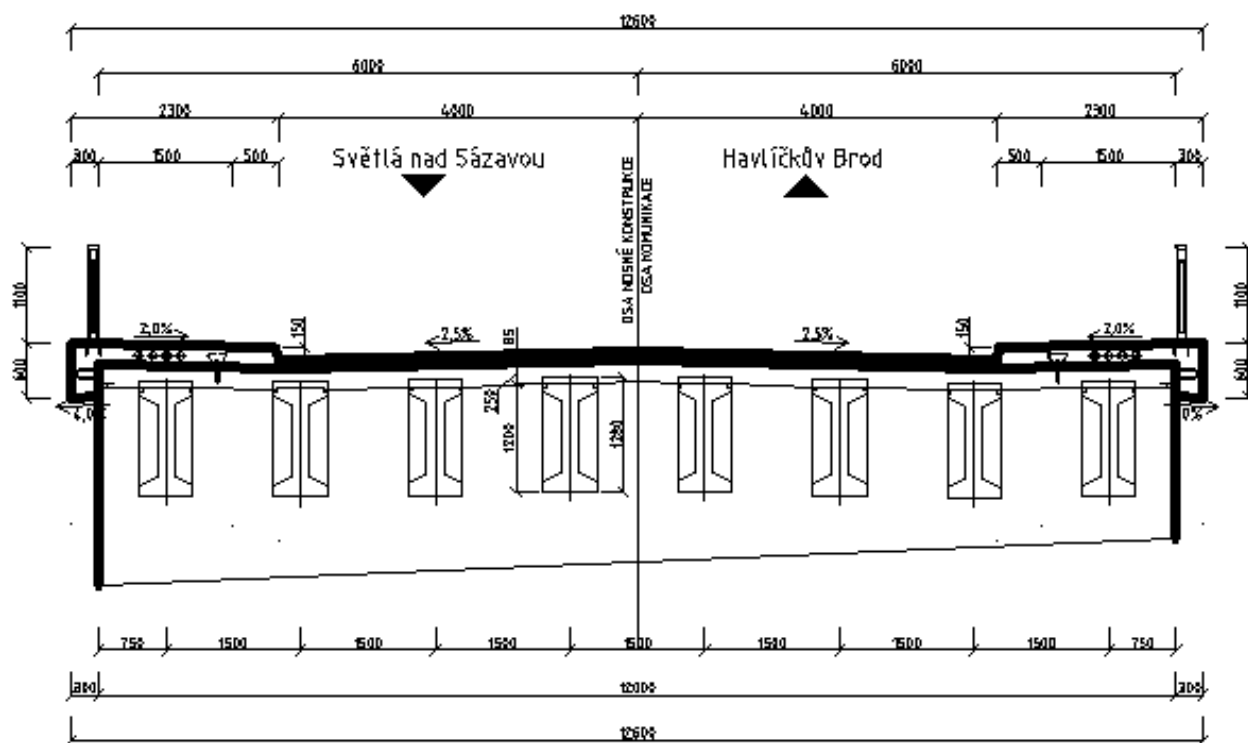
IDEA Statica 7 – výpočetní program

MS Office 2016 (Excel, Word) – tabulkový editor a textový editor

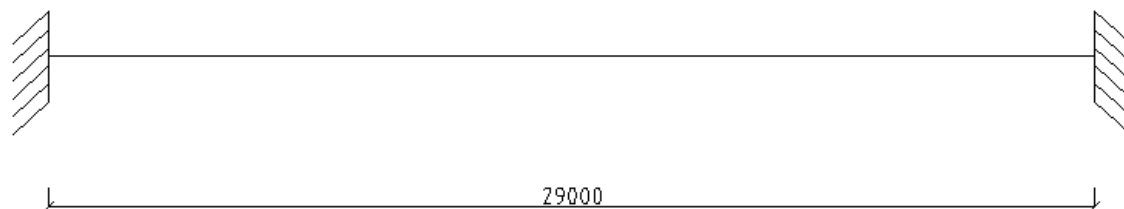
2 Dispozice



Obr. 1: Příčný řez uprostřed rozpětí



Obr. 2: Příčný řez nad podporou



Obr. 3: Statické schéma nosné konstrukce

3 Zatížení nosné konstrukce

3.1 Stálé zatížení

3.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

Vlastní tíha konstrukce je stanovena dle zásad ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

Tab. 1: Hodnoty zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce

	obj. tíha	tloušťka	zatížení	Plocha příčného řezu	zatížení
	kN/m ³	m	kN/m ²	m ²	kN/m
Nosník v = 1 200 mm	26,0			0,348	9,04
Nosník v = 1 100 mm	26,0			0,329	8,55
Nosník v = 1 000 mm	26,0			0,310	8,05
Nosník v = 910 mm	26,0			0,293	7,61
Nosník v = 830 mm	26,0			0,278	7,22
Nosník v = 760 mm	26,0			0,264	6,87
Nosník v = 705 mm	26,0			0,254	6,60
Nosník v = 670 mm	26,0			0,247	6,42
Nosník v = 650 mm	26,0			0,243	6,33
Spřažená deska	25,0	0,250	6,25		

3.1.2 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení je stanoveno dle zásad ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

Tab. 2: Hodnoty zatížení ostatního stálého zatížení

	obj. tíha	tloušťka	zatížení	Plocha příčného řezu	zatížení
	kN/m ³	m	kN/m ²	m ²	kN/m
vozovka	22,0	0,080	1,76		
izolace	23,0	0,005	0,12		
římsa	25,0	0,230	5,75		
římsa volný okraj	25,0			0,177	4,43
zábradlí					0,50

3.2 Proměnné zatížení

3.2.1 Dopravní zatížení

Model zatížení LM 1

Model zatížení LM 1 je dle ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou složen ze dvou dílčích zatěžovacích soustav: soustředěné zatížení od dvounápravy TS a rovnoměrné zatížení UDL.

Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů dle 4.2.3. ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou.

Šířka vozovky je 8,0 m =>

- 1. pruh šířky 3,0 m
- 2. pruh šířky 3,0 m
- zbývající plocha šířky 2,0 m

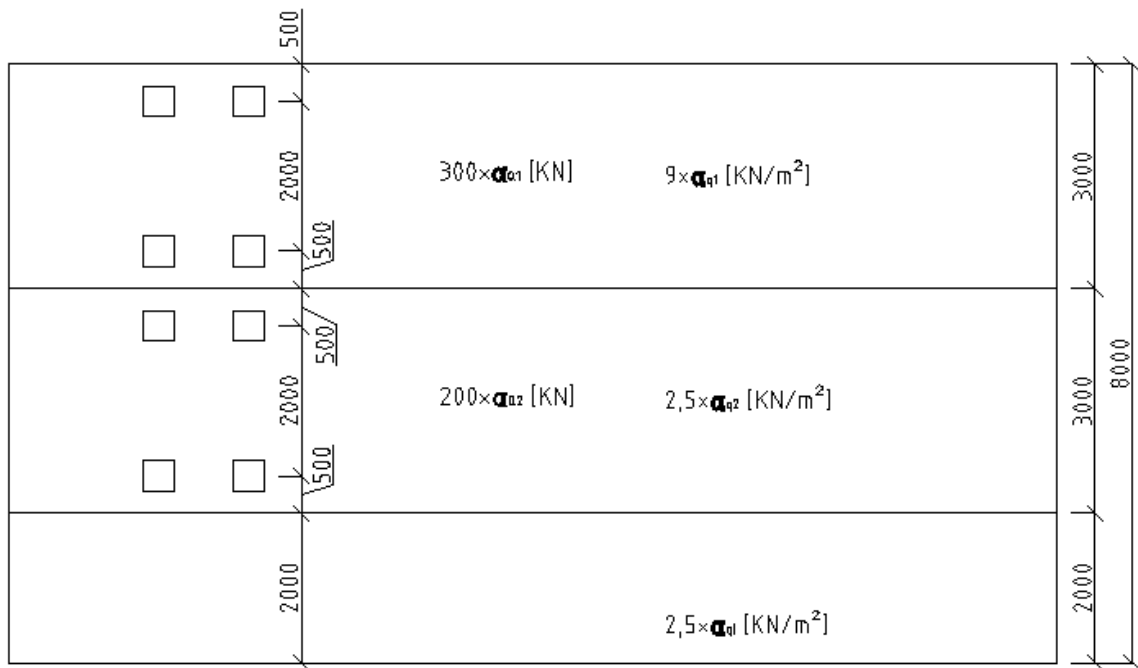
Hodnoty zatížení nápravových sil a rovnoměrného zatížení v jednotlivých pruzích jsou stanoveny dle 4.3.2. ČSN EN 1992-1 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou.

Tab. 3: Hodnoty součinitele α pro nápravové síly/rovnoměrné zatížení pro jednotlivé pruhy

α_{Q1}	1,0	α_{q1}	1,0
α_{Q2}	1,0	α_{q2}	2,4
α_{Q2}	1,0	α_{q3}	1,2
		α_{qi}	1,2

Tab. 4: Hodnoty nápravových sil a rovnoměrného zatížení pro jednotlivé pruhy

Umístění	Dvounáprava (TS)	Rovnoměrné zatížení (UDL)
	nápravové síly Q_k [kN]	q_k [kNm ⁻²]
Pruh č. 1	300,0	9,0
Pruh č. 2	200,0	2,5
Pruh č. 3	100,0	2,5
Ostatní pruhy	0,0	2,5
Zbývající plocha	0,0	2,5

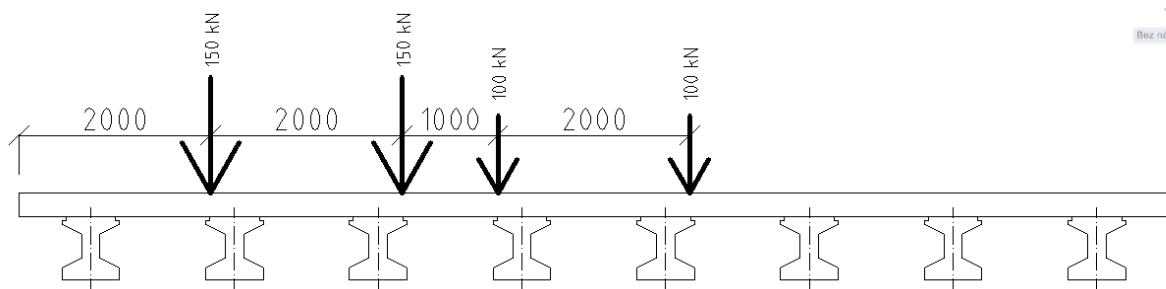


Obr. 4: Rozdělení vozovky na jednotlivé dopravní pruhy a zbyvající plochu

TS

$$Q = 300,0 * \alpha_{Q1} + 200,0 * \alpha_{Q2}$$

$$Q = 300,0 * 1,0 + 200,0 * 1,0 = \mathbf{500,0 \text{ kN}}$$



Obr. 5: Umístění nápravových sil do nejneprůznivější polohy

UDL

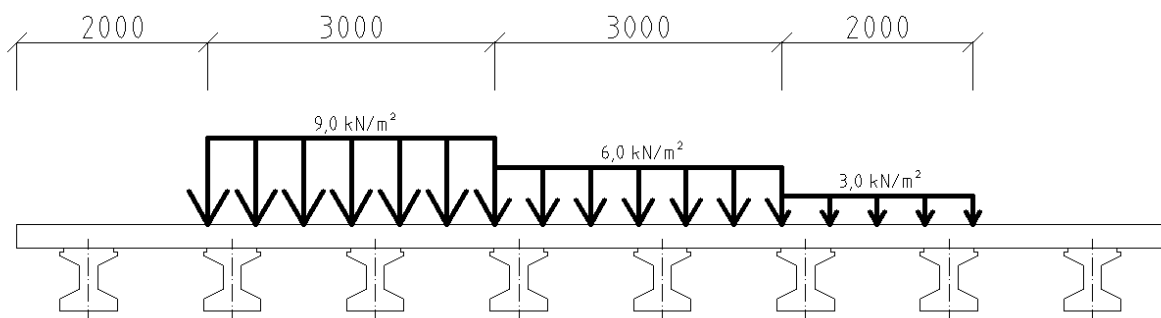
$$w_1 = 9,0 \cdot \alpha_{q1} = 9,0 \cdot 1,0 = \mathbf{9,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$w_2 = 2,5 \cdot \alpha_{q2} = 2,5 \cdot 2,4 = \mathbf{6,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{zbývající plocha} = 2,5 \cdot \alpha_{qi} = 2,5 \cdot 1,2 = \mathbf{3,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$q = 9 \cdot w_1 + 2,5 \cdot w_2 + 2,5 \cdot w_i$$

$$q = 9 \cdot 3,0 + 2,5 \cdot 3,0 + 2,5 \cdot 2,0 = \mathbf{51,0 \text{ kN/m}}$$



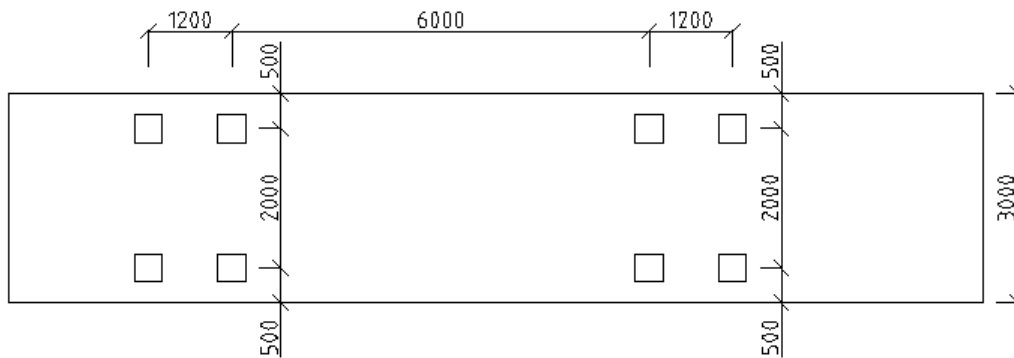
Obr. 6: Umístění rovnoměrného zatížení od dopravy do jednotlivých zatěžovacích pruhů podle polohy nápravových sil

Model zatížení na únavu 1

Model zatížení na únavu 1 má dle 4.6.2 ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou stejné uspořádání jako model zatížení LM 1 s hodnotami nápravových sil $0,7 \cdot Q_{ki}$ a hodnotami rovnoměrného zatížení rovnými $0,3 \cdot q_{ki}$.

Model zatížení na únavu 3 (model jednotlivého vozidla)

Model zatížení na únavu 3 má dle 4.6.4 ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou čtyři nápravy. Každá náprava má dvě identická kola. Nápravová síla každé nápravy je rovna 120 kN



Obr. 7: Geometrické uspořádání modelu na únavu 3

3.2.2 Zatížení teplotou

Zatížení teplotou

Zatížení teplotou se stanoví dle ČSN EN 1991-1-5 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou.

Typ nosné konstrukce 3 (betonový nosník)

T_{\max} 38,0 °C

T_{\min} -34,0 °C

T_0 10,0 °C

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 1,5^{\circ}\text{C} = 38,0 + 1,5 = 39,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,\min} = T_{\min} + 8,0^{\circ}\text{C} = -34,0 + 8,0 = -26,0^{\circ}\text{C}$$

Rovnoměrné složky teploty

$$T_{N,\text{CON}} = T_0 - T_{e,\min} = 10,0 - (-26,0) = 36,0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{N,\text{EXP}} = T_{e,\max} - T_0 = 39,5 - 10,0 = 29,5^{\circ}\text{C}$$

Rozdílové složky teploty

$\Delta T_{\text{M,heat}}$ 15,0 °C

$\Delta T_{\text{M,cool}}$ 8,0 °C

4 Materiály

Beton nosníku – C 50/60

$$f_{ck} = 50,00 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,50$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 37\,000,0 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,0,05} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

$$E_{cd} = \frac{f_{cd}}{\varepsilon_{c3}} = 16\,190,48 \text{ MPa}$$

Beton desky – C 40/50

$$f_{ck} = 40,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,50$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 22,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32\,000,0 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,0,05} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

$$E_{cd} = \frac{f_{cd}}{\varepsilon_{c3}} = 12\,952,38 \text{ MPa}$$

Předpínací výztuž – Y 1860 S7 – 15,7 – třída relaxace 2

$$f_{pk} = 1\,860,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{pd} = \frac{f_{pk}}{\gamma_s} = 1\,617,39 \text{ MPa}$$

$$f_{p,0,1,k} = 1\,670,0 \text{ MPa}$$

$$f_{p,0,1,d} = \frac{f_{p,0,1,k}}{\gamma_s} = 1\,452,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,max} = \min(0,8 * f_{pk}; 0,9 * f_{p,0,1,k}) = 1\,488 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p0,max} = \min(0,75 * f_{pk}; 0,85 * f_{p,0,1,k}) = 1\,395 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195\,000,0 \text{ MPa}$$

$$A_{p1} = 150,0 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon_{pd} = 20,00 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{pd} = \frac{\varepsilon_{pd}}{0,9} = 22,00 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{p,0,1,d} = \frac{f_{p,0,1,d}}{E_p} = 7,45 \text{ ‰}$$

Betonářská výztuž B500B

$$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200\,000,0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,17 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{uk} = 50,00 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{ud} = 0,9 * \varepsilon_{uk} = 45,00 \text{ ‰}$$

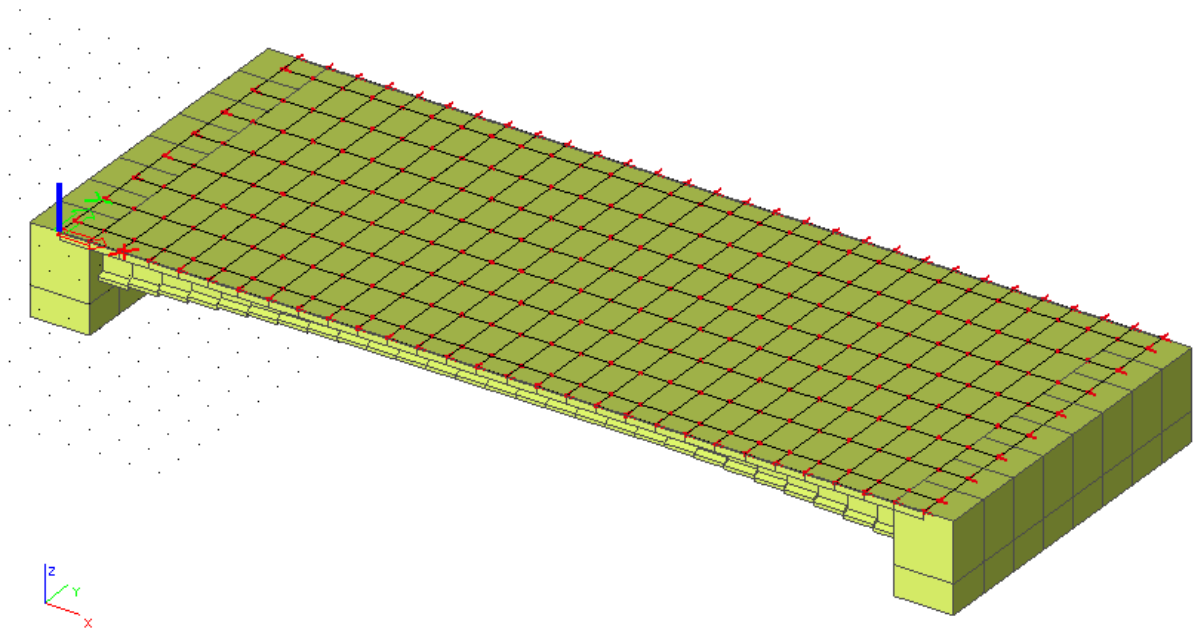
5 Výpočetní modely

5.1 3D model

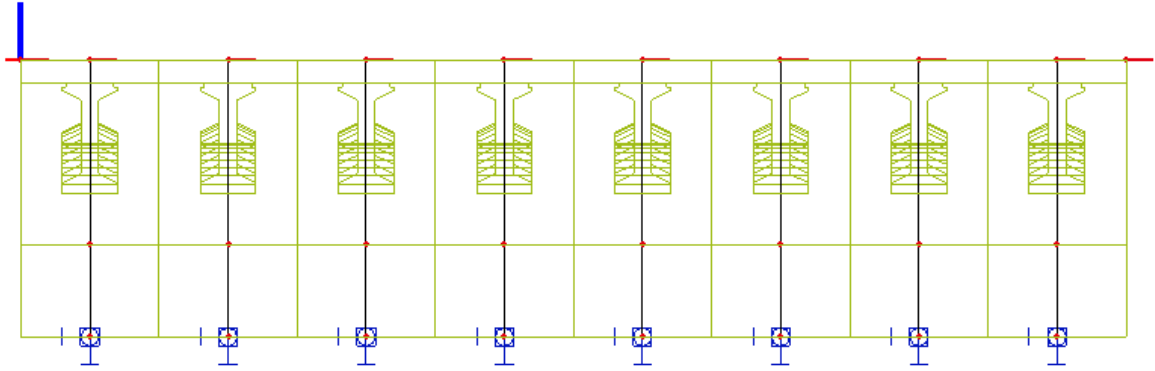
Z důvodu nerovnoměrného roznosu zatížení na jednotlivé nosníky byl zvolen 3D model nosné konstrukce, který měl specifikovat tento roznos pro jednotlivé zatěžovací stavy.

Tento model je vytvořen v programu Scia engineer 2009 v prostoru „obecná XYZ“. Nosná konstrukce mostu je tvořena 8 prefabrikovanými nosníky spojenými spřaženou deskou. Spolupůsobící šířka jednotlivých nosníků je stanovena polovinou vzdálenosti mezi jednotlivými nosníky resp. vyložením konzol na vnějších okrajích.

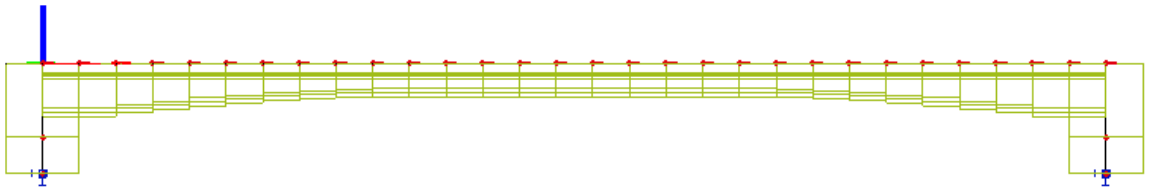
3D model nosné konstrukce byl modelován jako deska se žebry s koncovými příčnicíky podepřenými bodovými podporami. Žebra byla skutečného průřezu. Tento model respektuje skutečnou geometrii průřezu.



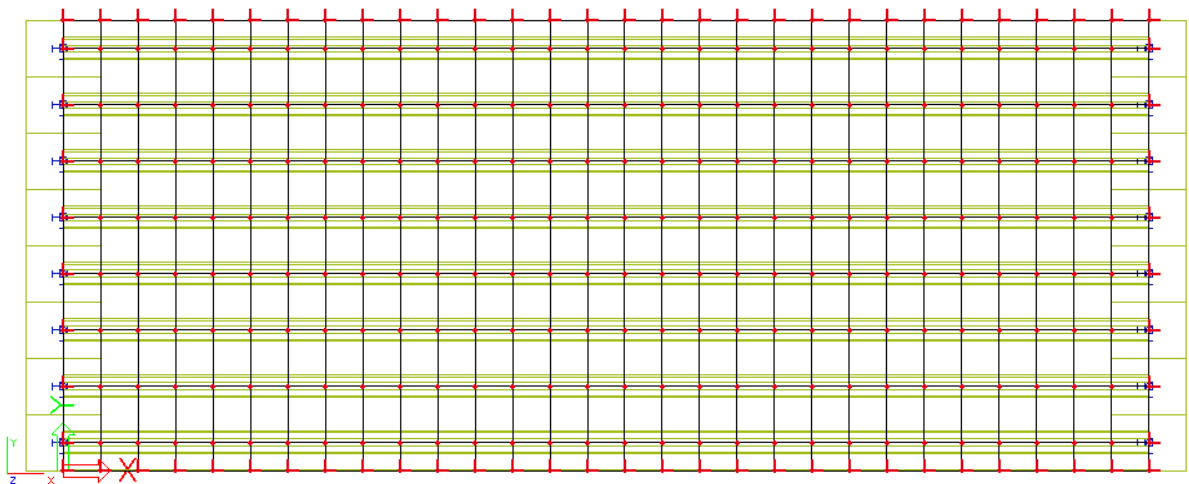
Obr. 8: 3D model nosné konstrukce - pohled AXO



Obr. 9: 3D model nosné konstrukce – pohled v ose X



Obr. 10: 3D model nosné konstrukce – pohled v ose Y



Obr. 11: 3D model nosné konstrukce – pohled v ose Z

5.1.1 Roznos zatížení

Roznos zatížení na jednotlivé nosníky byl vyšetřován na 3D modelu popsaném výše. Pro zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce (nosníky, spřažená deska) se roznos neurčuje, při betonáži působí nosníky samostatně a přenáší část desky ohraničenou polovinou vzdálenosti mezi sousedními nosníky. Výsledné roznosy jsou sepsány v následující tabulce.

Tab. 5: Výsledné roznosy ze 3D modelu na jednotlivé nosníky uprostřed pole

Uprostřed rozpětí								
Zatížení	Nosník							
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
Vozovka	8,88%	11,61%	14,05%	15,46%	15,46%	14,05%	11,61%	8,88%
Vrchní část římsy	20,26%	14,26%	9,18%	6,30%	6,30%	9,18%	14,26%	20,26%
Okraj římsy	25,11%	15,06%	7,09%	2,74%	2,74%	7,09%	15,06%	25,11%
Zábradlí	25,11%	15,07%	7,10%	2,72%	2,72%	7,10%	15,07%	25,11%
Chodci	20,26%	14,26%	9,18%	6,30%	6,30%	9,18%	14,26%	20,26%
LM 1 - q	12,37%	14,60%	16,22%	16,33%	14,79%	11,97%	8,54%	5,17%
LM 1 - Q	14,89%	19,51%	20,86%	18,37%	13,95%	8,13%	3,64%	0,65%
LM 1 - q1	12,37%	14,60%	16,22%	16,33%	14,79%	11,97%	8,54%	5,17%
LM 1 - Q1	11,80%	18,01%	20,62%	20,56%	15,09%	8,86%	4,12%	0,94%
LM 1 - q2	9,30%	12,32%	15,01%	16,44%	16,01%	13,72%	10,35%	6,85%
LM 1 - Q2	11,17%	15,65%	18,83%	20,04%	17,10%	10,45%	5,12%	1,65%

Tab. 6: Výsledné roznosy ze 3D modelu na jednotlivé nosníky nad podporou

nad Podporou								
Zatížení	Nosník							
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
Vozovka	7,26%	11,58%	14,77%	16,38%	16,38%	14,77%	11,58%	7,26%
Vrchní část římsy	23,18%	14,46%	7,82%	4,54%	4,54%	7,82%	14,46%	23,18%
Okraj římsy	30,33%	13,89%	4,71%	1,07%	1,07%	4,71%	13,89%	30,33%
Zábradlí	30,33%	13,88%	4,71%	1,08%	1,08%	4,71%	13,88%	30,33%
Chodci	23,18%	14,46%	7,82%	4,54%	4,54%	7,82%	14,46%	23,18%
LM 1 - q	10,49%	14,88%	17,47%	17,52%	15,54%	12,21%	8,15%	3,73%
LM 1 - Q	16,11%	18,77%	19,79%	17,92%	13,75%	8,89%	4,38%	0,40%
LM 1 - q1	10,49%	14,88%	17,47%	17,52%	15,54%	12,21%	8,15%	3,73%
LM 1 - Q1	13,13%	17,30%	19,91%	19,11%	15,02%	9,83%	5,01%	0,69%
LM 1 - q2	7,46%	12,17%	15,82%	17,80%	17,37%	14,37%	9,96%	5,05%
LM 1 - Q2	11,93%	15,72%	18,47%	18,87%	16,09%	11,22%	6,19%	1,50%

Dopravní zatížení od normové sestavy LM1 umístěné nejučinnější poloze vyvozuje největší procentuální účinky na nosník č. 4. Pro statické posouzení byl ovšem zvolen nosník č. 3, který je i přes nižší zatížení od dopravy zatížený více z důvodu většího podílu ostatního stálého zatížení.

5.2 2D model

Tento rovinný model již respektuje spolupůsobení integrovaného mostu se zemínou a je proto modelován včetně spodní stavby a založení.

5.2.1 Interakce integrovaného mostu se zemínou

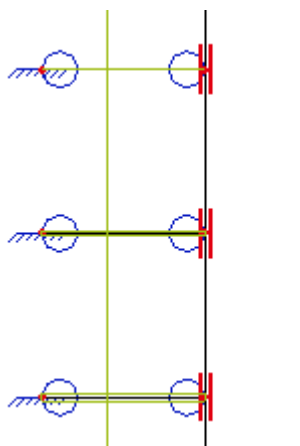
Interakce integrované mostu resp. pilot se zemínou se modelují pomocí pružných podpor. To program Scia engineer v lineárním 2D výpočtu umožňuje, ovšem v modulu TDA to možné není. Proto bylo potřeba pružné podpory nahradit podporami ve formě kyvných prutů různých tuhostí.

Zeminy a horniny, které přiléhají k pilotě, jsou v následující tabulce vč. charakteristik potřebných k výpočtu.

Tab. 7: Jednotlivé zeminy a horniny a jejich parametry

Zemina/hornina	E_{def} [MPa]	ϕ_{ef} [°]
Hlína písčítá F3-MS	7	26
Zvětralé skalní podloží R5	200	30
Navětralé skalní podloží R4	600	35
Téměř zdravé skalní podloží R3	1000	40

Kyvné pruty byly modelovány jako ocelové pruty čtvercového průřezu s vnitřními klouby na obou koncích zakončené vetknutím.



Obr. 12: Modelování kyvných prutů v programu Scia engineer 2009

K výpočtu rozměrů kyvných prutů bylo nejprve nutné zjistit hodnoty modulu reakce podloží. V tomto případě uvažovaném konstantní hodnotou po hloubce jednotlivých vrstev.

$$k_h = \frac{3 * E_{def}}{2 * r} [MN/m^3]$$

E_{def} – modul deformace zeminy [MPa]

r – redukovaná šířka piloty [m]

Redukovaná šířka piloty se stanoví ze vztahu:

$$r = d + 2 * d * \tan(\beta) [m]$$

d – redukovaná šířka piloty [m]

β – úhel roznášení, jeho hodnota závisí na úhlu vnitřního tření φ [°]

Modul reakce podloží k_h byl převeden z MN/m^3 na MN/m tj. působení zeminy na 1bm šířky a výšky, aby se dala jeho hodnota porovnávat s normálovou tuhostí prutu EA. Délka strany kyvných prutů čtvercového průřezu byla stanovena přes normálovou tuhost prutu EA, modul reakce podloží k_h a zvolenou délku kyvných prutů 1bm.

$$k_h = \frac{EA}{L} [MN/m]$$

E – modul pružnosti kyvného prutu (oceli) [MPa]

A – plocha kyvného prutu [m^2]

L – délka kyvného prutu [m]

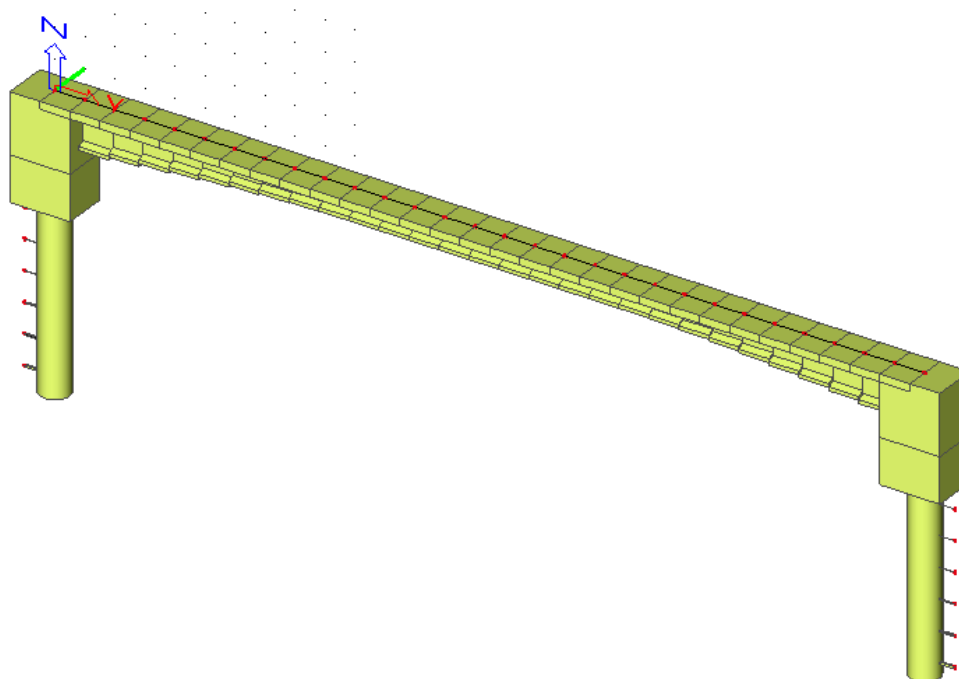
Výsledné rozměry kyvných prutů vč. hodnot parametrů potřebných k jejich vypočtení jsou v tabulce.

Tab. 8: Parametry kyvných prutů

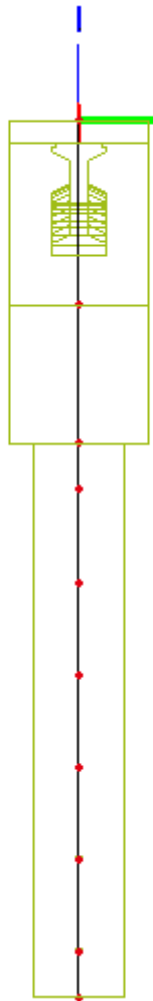
Zemina/hornina	β [°]	r [m]	k_h [MN/m]	E [MPa]	L [mm]	A [mm ²]	b [mm]
Hlína písčítá F3-MS	8,67	1,57	6,71	210 000,0	1,0	31,93	5,65
Zvětralé skalní podloží R5	10,00	1,62	184,82	210 000,0	1,0	880,10	29,67
Navětralé skalní podloží R4	11,67	1,70	530,80	210 000,0	1,0	2 527,61	50,28
Téměř zdravé skalní podloží R3	13,33	1,77	848,03	210 000,0	1,0	4 038,23	63,55

5.2.2 Popis 2D modelu

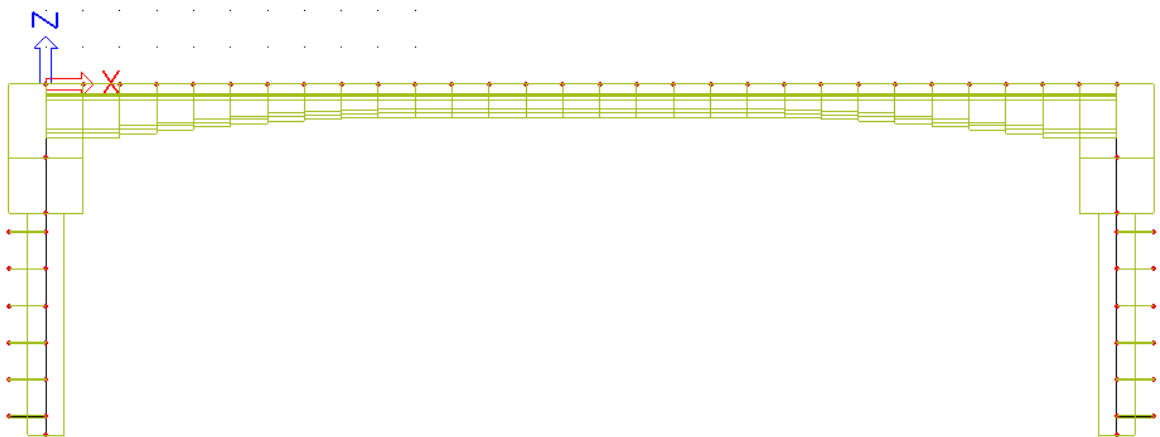
Tento model byl modelován v rovině „rám XZ“. Jedná se o prutový model, který zobrazuje výřez konstrukce s jedním prefabrikovaným nosníkem. Do programu Scia engineer 2009 byly importovány nosníky skutečného průřezu se spřaženou deskou odpovídající šířky. 2D model byl následně zatížen dle zjištěných roznosů ze 3D modelu.



Obr. 13: 2D model nosné konstrukce - pohled AXO



Obr. 14: 2D model nosné konstrukce – pohled v ose X



Obr. 15: 2D model nosné konstrukce – pohled v ose Y



Obr. 16: 2D model nosné konstrukce – pohled v ose Z

5.2.3 Zatížení 2D modelu

5.2.3.1 Stálé zatížení

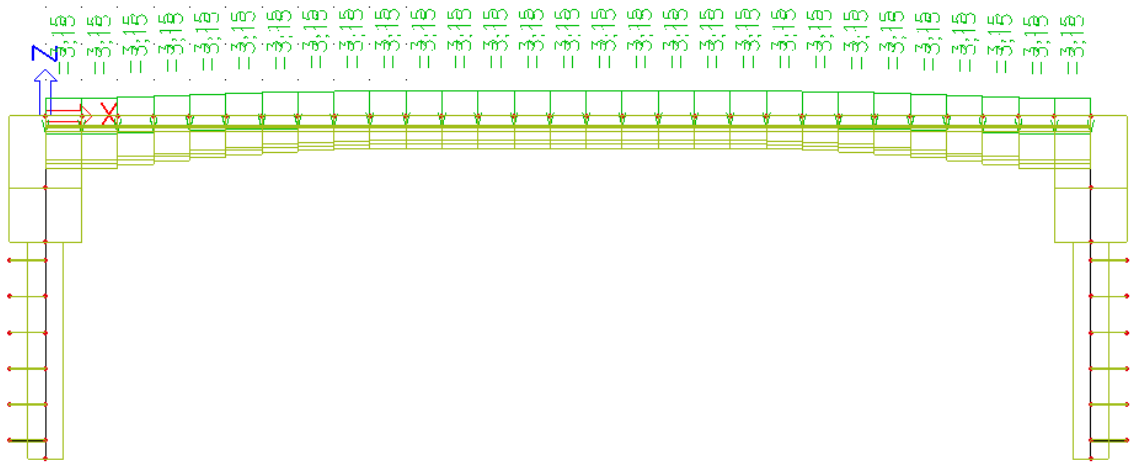
5.2.3.1.1. Vlastní tíha nosné konstrukce

Tab. 9: Hodnoty zatížení 2D modelu od vlastní tíhy nosné konstrukce

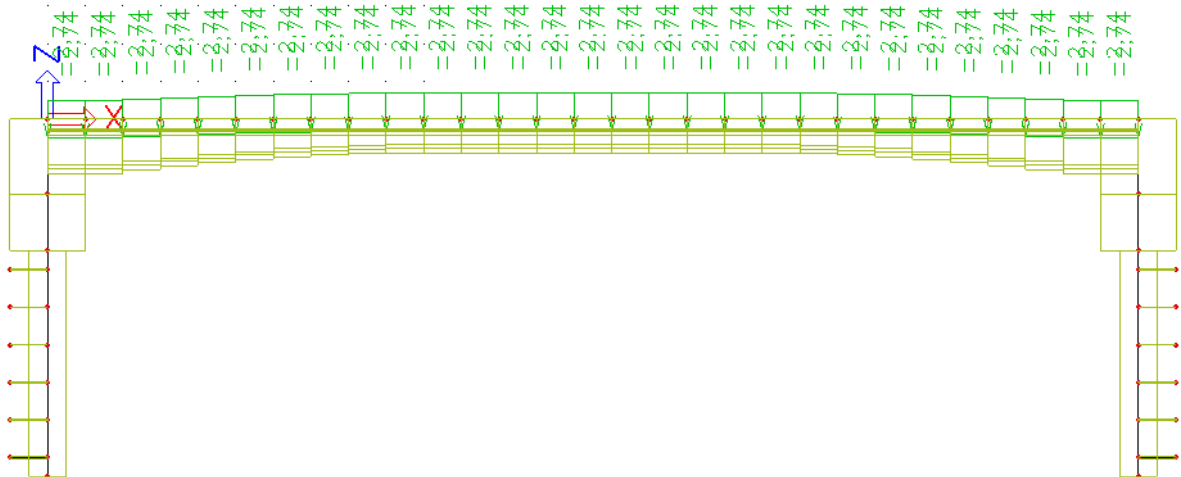
	obj. tíha	tloušťka	zatížení	zat. plocha	zatížení	roznos	zatížení
	kN/m ³	m	kN/m ²	m ²	kN/m	%	kN/m
Nosník v = 1 200 mm	26,0			0,348	9,04	100,00%	9,04
Nosník v = 1 100 mm	26,0			0,329	8,55	100,00%	8,55
Nosník v = 1 000 mm	26,0			0,310	8,05	100,00%	8,05
Nosník v = 910 mm	26,0			0,293	7,61	100,00%	7,61
Nosník v = 830 mm	26,0			0,278	7,22	100,00%	7,22
Nosník v = 760 mm	26,0			0,264	6,87	100,00%	6,87
Nosník v = 705 mm	26,0			0,254	6,60	100,00%	6,60
Nosník v = 670 mm	26,0			0,247	6,42	100,00%	6,42
Nosník v = 650 mm	26,0			0,243	6,33	100,00%	6,33
Spřažená deska 250x1500 mm	25,0	0,250	6,25	0,375	9,38	100,00%	9,38

5.2.3.1.2. Ostatní stálé zatížení

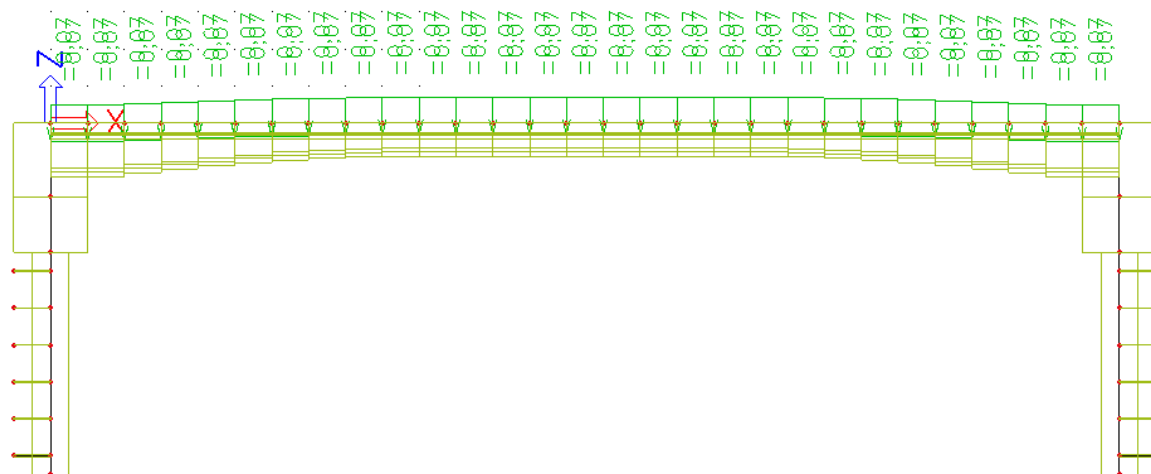
	obj. tíha	tloušťka	zatížení	zat. plocha	zatížení	roznos	zatížení
	kN/m ³	m	kN/m ²	m ²	kN/m	%	kN/m
vozovka 1 500 mm	22,0	0,085	1,87	1,020	22,44	14,05%	3,15
římsa 2 x 2 000 mm	25,0	0,230	5,75	0,460	23,00	9,18%	2,11
římsa volný okraj 2x	25,0			0,177	8,86	7,09%	0,63
zábradlí 2x					1,00	7,10%	0,07



Obr. 19: Zatížení 2D modelu vozovkou



Obr. 20: Zatížení 2D modelu římsami



Obr. 21: Zatížení 2D modelu zábradlím

5.2.3.2 Proměnné zatížení

5.2.3.2.1. Zatížení dopravou

Model zatížení LMI

Tab. 10: Hodnoty zatížení 2D modelu od modelu LMI

	zatížení		roznos	zatížení	
	kN	kN/m	%	kN	kN/m
Nápravové síly TS	500,00		16,22%	81,12	
Rovnoměrné zatížení UDL		51,00	20,86%		10,64

Chodci

Tab. 11: Hodnoty zatížení 2D od chodců

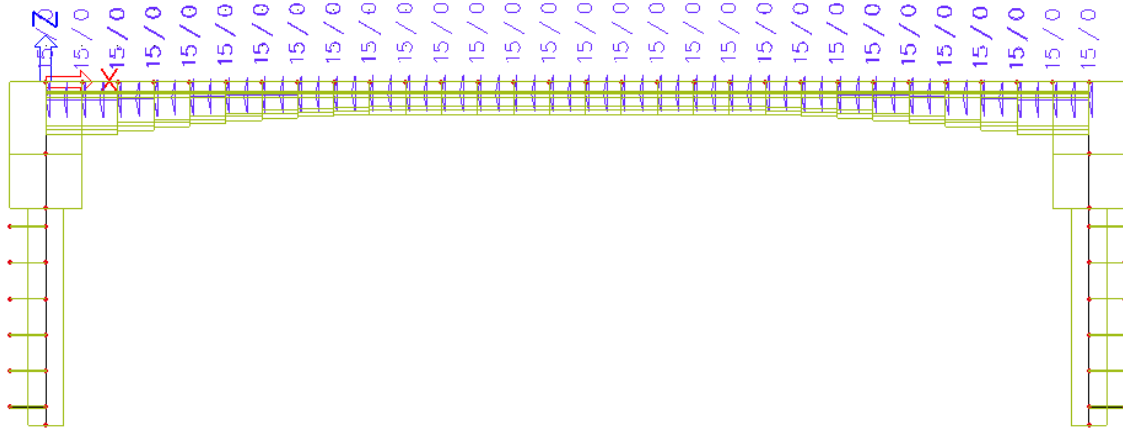
	zatížení	zat. šířka	zatížení	roznos	zatížení
	kN/m ²	m	kN/m	%	kN/m
Chodci 2x2 000 mm	5,0	2,0	20,00	9,18%	1,84

5.2.3.2.2. Zatížení teplotou

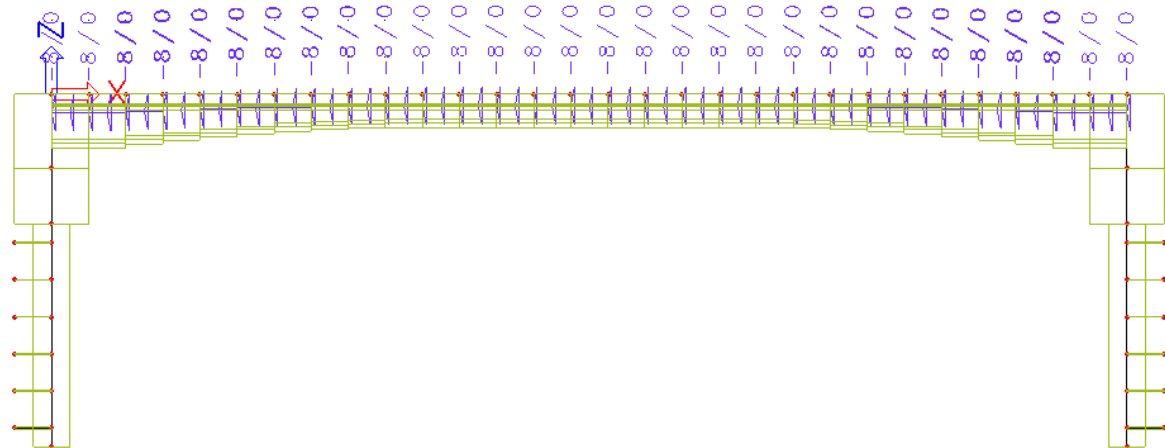
Nerovnoměrná teplota

$\Delta T_{M,heat}$ 15,0 °C

$\Delta T_{M,cool}$ 8,0 °C



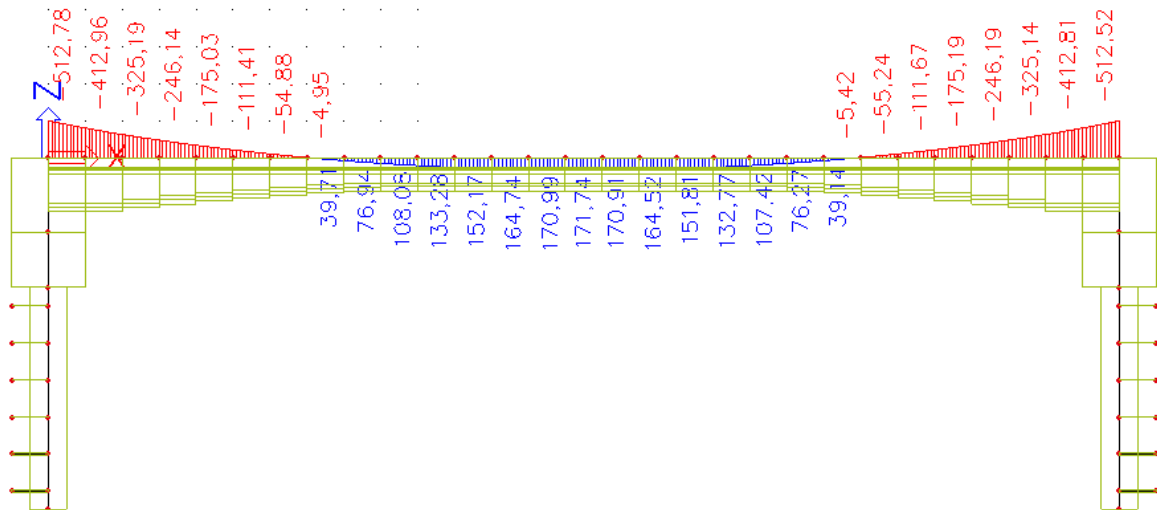
Obr. 22: Zatížení 2D modelu nerovnoměrným oteplením



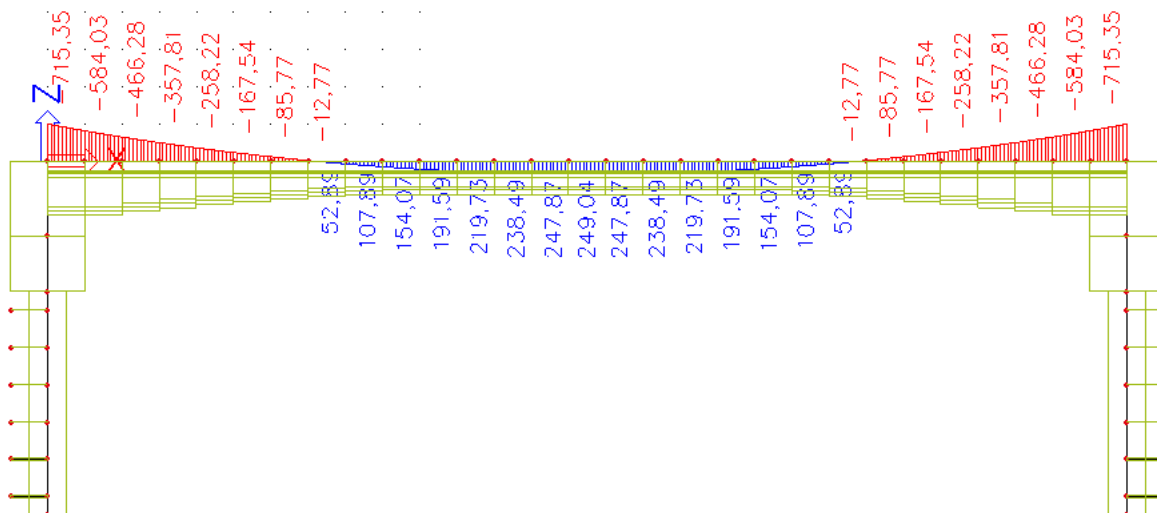
Obr. 23: Zatížení 2D modelu nerovnoměrným ochlazením

5.2.4 Výsledky 2D model

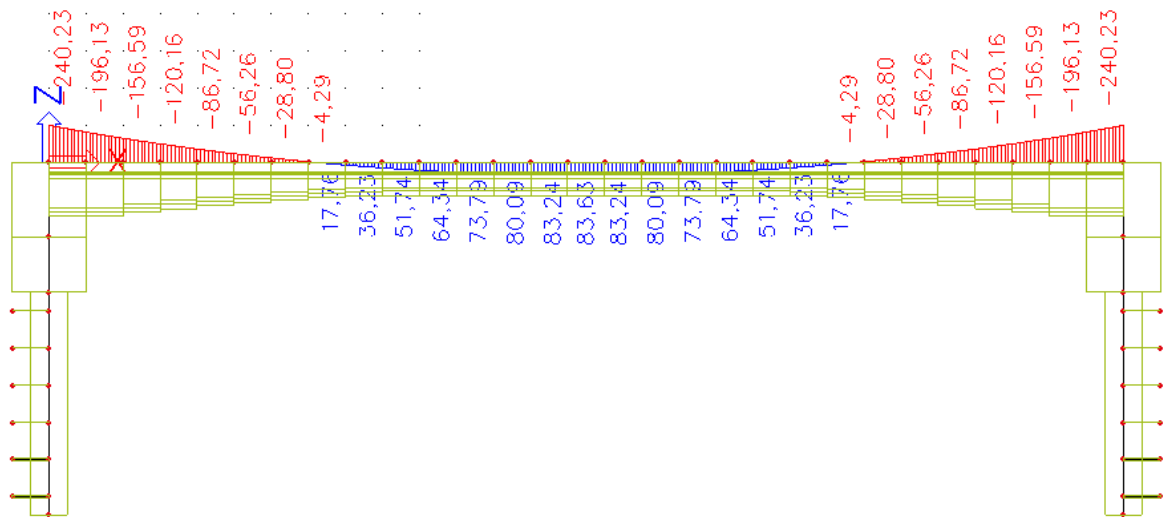
5.2.4.1 Ohybové momenty



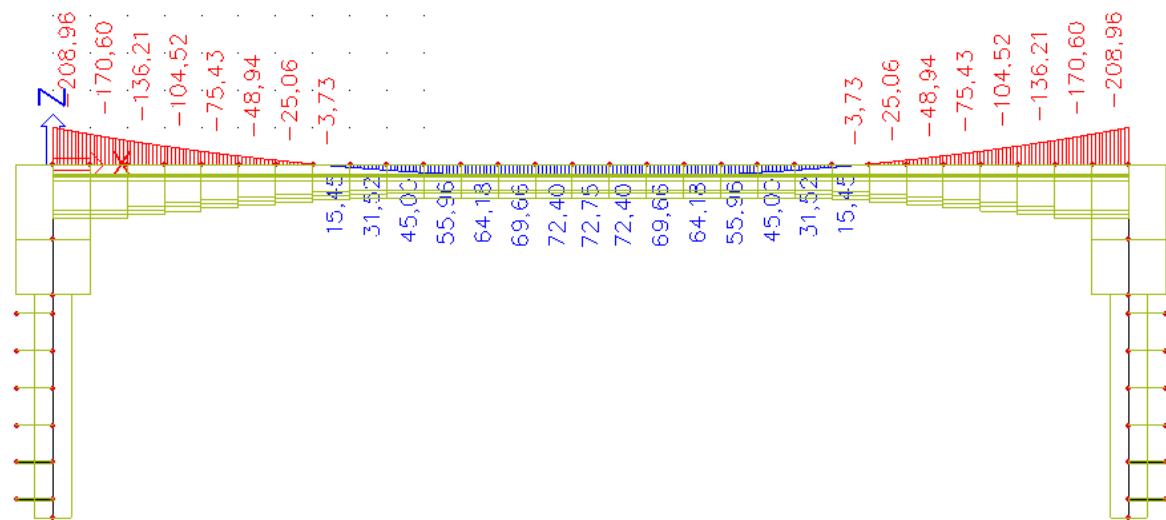
Obr. 24: Ohybové momentu na 2D modelu od vlastní tíhy prefabrikovaných nosníků



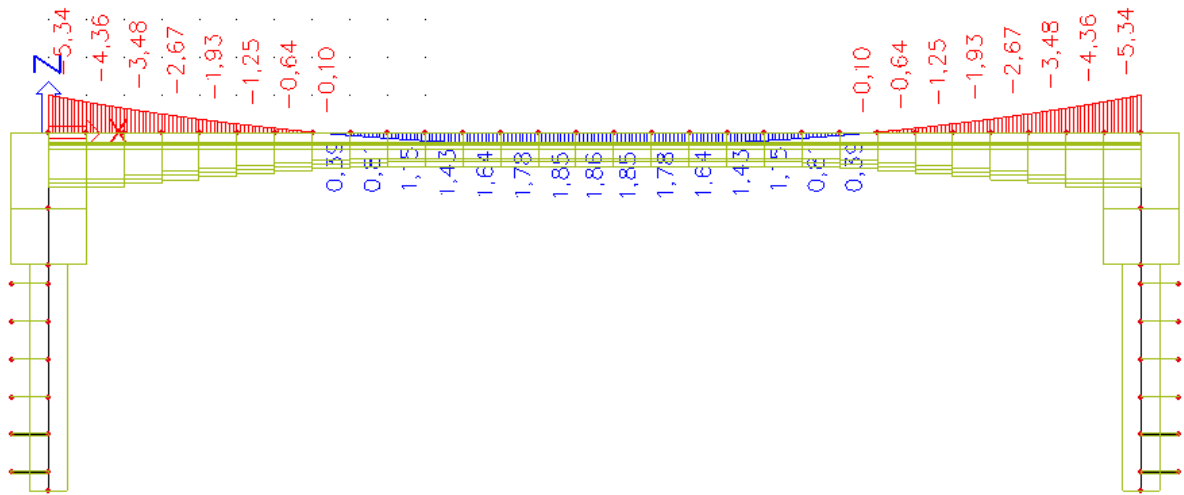
Obr. 25: Ohybové momentu na 2D modelu od vlastní tíhy sprážené desky



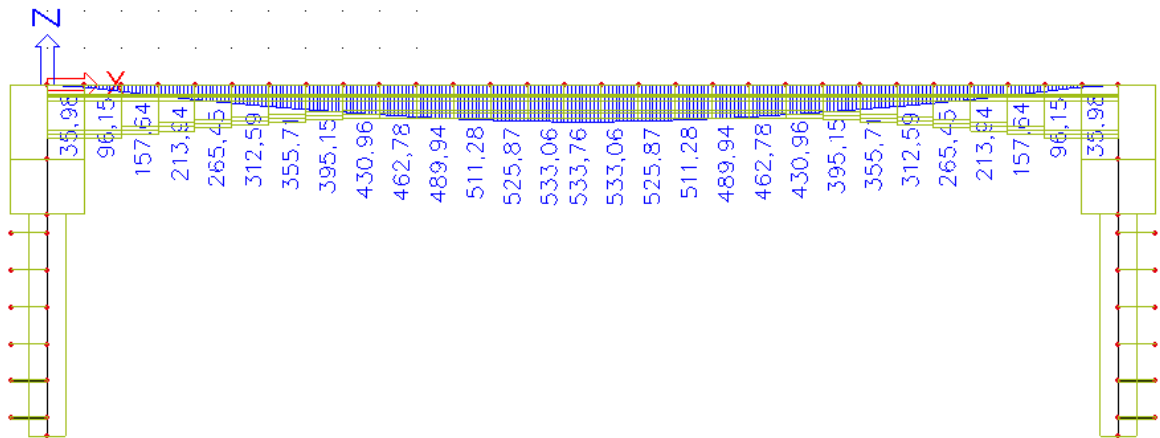
Obr. 26: Ohybové momentu na 2D modelu od vozovky



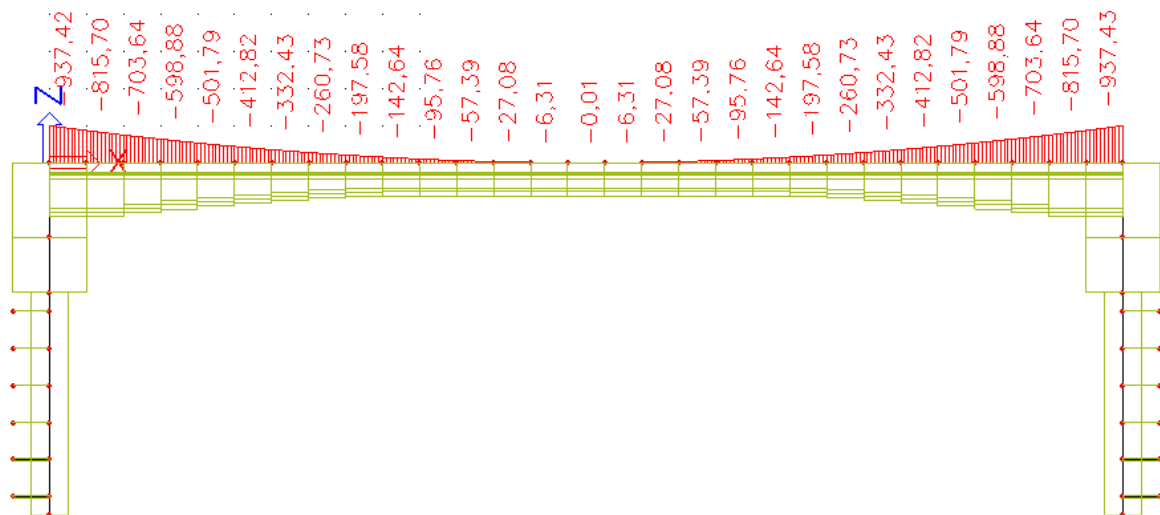
Obr. 27: Ohybové momentu na 2D modelu od říms



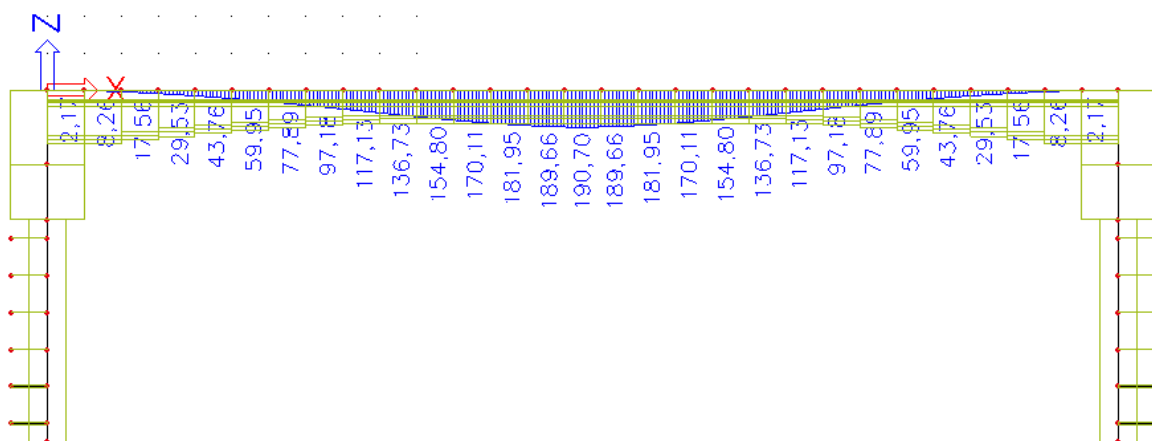
Obr. 28: Ohybové momentu na 2D modelu od zábradlí



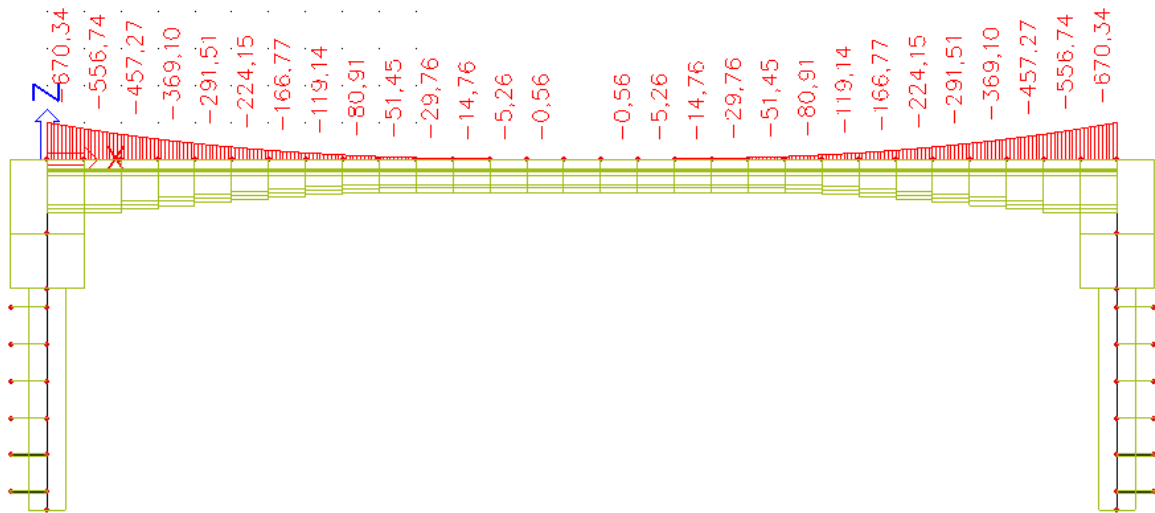
Obr. 29: Ohybové momentu na 2D modelu od nápravových zatížení TS MAX



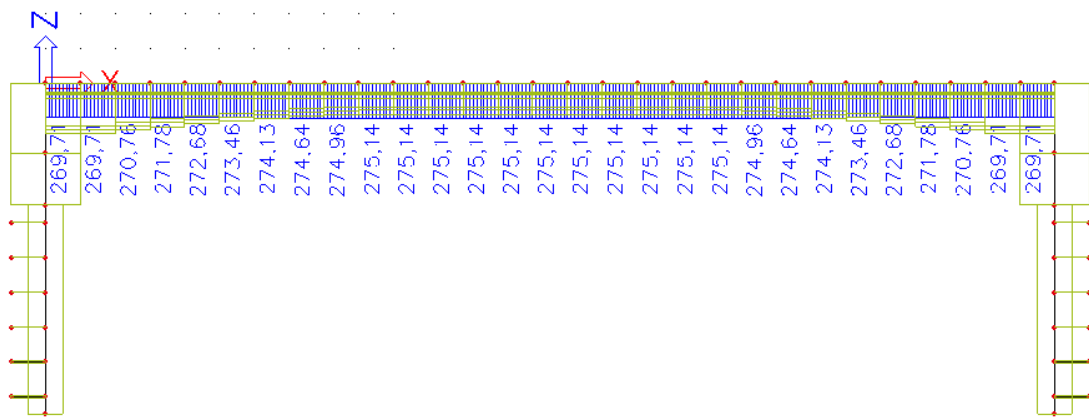
Obr. 30: Ohybové momentu na 2D modelu od nápravových zatížení TS MIN



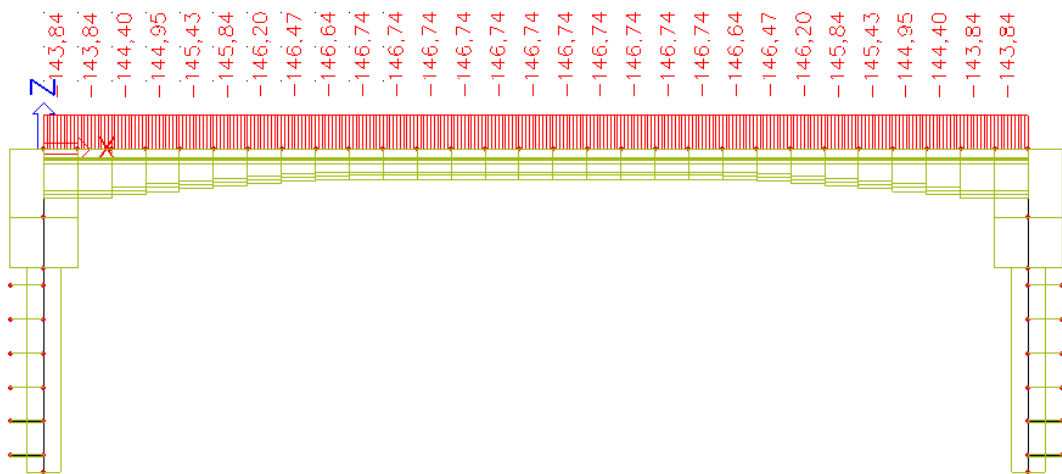
Obr. 31: Ohybové momentu na 2D modelu od rovnoměrného zatížení UDL MAX



Obr. 32: Ohybové momentu na 2D modelu od rovnoměrného zatížení UDL MIN



Obr. 33: Ohybové momentu na 2D modelu od nerovnoměrného oteplení



Obr. 34: Ohybové momentu na 2D modelu od nerovnoměrného ochlazení

Tab. 12: Hodnoty ohybových momentů z 2D modelu – část I

	M_y [kNm]														
x [m]	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
vlastní tíha nosníku	-412,96	-325,19	-246,14	-175,03	-111,41	-54,88	-4,95	38,79	76,42	108,08	133,28	152,17	164,74	170,99	171,74
vlastní tíha desky	-584,03	-466,28	-357,81	-258,22	-167,54	-85,77	-12,77	51,61	107,17	154,07	191,59	219,73	238,49	247,87	249,04
Římsy	-170,60	-136,21	-104,52	-75,43	-48,94	-25,06	-3,73	15,08	31,30	45,00	55,96	64,18	69,66	72,40	72,75
Vozovka	-196,13	-156,59	-120,16	-86,72	-56,26	-28,80	-4,29	17,33	35,99	51,74	64,34	73,79	80,09	83,24	83,63
Zábradlí	-4,36	-3,48	-2,67	-1,93	-1,25	-0,64	-0,10	0,39	0,80	1,15	1,43	1,64	1,78	1,85	1,86
Ostatní stálé	-371,09	-296,28	-227,35	-164,08	-106,45	-54,50	-8,12	32,80	68,09	97,89	121,73	139,61	151,53	157,49	158,24
LM1 - Q_{MAX}	35,98	95,72	157,00	213,21	264,73	311,93	355,19	394,81	430,76	462,76	489,92	511,26	525,85	533,04	533,72
LM1 - Q_{MIN}	-815,66	-703,61	-598,86	-501,77	-412,80	-332,41	-260,72	-197,57	-142,64	-95,76	-57,39	-27,08	-6,31	-0,01	0,00
LM1 - q_{MAX}	2,17	8,21	17,47	29,41	43,62	59,82	77,78	97,12	117,12	136,79	154,87	170,19	182,03	189,75	190,78
LM1 - q_{MIN}	-556,99	-457,48	-369,26	-291,64	-224,25	-166,84	-119,20	-80,95	-51,48	-29,78	-14,76	-5,26	-0,56	0,00	0,00
Chodci_{MAX}	0,48	1,82	3,88	6,52	9,68	13,27	17,26	21,55	25,98	30,35	34,36	37,76	40,39	42,10	42,33
Chodci_{MIN}	-123,58	-101,50	-81,93	-64,71	-49,75	-37,02	-26,45	-17,96	-11,42	-6,61	-3,27	-1,17	-0,12	0,00	0,00
Nerovnoměrné oteplení	269,71	270,76	271,78	272,68	273,46	274,13	274,64	274,96	275,14	275,14	275,14	275,14	275,14	275,14	275,14
Nerovnoměrné ochlazení	-143,84	-144,40	-144,95	-145,43	-145,84	-146,20	-146,64	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74

Tab. 13: Hodnoty ohybových momentů z 2D modelu – část II

	M_y [kNm]													
x [m]	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0
vlastní tíha nosníku	170,91	164,52	151,81	132,77	107,42	75,75	38,22	-5,42	-55,24	-111,67	-175,19	-246,19	-325,14	-412,81
vlastní tíha desky	247,87	238,49	219,73	191,59	154,07	107,17	51,61	-12,77	-85,77	-167,54	-258,22	-357,81	-466,28	-584,03
Římsy	72,40	69,66	64,18	55,96	45,00	31,30	15,08	-3,73	-25,06	-48,94	-75,43	-104,52	-136,21	-170,60
Vozovka	83,24	80,09	73,79	64,34	51,74	35,99	17,33	-4,29	-28,80	-56,26	-86,72	-120,16	-156,59	-196,13
Zábradlí	1,85	1,78	1,64	1,43	1,15	0,80	0,39	-0,10	-0,64	-1,25	-1,93	-2,67	-3,48	-4,36
Ostatní stálé	157,49	151,53	139,61	121,73	97,89	68,09	32,80	-8,12	-54,50	-106,45	-164,08	-227,35	-296,28	-371,09
LM1 - Q_{MAX}	533,04	525,85	511,26	489,92	462,76	430,76	394,81	355,19	311,93	264,73	213,21	157,00	95,72	35,98
LM1 - Q_{MIN}	-0,01	-6,31	-27,08	-57,39	-95,76	-142,64	-197,58	-260,72	-332,41	-412,81	-501,77	-598,86	-703,61	-815,67
LM1 - q_{MAX}	189,75	182,03	170,19	154,87	136,79	117,12	97,12	77,78	59,82	43,62	29,41	17,47	8,21	2,17
LM1 - q_{MIN}	0,00	-0,56	-5,26	-14,76	-29,78	-51,48	-80,95	-119,20	-166,85	-224,25	-291,65	-369,26	-457,48	-556,99
Chodci_{MAX}	42,10	40,39	37,76	34,36	30,35	25,98	21,55	17,26	13,27	9,68	6,52	3,88	1,82	0,48
Chodci_{MIN}	0,00	-0,12	-1,17	-3,28	-6,61	-11,42	-17,96	-26,45	-37,02	-49,75	-64,71	-81,93	-101,50	-123,58
Nerovnoměrné oteplení	275,14	275,14	275,14	275,14	275,14	275,14	274,96	274,64	274,13	273,46	272,68	271,78	270,76	269,71
Nerovnoměrné ochlazení	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74	-146,74	-146,64	-146,47	-146,20	-145,84	-145,43	-144,95	-144,40	-143,84

5.2.4.2 Posouvající síly

Tab. 14: Hodnoty posouvajících sil z 2D modelu – část I

	V_z [kN]														
x [m]	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
vlastní tíha nosníku	95,30	86,26	77,71	69,66	62,05	54,83	47,96	41,36	34,94	28,37	22,05	15,73	9,41	3,09	-0,07
vlastní tíha desky	126,63	117,25	107,87	98,49	89,11	79,73	70,35	60,97	51,59	42,21	32,83	23,45	14,07	4,69	0,00
Římsy	36,99	34,25	31,51	28,77	26,03	23,29	20,55	17,81	15,07	12,33	9,59	6,85	4,11	1,37	0,00
Vozovka	42,52	39,38	36,23	33,08	29,93	26,78	23,63	20,48	17,32	14,18	11,03	7,88	4,73	1,58	0,00
Zábradlí	0,95	0,88	0,81	0,73	0,67	0,59	0,53	0,46	0,39	0,32	0,25	0,18	0,11	0,04	0,00
Ostatní stálé	80,46	74,51	68,55	62,58	56,63	50,66	44,71	38,75	32,78	26,83	20,87	14,91	8,95	2,99	0,00
LM1 - Q_{MAX}	200,28	194,79	189,02	182,93	176,50	169,69	162,48	154,88	146,90	138,59	130,02	121,25	112,36	103,40	98,92
LM1 - Q_{MIN}	-2,55	-7,25	-12,69	-18,40	-24,42	-30,78	-37,51	-44,64	-52,16	-60,07	-68,32	-76,84	-85,57	-94,45	-98,92
LM1 - q_{MAX}	111,80	103,83	96,08	88,56	81,28	74,25	67,49	61,01	54,83	48,97	43,44	38,25	33,40	28,91	26,80
LM1 - q_{MIN}	-0,10	-0,41	-0,93	-1,68	-2,68	-3,92	-5,43	-7,23	-9,33	-11,74	-14,48	-17,56	-20,99	-24,77	-26,80
Chodci_{MAX}	24,80	23,04	21,32	19,65	18,03	16,47	14,97	13,54	12,17	10,87	9,64	8,49	7,41	6,41	5,95
Chodci_{MIN}	-0,02	-0,09	-0,21	-0,37	-0,59	-0,87	-1,21	-1,60	-2,07	-2,60	-3,21	-3,90	-4,66	-5,50	-5,95
Nerovnoměrné oteplení	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nerovnoměrné ochlazení	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

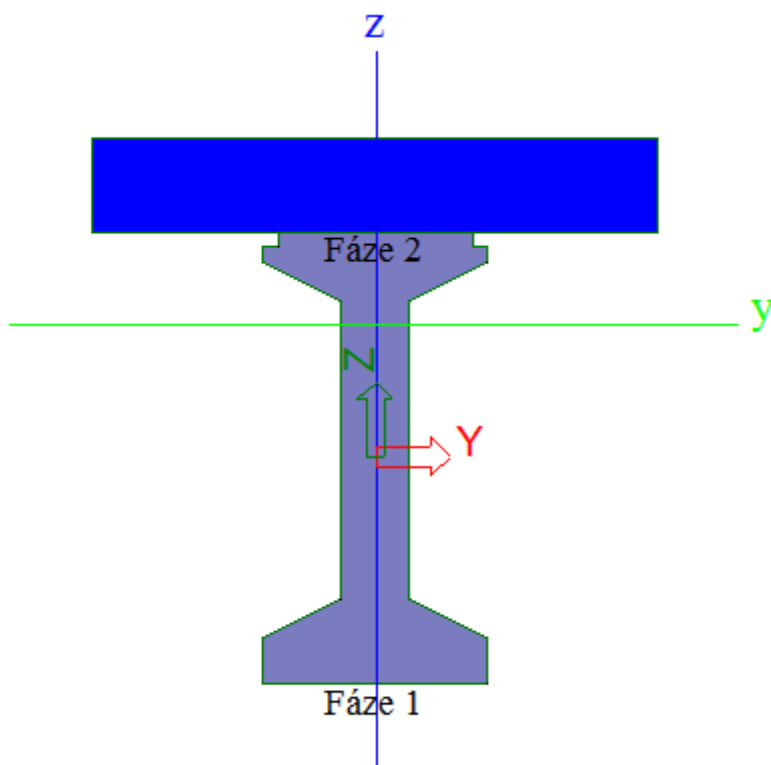
Tab. 15: Hodnoty posouvajících sil z 2D modelu – část II

	V_z [kN]													
x [m]	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0
vlastní tíha nosníku	-3,23	-9,55	-15,87	-22,19	-28,51	-34,83	-41,25	-47,85	-54,72	-61,94	-69,55	-77,60	-86,15	-95,19
vlastní tíha desky	-4,69	-14,07	-23,45	-32,83	-42,21	-51,59	-60,97	-70,35	-79,73	-89,11	-98,49	-107,87	-117,25	-126,63
Římsy	-1,37	-4,11	-6,85	-9,59	-12,33	-15,07	-17,81	-20,55	-23,29	-26,03	-28,77	-31,51	-34,25	-36,99
Vozovka	-1,58	-4,73	-7,88	-11,03	-14,18	-17,32	-20,48	-23,63	-26,78	-29,93	-33,08	-36,23	-39,38	-42,52
Zábradlí	-0,04	-0,11	-0,18	-0,25	-0,32	-0,39	-0,46	-0,53	-0,59	-0,67	-0,73	-0,81	-0,88	-0,95
Ostatní stálé	-2,99	-8,95	-14,91	-20,87	-26,83	-32,78	-38,75	-44,71	-50,66	-56,63	-62,58	-68,55	-74,51	-80,46
LM1 - Q_{MAX}	94,45	85,57	76,84	68,32	60,07	52,16	44,64	37,51	30,78	24,42	18,40	12,69	7,25	2,55
LM1 - Q_{MIN}	-103,40	-112,36	-121,25	-130,02	-138,59	-146,90	-154,88	-162,48	-169,69	-176,50	-182,93	-189,02	-194,79	-200,28
LM1 - q_{MAX}	24,77	20,99	17,56	14,48	11,74	9,33	7,23	5,43	3,92	2,68	1,68	0,93	0,41	0,10
LM1 - q_{MIN}	-28,91	-33,40	-38,25	-43,44	-48,97	-54,83	-61,01	-67,49	-74,25	-81,28	-88,56	-96,08	-103,83	-111,80
Chodci_{MAX}	5,50	4,66	3,90	3,21	2,60	2,07	1,60	1,21	0,87	0,59	0,37	0,21	0,09	0,02
Chodci_{MIN}	-6,41	-7,41	-8,49	-9,64	-10,87	-12,17	-13,54	-14,97	-16,47	-18,03	-19,65	-21,32	-23,04	-24,80
Nerovnoměrné oteplení	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nerovnoměrné ochlazení	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

6 Časově závislá analýza, model TDA

Časově závislá analýza je prováděna v programu Scia engineer 2009 v modulu „Fáze výstavby a provozu“. Je analyzován rovinný prutový model shodný s 2D modelem nosné konstrukce popsaným výše. Modul „Fáze výstavby a provozu“ společně s TDA časově závislou analýzou umožňuje obecné modelování postupu výstavby se zahrnutím reologických procesů v betonu (smršťování, dotvarování, stárnutí betonu).

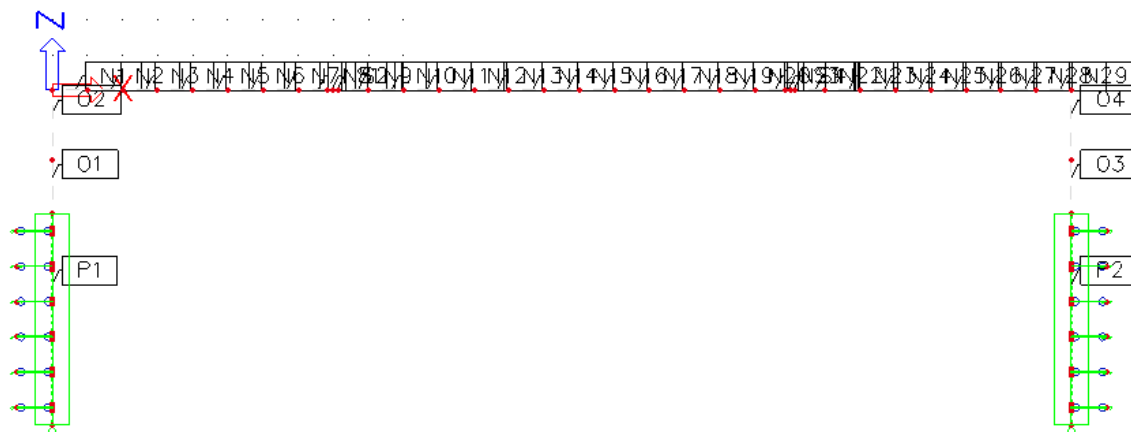
Na rozdíl od lineárního 2D modelu je potřeba průřez nosníku se spřaženou deskou naimportovat postupně jako fázovaný průřez, jinak by program nedokázal oddělit různé časy, ve kterých jsou jednotlivé části konstrukce přidávány.



Obr. 35: Fázovaný průřez nosníku se spřaženou deskou – podporový průřez

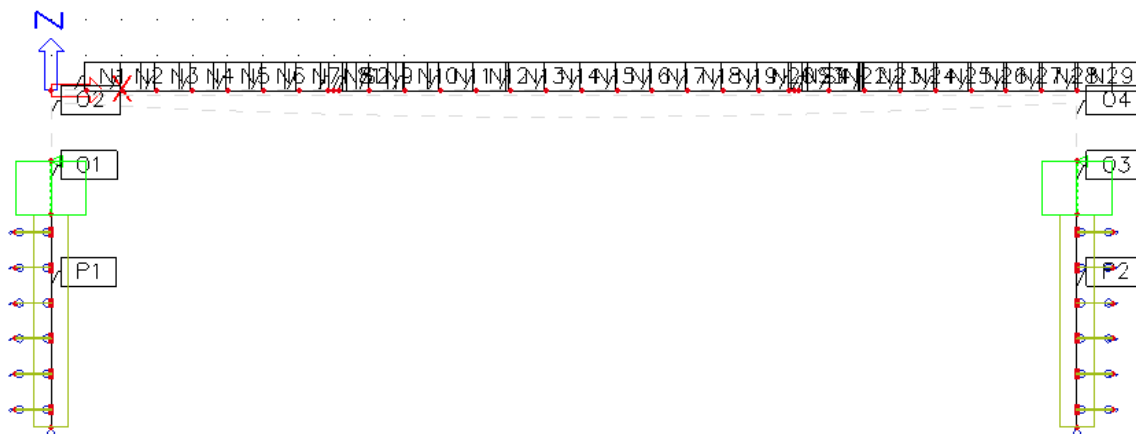
6.1 Postup výstavby

1. FÁZE – Betonáž pilot, čas 0. den



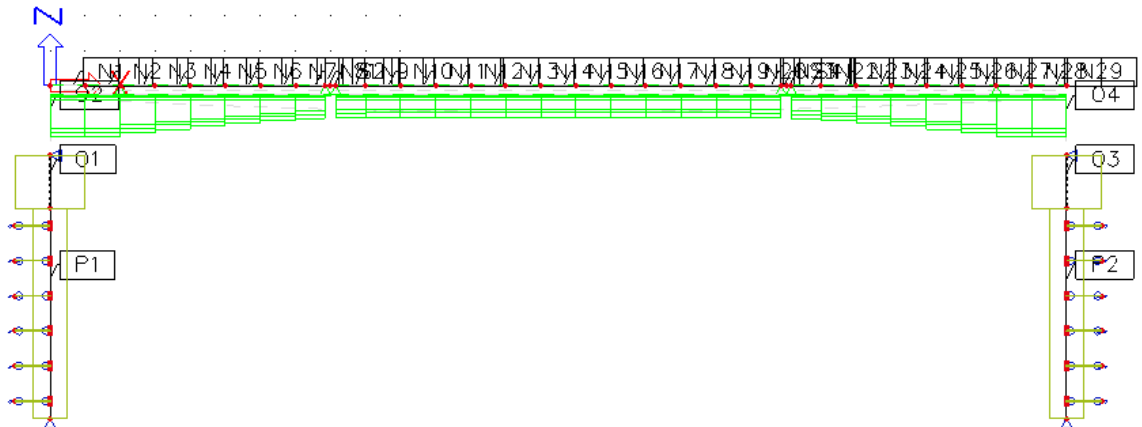
Obr. 36: 1. Fáze výstavby – betonáž pilot, čas 0. den

2. FÁZE – Betonáž opěry, čas 15. den

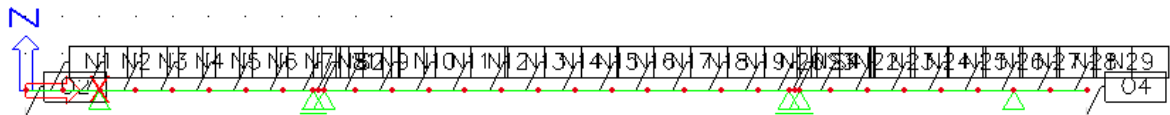


Obr. 37: 2. Fáze výstavby – betonáž opěry, čas 15. den

3. FÁZE – Osazení nosníků, čas 20. den – nosníky jsou v podélném směru rozděleny na 3 nosíkové díly. Tyto díly jsou osazeny na 4 montážní podpory (2 jsou v těsné blízkosti opěr, 2 jsou v poli). Díky osazení na montážní podpory se výrazně redukuje vnitřní síly od vlastní tíhy nosníků, na které bychom jinak museli dimenzovat značné množství předem předpjatých lan

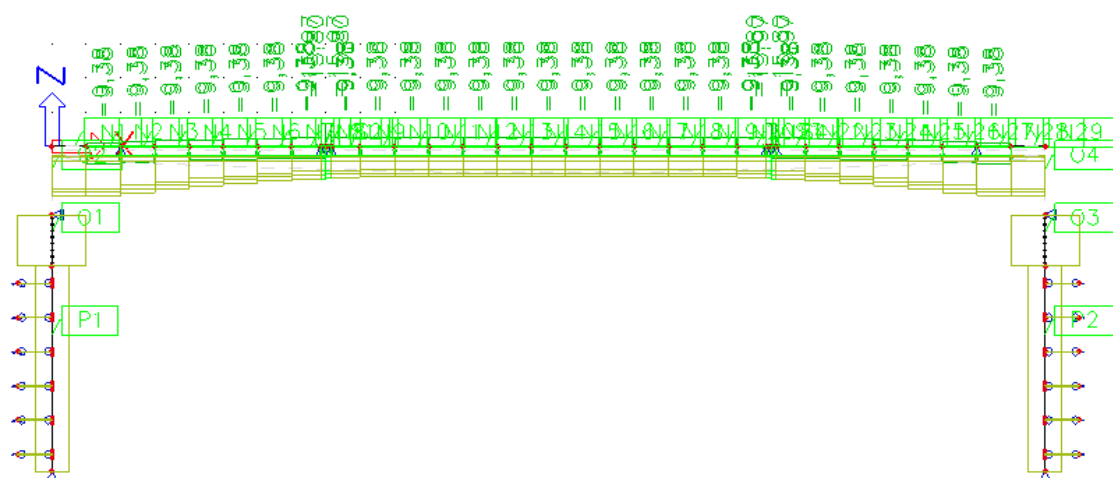


Obr. 38: 3. Fáze výstavby – osazení nosníků, čas 20. den



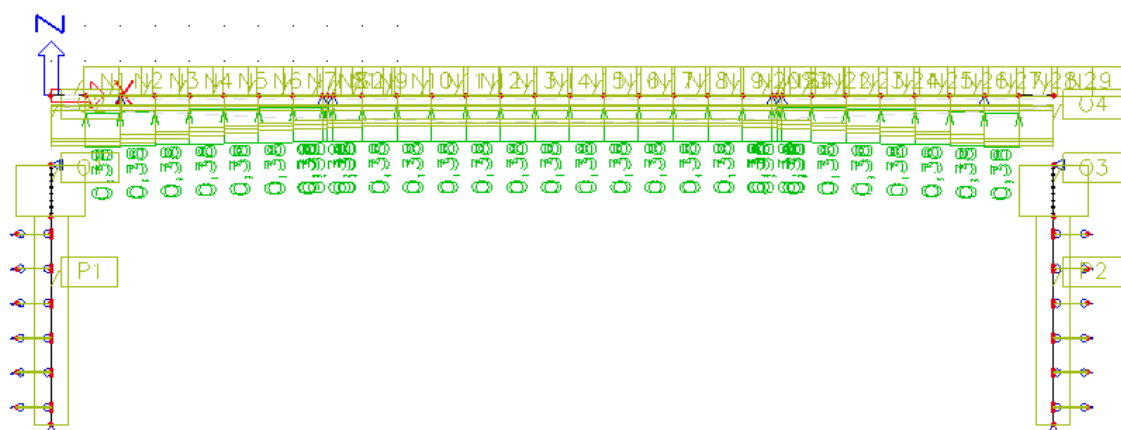
Obr. 39: 3. Fáze výstavby – detail umístění montážních podpor

4. FÁZE – Betonáž sprážené desky, čas 23. den – nosná konstrukce je stále uložena na 4 montážní podpory



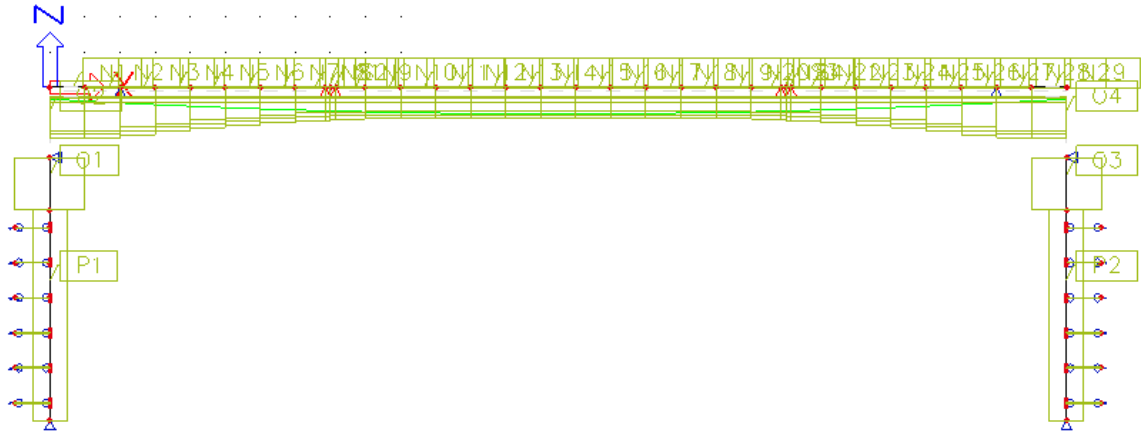
Obr. 40: 4. Fáze výstavby – betonáž sprážené desky, čas 23. den

5. FÁZE – Odpaření vody, čas 25. den – v této fázi dochází k vypaření vody z čerstvého betonu



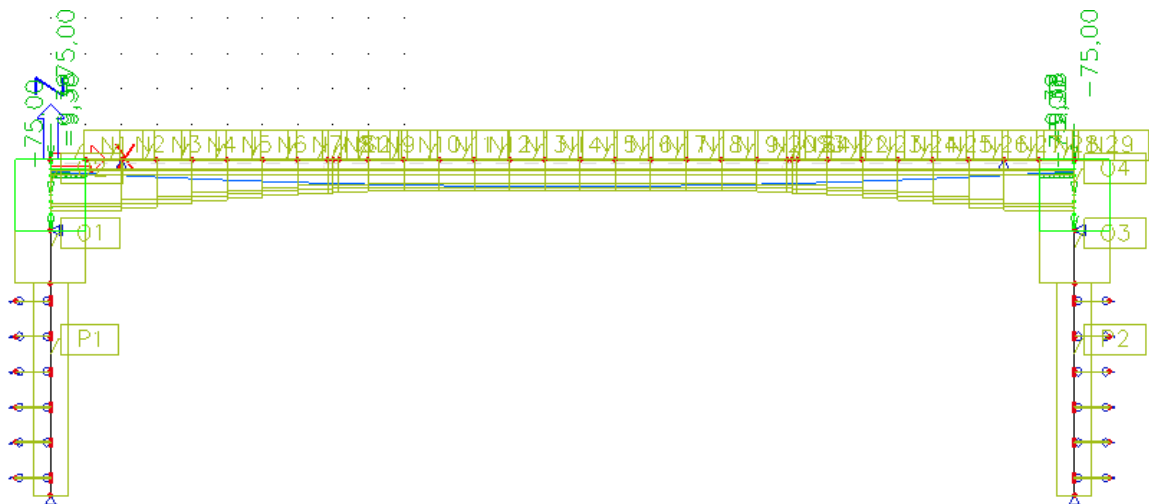
Obr. 41: 5. Fáze výstavby – odpaření vody, čas 25. den

6. FÁZE – předepnutí nosníků, čas 40. den – v této fázi průřez již působí jako sprážený. Jsou předepnuty kabely dodatečného předpětí v nosnících. Zároveň dojde k odstranění montážních podpor v poli.



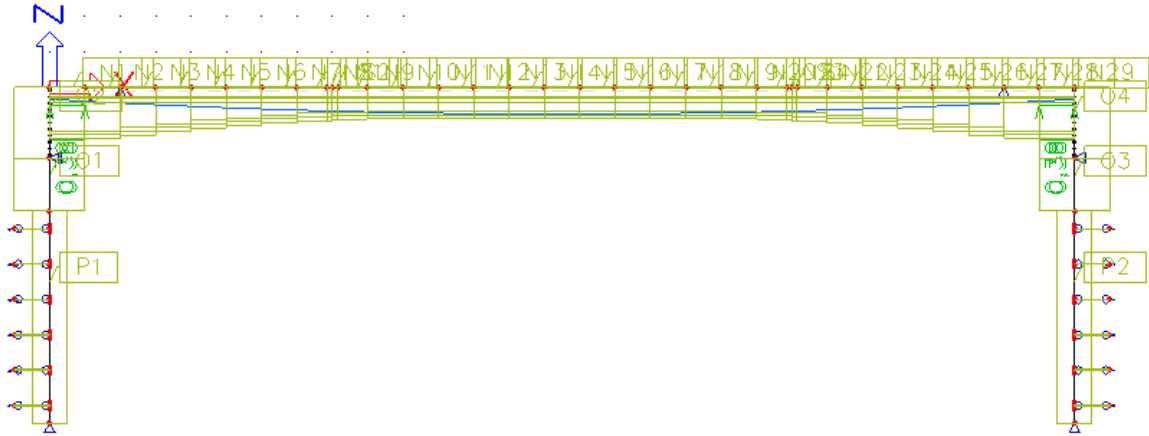
Obr. 42: 6. Fáze výstavby – 2. fáze průřezu, čas 40. den

7. FÁZE – Betonáž příčnicku, čas 45. den



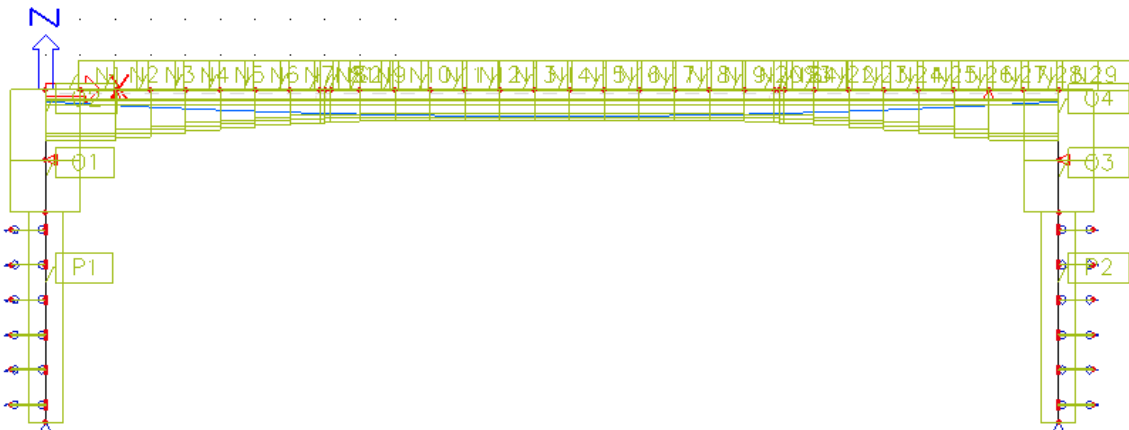
Obr. 43: 7. Fáze výstavby – betonáž příčnicku, čas 45. den

8. FÁZE – Odpaření vody, čas 47. den – v této fázi dochází k vypaření vody z čerstvého betonu



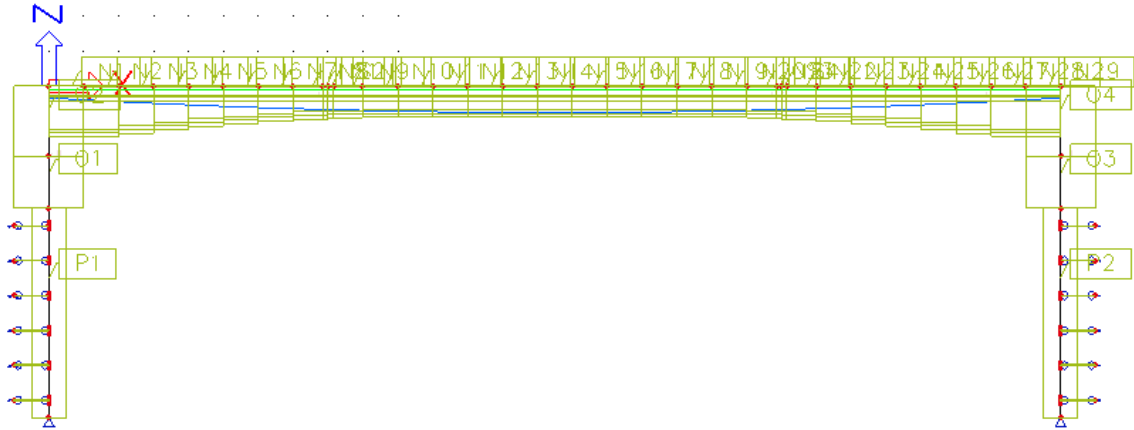
Obr. 44: 8. Fáze výstavby – odpaření vody, čas 45. den

9. FÁZE – Odskržení, čas 60. den - v této fázi dochází k odstranění montážních podpor v těsné blízkosti opěr



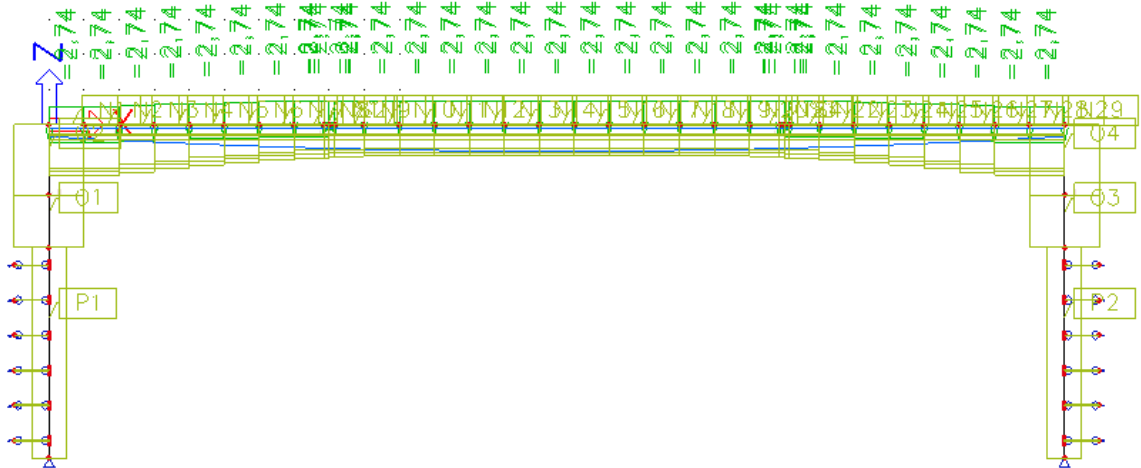
Obr. 45: 9. Fáze výstavby – odskržení, čas 62. den

10. FÁZE – Předepnutí desky, čas 65. den – v této fázi dochází k dodatečnému předpětí sprážené desky



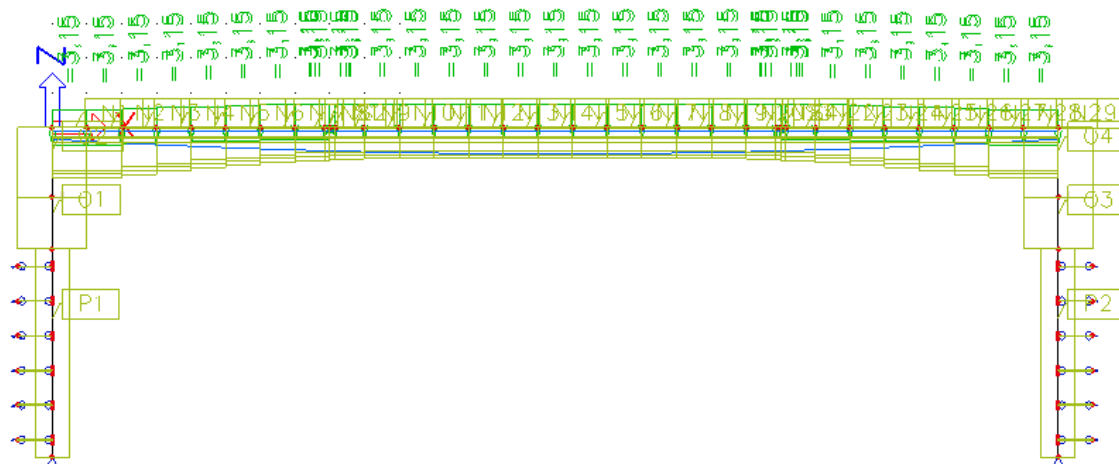
Obr. 46: 10. Fáze výstavby – předepnutí desky, čas 65. den

11. FÁZE – Betonáž říms, čas 70. den



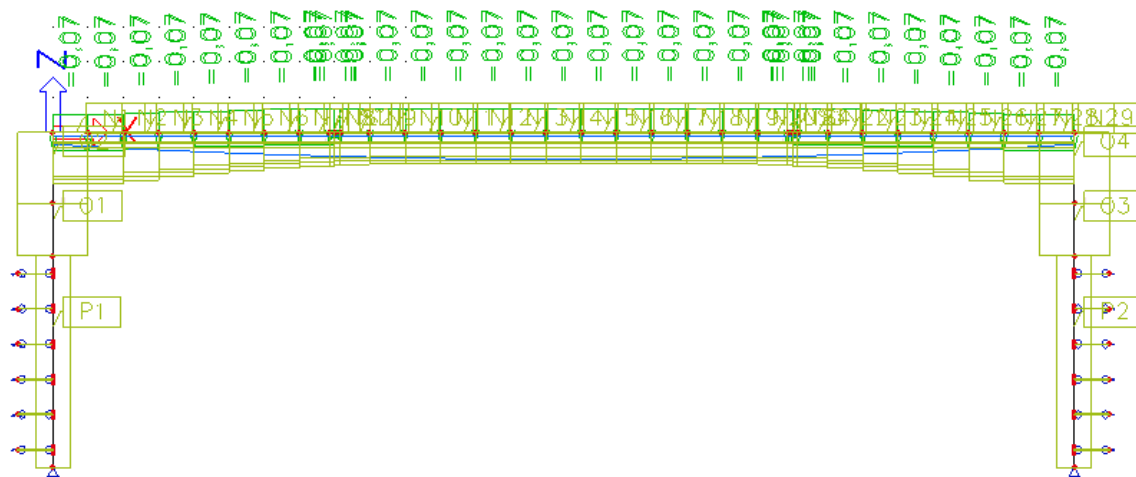
Obr. 47: 11. Fáze výstavby – betonáž říms, čas 70. den

12. FÁZE – Vozovka, čas 80. den



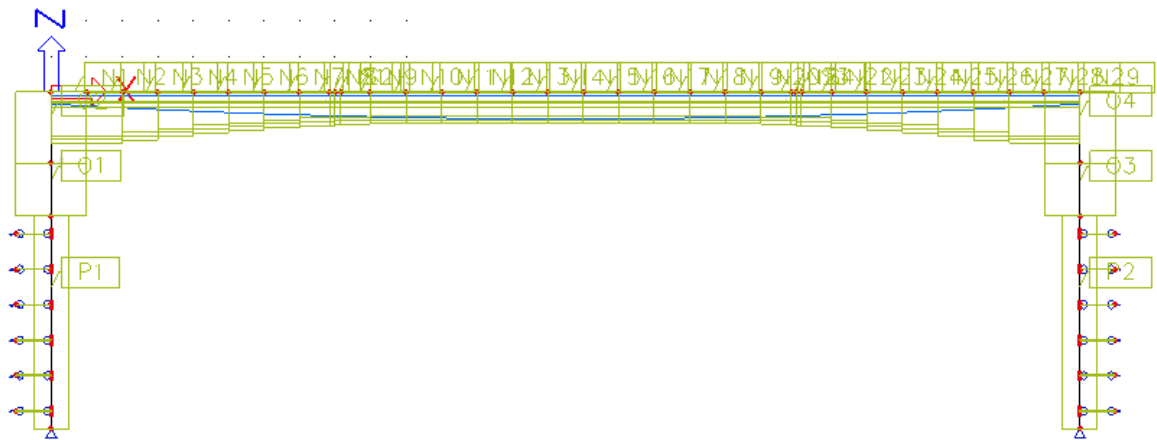
Obr. 48: 12. Fáze výstavby – vozovka, čas 80. den

13. FÁZE – Montáž zábradlí, čas 85. den



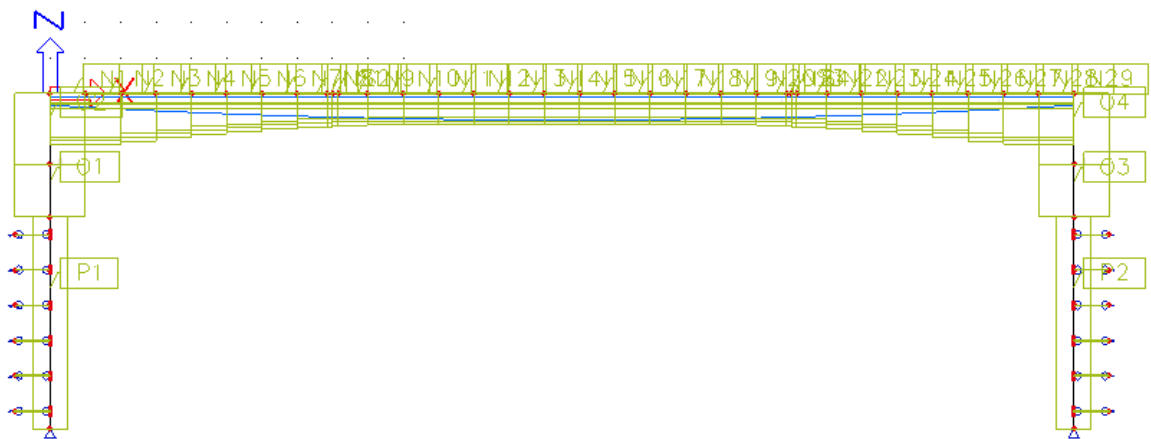
Obr. 49: 13. Fáze výstavby – montáž zábradlí, čas 85. den

14. FÁZE – Uvedení do provozu, čas 100. den



Obr. 50: 14. Fáze výstavby – uvedení do provozu, čas 100. den

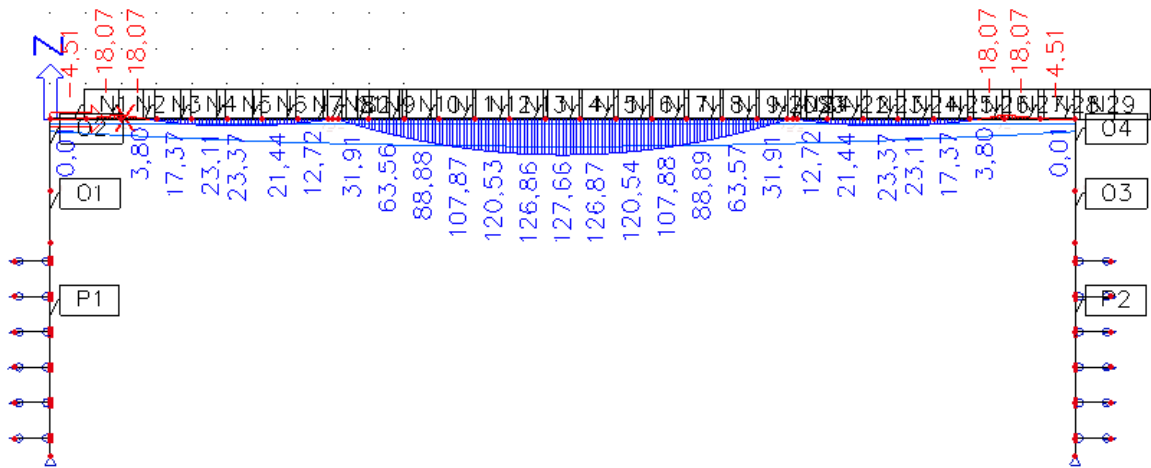
15. FÁZE – Konec životnosti, čas 36 500. den



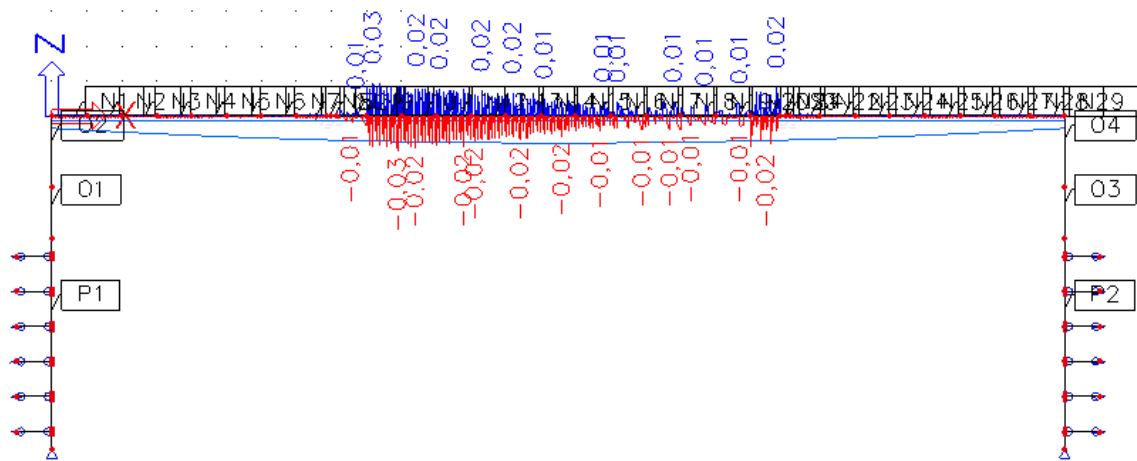
Obr. 51: 15. Fáze výstavby – konec životnosti, čas 36 500. den

6.2 Výsledky TDA

3. FÁZE – Osazení nosníků, čas 20. den

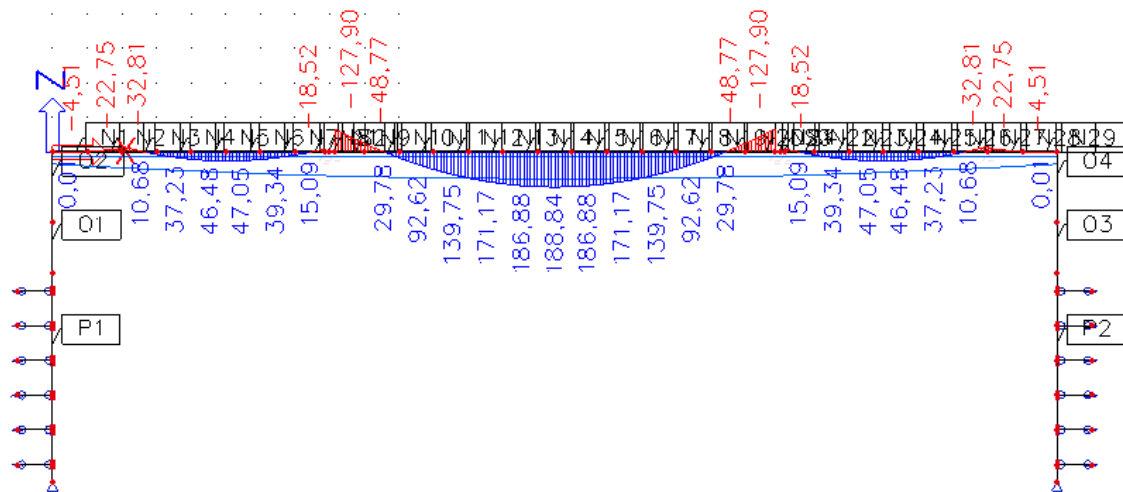


Obr. 52: Ohybové momenty ve 3. fázi výstavby

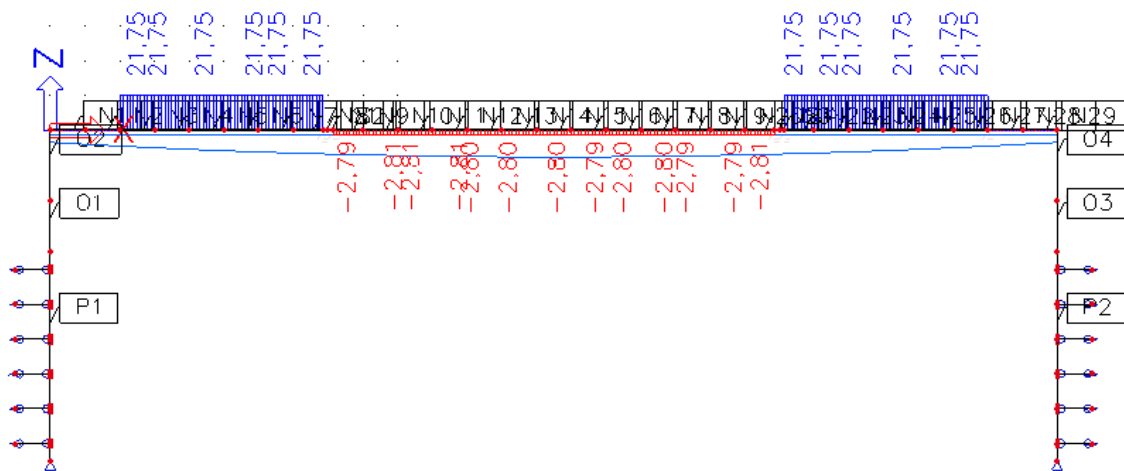


Obr. 53: Normálové síly ve 3. fázi výstavby

4. FÁZE – Betonáž desky, čas 23. den

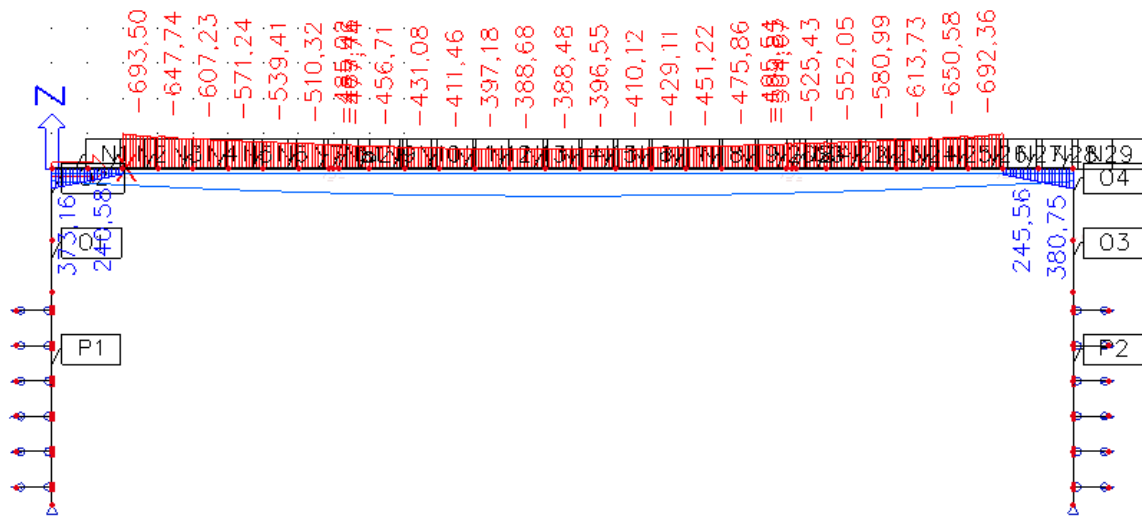


Obr. 54: Ohybové momenty ve 4. fázi výstavby

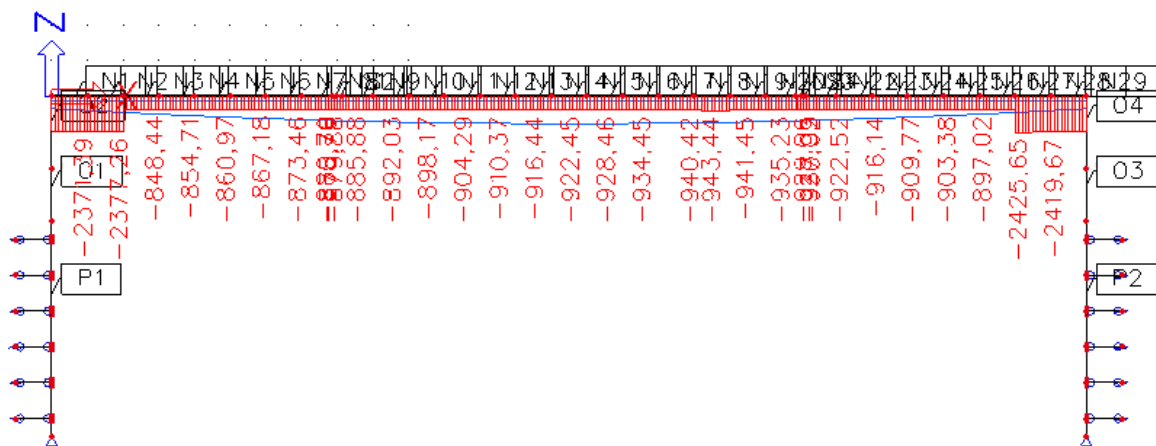


Obr. 55: Normálové síly ve 4. fázi výstavby

6. FÁZE – Předepnutí nosníků, čas 40. den

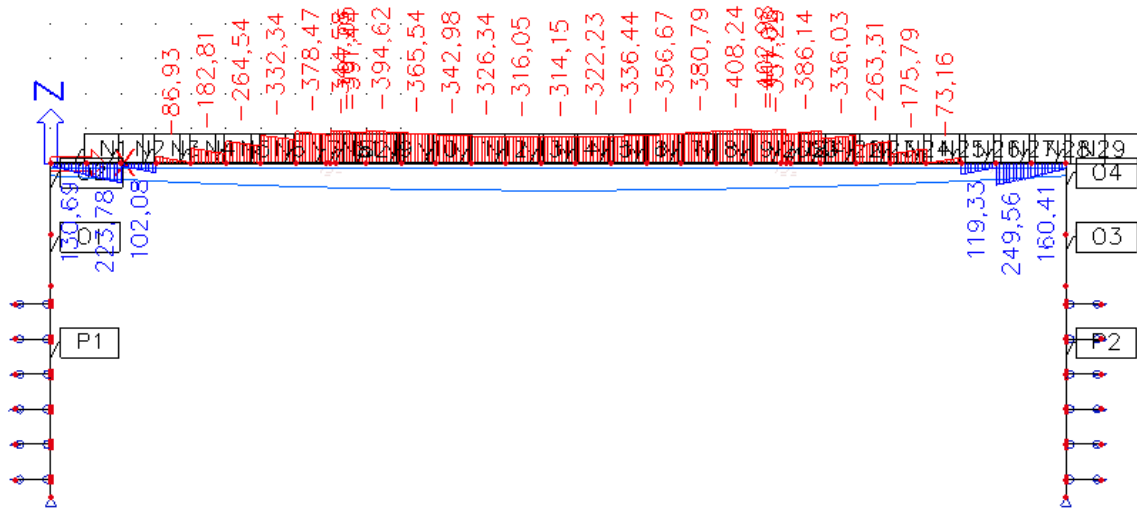


Obr. 56: Ohybové momenty v 6. fázi výstavby

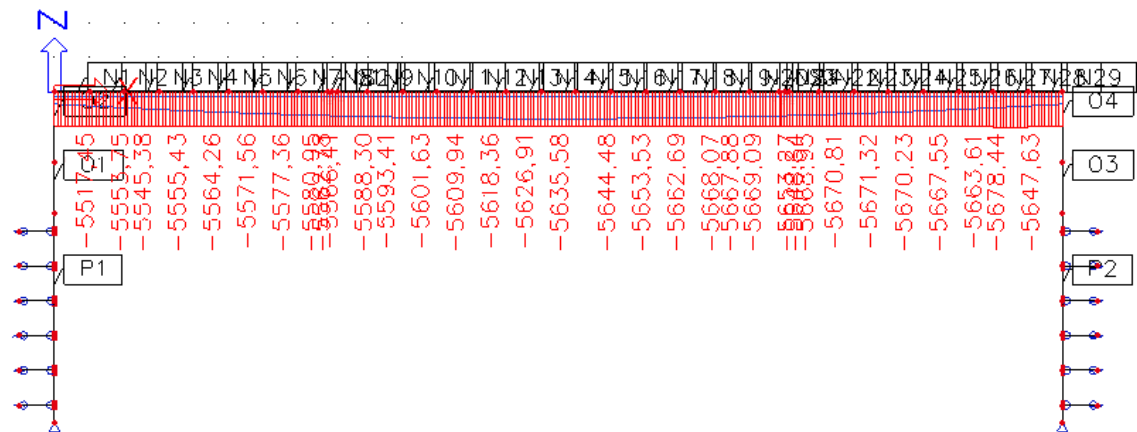


Obr. 57: Normálové síly v 6. fázi výstavby

10. FÁZE – Předepnutí nosníků, čas 65. den

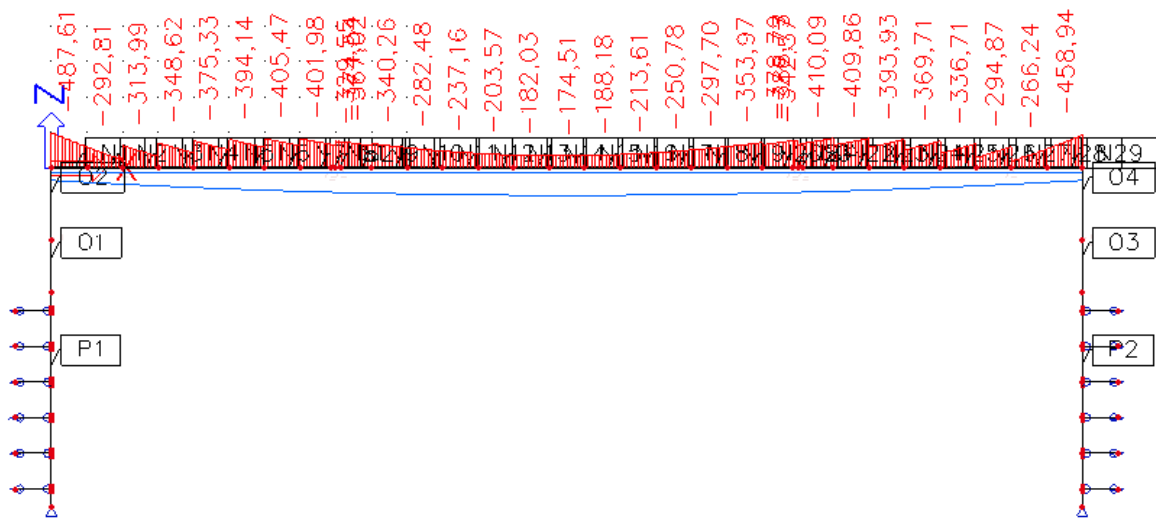


Obr. 58: Ohybové momenty v 10. fázi výstavby

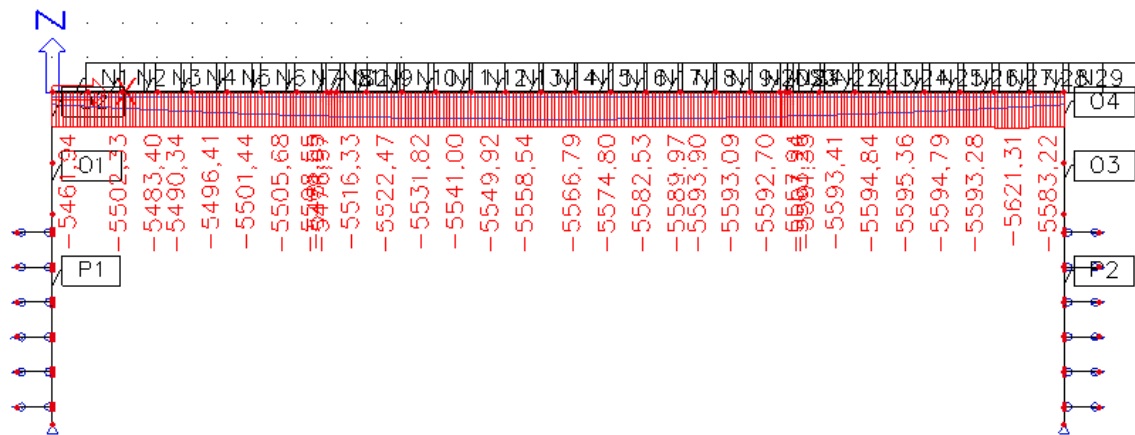


Obr. 59: Normálové síly v 10. fázi výstavby

14. FÁZE – Uvedení do provozu, čas 100. den

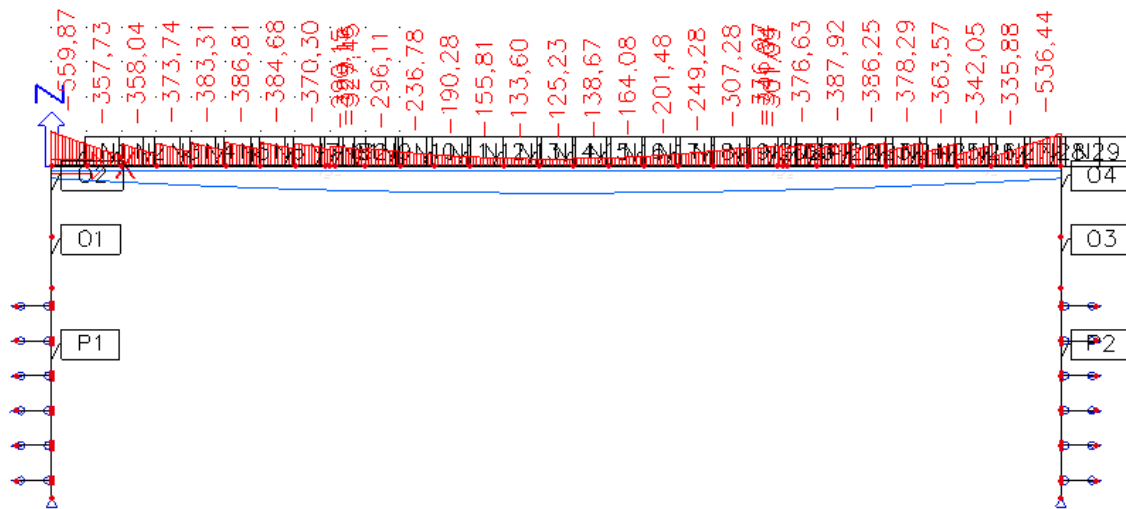


Obr. 60: Ohybové momenty ve 14. fázi výstavby

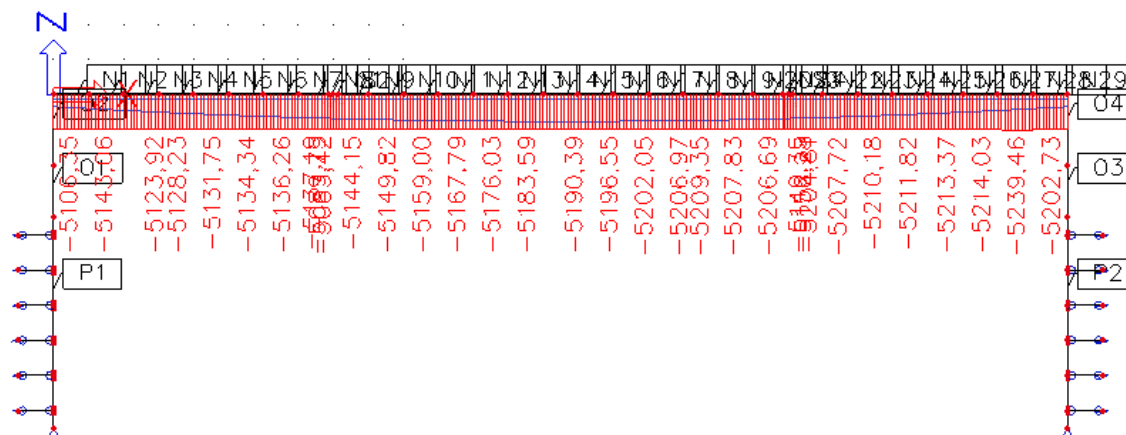


Obr. 61: Normálové síly ve 14. fázi výstavby

15. FÁZE – Konec životnosti, čas 36 500. den



Obr. 62: Ohybové momenty v 15. fázi výstavby



Obr. 63: Normálové síly v 15. fázi výstavby

7 MSP

Výpočet napětí v průřezu byl proveden pomocí klasické teorie pružnosti. Rozdíl modulů E_c betonů použitých v nosníku a ve spřažené desce je malý a proto by i změna průřezových charakteristik ideálního průřezu plynoucí z této skutečnosti byla malá. Vliv změny modulu pružnosti E_c na průřezové charakteristiky bude zanedbán.

Výpočet průřezových charakteristik byl proveden na ideálních průřezích bez započítání oslabení průřezů v místech kabelových kanálků.

Ověření normálových napětí v posuzovaných průřezích se provede dle ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby a ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady.

Kritérium pro max. napjatost v tlačeném betonu je omezeno dle 7.2 ČSN EN 1992-1-1 hodnotou $0,6 \cdot f_{ck}$ pro charakteristickou kombinaci zatížení. Tlakové napětí v betonu musí být omezeno, aby se zabránilo vzniku podélných trhlin, mikrotrhlin příp. velkému dotvarování.

$$\sigma_{c,max} \leq 0,6 \cdot f_{ck} [MPa]$$

Tahová napětí v betonu mohou dosahovat při charakteristické kombinaci zatížení max. hodnot rovných průměrné pevnosti betonu v tahu f_{ctm} . V případě překročení této meze bychom museli do výpočtu zahrnout vliv trhlin na rozdělení napětí.

$$\sigma_{ct,max} \leq f_{ctm} [MPa]$$

Omezení šířky trhlin lze zajistit bez výpočtu a to přísnějším omezením napětí při charakteristické kombinaci zatížení hodnotou dolního 5% kvantilu charakteristické pevnosti betonu v dostředném tahu $f_{ctk,0,05}$.

$$\sigma_{ct,max} \leq f_{ctk,0,05} [MPa]$$

Výpočet normálových napětí se stanoví dle vztahů:

$$\sigma_d = \frac{N_P}{A_c} + \frac{M_{Ek}}{I} * z_d * \frac{M_P}{I} * z_d [MPa]$$

$$\sigma_h = \frac{N_P}{A_c} + \frac{M_{Ek}}{I} * z_h * \frac{M_P}{I} * z_h [MPa]$$

Normálové napětí v MSP bude posuzováno v podélném směru po 1 m nosné konstrukce a ve 3 bodech po výšce průřezu:

- Horní vlákna desky
- Spodní vlákna desky = horní vlákna nosníku
- Spodní vlákna nosníku

Posouzení MSP bude provedeno v 6 časových etapách výstavby mostu:

1. Osazení nosníků
2. Betonáž spřažené desky
3. Dodatečné předeprnutí nosníků
4. Dodatečné předeprnutí desky
5. Uvedení do provozu
6. Konec životnosti

7.1 Geometrie průřezů

1. Osazení nosníků

Tab. 16: Geometrie průřezů ve fázi Osazení nosníků

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
x [m]	0,0 - 1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0 - 13,5
b_{N,pásnice} [m]	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
b_{N, stojina} [m]	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190
h_{PRŮŘEZ} [m]	1,200	1,100	1,000	0,910	0,830	0,760	0,705	0,670	0,650
A [m²]	0,347800	0,328800	0,309800	0,292700	0,277500	0,264200	0,253750	0,247100	0,243300
e_{h, DESKA} [m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e_{h, NOSNÍK} [m]	0,627	0,575	0,523	0,477	0,435	0,399	0,370	0,351	0,341
e_{d, NOSNÍK} [m]	0,573	0,525	0,477	0,433	0,395	0,361	0,335	0,319	0,309
I_y [m⁴]	0,059715	0,047546	0,037018	0,028869	0,022622	0,017884	0,014616	0,012736	0,011730
W_{h, DESKA} [m³]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W_{h, NOSNÍK} [m³]	0,095307	0,082672	0,070715	0,060542	0,051978	0,044862	0,039525	0,036249	0,034420
W_{d, NOSNÍK} [m³]	0,104134	0,090582	0,077686	0,066649	0,057301	0,049489	0,043600	0,039971	0,037939

2. Betonáž desky

Tab. 17: Geometrie průřezů ve fázi Betonáž desky

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
x [m]	0,0 - 1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0 - 13,5
b_{N,pásnice} [m]	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
b_{N,stojina} [m]	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190
h_{PRŮŘEZ} [m]	1,200	1,100	1,000	0,910	0,830	0,760	0,705	0,670	0,650
A [m²]	0,347800	0,328800	0,309800	0,292700	0,277500	0,264200	0,253750	0,247100	0,243300
e_{h,DESKA} [m]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e_{h,NOSNÍK} [m]	0,627	0,575	0,523	0,477	0,435	0,399	0,370	0,351	0,341
e_{d,NOSNÍK} [m]	0,573	0,525	0,477	0,433	0,395	0,361	0,335	0,319	0,309
I_y [m⁴]	0,059715	0,047546	0,037018	0,028869	0,022622	0,017884	0,014616	0,012736	0,011730
W_{h,DESKA} [m³]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W_{h,NOSNÍK} [m³]	0,095307	0,082672	0,070715	0,060542	0,051978	0,044862	0,039525	0,036249	0,034420
W_{d,NOSNÍK} [m³]	0,104134	0,090582	0,077686	0,066649	0,057301	0,049489	0,043600	0,039971	0,037939

3. Předeprnutí nosníků

Tab. 18: Geometrie průřezů ve fázi Předeprnutí nosníků

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
x [m]	0,0 - 1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0 - 13,5
$b_{N,pásnice}$ [m]	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
$b_{N,stojina}$ [m]	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190
$h_{PRŮŘEZ}$ [m]	1,200	1,100	1,000	0,910	0,830	0,760	0,705	0,670	0,650
A [m ²]	0,481800	0,462800	0,443800	0,426700	0,411500	0,398200	0,387750	0,381100	0,377300
$e_{h,DESKA}$ [m]	0,668	0,622	0,578	0,538	0,503	0,472	0,449	0,434	0,425
$e_{h,NOSNÍK}$ [m]	0,418	0,372	0,328	0,288	0,253	0,222	0,199	0,184	0,175
$e_{d,NOSNÍK}$ [m]	0,782	0,728	0,672	0,622	0,577	0,538	0,506	0,486	0,475
I_y [m ⁴]	0,115050	0,094907	0,077053	0,062862	0,051680	0,042960	0,036781	0,033150	0,031177
$W_{h,DESKA}$ [m ³]	0,172352	0,152485	0,133383	0,116878	0,102786	0,090934	0,081956	0,076406	0,073294
$W_{h,NOSNÍK}$ [m ³]	0,275549	0,254853	0,235145	0,218389	0,204438	0,193141	0,185023	0,180295	0,177776
$W_{d,NOSNÍK}$ [m ³]	0,147034	0,130438	0,114608	0,101038	0,089533	0,079914	0,072660	0,068190	0,065688

4. Předepnutí desky

Tab. 19: Geometrie průřezů ve fázi Předepnutí desky

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
x [m]	0,0 - 1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0 - 13,5
$b_{N,pásnice}$ [m]	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
$b_{N,stojina}$ [m]	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190
$h_{PRŮŘEZ}$ [m]	1,200	1,100	1,000	0,910	0,830	0,760	0,705	0,670	0,650
A [m ²]	0,545300	0,526300	0,507300	0,490200	0,475000	0,461700	0,451250	0,444600	0,440800
$e_{h,DESKA}$ [m]	0,604	0,562	0,521	0,484	0,452	0,425	0,403	0,390	0,382
$e_{h,NOSNÍK}$ [m]	0,354	0,312	0,271	0,234	0,202	0,175	0,153	0,140	0,132
$e_{d,NOSNÍK}$ [m]	0,846	0,788	0,729	0,676	0,628	0,585	0,552	0,530	0,518
I_y [m ⁴]	0,131900	0,109050	0,088768	0,072613	0,059862	0,049901	0,042833	0,038673	0,036412
$W_{h,DESKA}$ [m ³]	0,218250	0,193906	0,170373	0,149915	0,132355	0,117513	0,106224	0,099225	0,095293
$W_{h,NOSNÍK}$ [m ³]	0,372228	0,349088	0,327531	0,309833	0,295929	0,285731	0,279534	0,276728	0,275632
$W_{d,NOSNÍK}$ [m ³]	0,155975	0,138456	0,121770	0,107474	0,095365	0,085248	0,077627	0,072933	0,070307

5. Uvedení do provozu

Tab. 20: Geometrie průřezů ve fázi Uvedení do provozu

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
x [m]	0,0 - 1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0 - 13,5
$b_{N,pásnice}$ [m]	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
$b_{N,stojina}$ [m]	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190
$h_{PRŮŘEZ}$ [m]	1,200	1,100	1,000	0,910	0,830	0,760	0,705	0,670	0,650
A [m ²]	0,582300	0,563300	0,544300	0,527200	0,512000	0,498700	0,488250	0,481600	0,477800
$e_{h,DESKA}$ [m]	0,574	0,534	0,494	0,459	0,429	0,402	0,382	0,369	0,362
$e_{h,NOSNÍK}$ [m]	0,324	0,284	0,244	0,209	0,179	0,152	0,132	0,119	0,112
$e_{d,NOSNÍK}$ [m]	0,876	0,816	0,756	0,701	0,651	0,608	0,573	0,551	0,538
I_y [m ⁴]	0,140050	0,115860	0,094369	0,077249	0,063731	0,053169	0,045672	0,041260	0,038861
$W_{h,DESKA}$ [m ³]	0,244035	0,217106	0,190991	0,168246	0,148685	0,132126	0,119516	0,111691	0,107293
$W_{h,NOSNÍK}$ [m ³]	0,432394	0,408452	0,386599	0,369361	0,356773	0,348853	0,345626	0,345529	0,346374
$W_{d,NOSNÍK}$ [m ³]	0,159855	0,141925	0,124843	0,110221	0,097843	0,087508	0,079728	0,074937	0,072258

6. Konec životnosti

Tab. 21: Geometrie průřezů ve fázi Konec životnosti

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
x [m]	0,0 - 1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0 - 13,5
$b_{N,pásnice}$ [m]	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
$b_{N,stojina}$ [m]	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190
$h_{PRŮŘEZ}$ [m]	1,200	1,100	1,000	0,910	0,830	0,760	0,705	0,670	0,650
A [m ²]	0,722800	0,703800	0,684800	0,667700	0,652500	0,639200	0,628750	0,622100	0,618300
$e_{h,DESKA}$ [m]	0,487	0,452	0,418	0,389	0,363	0,341	0,325	0,314	0,308
$e_{h,NOSNÍK}$ [m]	0,237	0,202	0,168	0,139	0,113	0,091	0,075	0,064	0,058
$e_{d,NOSNÍK}$ [m]	0,963	0,898	0,832	0,771	0,717	0,669	0,630	0,606	0,592
I_y [m ⁴]	0,163590	0,135370	0,110310	0,090367	0,074627	0,062337	0,053619	0,048489	0,045701
$W_{h,DESKA}$ [m ³]	0,336165	0,299441	0,263665	0,232407	0,205441	0,182573	0,165141	0,154320	0,148238
$W_{h,NOSNÍK}$ [m ³]	0,691313	0,669897	0,655157	0,650913	0,658942	0,681763	0,717949	0,755153	0,783969
$W_{d,NOSNÍK}$ [m ³]	0,169811	0,150759	0,132643	0,117182	0,104119	0,093240	0,085066	0,080043	0,077236

7.2 Kombinace zatížení MSP

MSP bylo posuzováno na charakteristickou kombinaci zatížení dle ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Zatížení stálé a to jak vlastní tíha nosné konstrukce, tak ostatní stálé zatížení bylo součástí TDA časově závislé analýzy. K těmto výsledkům poté byly dodatečně přičteny hodnoty z charakteristické kombinace od zatížení proměnného a to zatížení dopravou a zatížení teplotou.

CHARAKTERISTICKÁ

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

7.2.1 Kombinační součinitele

Tab. 22: Hodnoty kombinačních součinitelů pro mosty pozemních komunikací

Zatížení		ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\psi_{1,infq}$
g _{r1a}	TS	0,75	0,75	0,00	0,80
	UDL	0,40	0,40	0,00	0,80
	CH	0,40	0,40	0,00	0,80
teplota T _k		0,60	0,60	0,50	0,80
staveništní Q _c		1,00	-	1,00	1,00

Tab. 23: Hodnoty součinitelů spolehlivosti

Stálé	$\gamma_{G,sup}$	1,35
	$\gamma_{G,inf}$	1,00
Proměnné	γ_Q	1,35
Ostatní proměnné	γ_Q	1,50
Nerovnoměrné poklesy	$\gamma_{G,set}$	1,20
Redukční součinitel	ξ_0	0,85

7.2.2 Charakteristická kombinace zatížení

Tab. 24: Hodnoty ohybových momentů od proměnného zatížení v charakteristické kombinaci – část I

x [m]	M _y [kNm]														
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
MAX _{DOPRAVA}	200,46	268,21	341,41	412,75	482,10	549,49	615,01	678,45	738,95	794,99	844,23	884,28	913,36	929,97	931,91
MAX _{TEPLOTA}	297,76	346,57	398,06	446,96	493,32	537,31	579,05	618,54	655,45	689,07	718,27	741,76	758,50	767,66	768,67
MIN _{DOPRAVA}	-1 582,53	-1 349,22	-1 137,01	-945,38	-774,31	-623,99	-494,34	-384,53	-293,58	-220,18	-163,47	-121,55	-95,04	-88,05	-88,05
MIN _{TEPLOTA}	-1 027,81	-895,70	-774,57	-664,30	-565,04	-477,05	-400,43	-334,49	-278,88	-233,11	-197,00	-169,62	-151,75	-146,75	-146,74
Charakteristická - MAX	297,76	346,57	398,06	446,96	493,32	549,49	615,01	678,45	738,95	794,99	844,23	884,28	913,36	929,97	931,91
Charakteristická - MIN	-1 582,53	-1 349,22	-1 137,01	-945,38	-774,31	-623,99	-494,34	-384,53	-293,58	-233,11	-197,00	-169,62	-151,75	-146,75	-146,74

Tab. 25: Hodnoty ohybových momentů od proměnného zatížení v charakteristické kombinaci – část I

	M_y [kNm]													
x [m]	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0
$MAX_{DOPRAVA}$	929,97	913,36	884,28	844,23	794,99	738,95	678,45	615,01	549,49	482,10	412,75	341,41	268,21	200,46
$MAX_{TEPLOTA}$	767,66	758,50	741,76	718,27	689,07	655,45	618,54	579,05	537,31	493,32	446,96	398,06	346,57	297,76
$MIN_{DOPRAVA}$	-88,05	-95,04	-121,55	-163,47	-220,18	-293,58	-384,47	-494,24	-624,00	-774,31	-945,38	-1 137,02	-1 349,23	-1 582,53
$MIN_{TEPLOTA}$	-146,75	-151,75	-169,62	-197,00	-233,11	-278,88	-334,39	-400,27	-477,06	-565,05	-664,30	-774,57	-895,70	-1 027,81
Charakteristická - MAX	929,97	913,36	884,28	844,23	794,99	738,95	678,45	615,01	549,49	493,32	446,96	398,06	346,57	297,76
Charakteristická - MIN	-146,75	-151,75	-169,62	-197,00	-233,11	-293,58	-384,47	-494,24	-624,00	-774,31	-945,38	-1 137,02	-1 349,23	-1 582,53

Pozn. Kombinace zatížení 6.10a a 6.10b byly stanoveny jak pro případ, kdy dominantním zatížením bude zatížení dopravou, tak i v případě, že to bude zatížení teplotou. Byla vybrána nejnepríznivější kombinace z těchto možností a ta je v tabulkách výše označena zelenou barvou.

7.3 Návrh předpětí

Nosníky jsou rozděleny v podélném směru na 3 samostatné díly, které budou montážně podepřeny a zmonolitněny až na při betonáži spřažené desky. Z tohoto důvodu muselo být nejprve ověřeno chování jednotlivých dílců jako prostých nosníků zatížených vlastní tíhou nosníků a spřažené desky. Tento stav nastane krátce po betonáži desky, kdy konstrukce ještě nepůsobí jako spřažená.

Z tohoto posouzení vyšlo, že střední, nejdelší, dílec se neobejde bez dvou předem předpjatých lan průměru 15,7 mm, mez pevnosti 1860 MPa.

Hlavní část předpětí tvoří dodatečně předpjaté kabely v nosnících a ve spřažené desce.

Kabely v nosnících

Počet lan v kabelu	$n_K = 12$	ks
Počet kabelů na každý nosník	$n_N = 1$	ks
Plocha jednoho lana	$A_1 = 150,0$	mm ²
Plocha jednoho kabelu	$A_K = 1\ 800,0$	mm ²

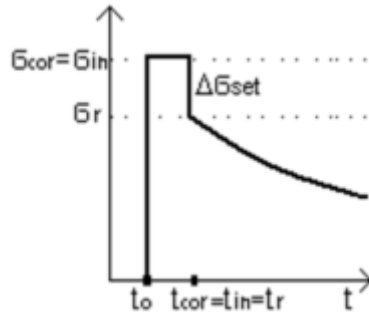
Kabely v desce

Počet lan v kabelu	$n_K = 15$	ks
Počet kabelů na v desce	$n_D = 8$	ks
Plocha jednoho lana	$A_1 = 150,0$	mm ²
Plocha jednoho kabelu	$A_K = 2\ 250,0$	mm ²

Údaje o napínání:

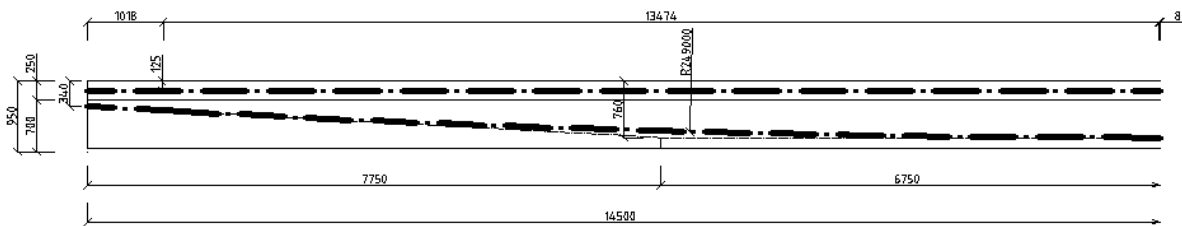
Napínání dodatečně předpjatých kabelů je prováděno z jednoho konce

Počáteční napětí	$\sigma_0 = 1\ 470,0$	MPa
Doba podržení napětí	$t = 300$	sekund
Pokluz	$l = 6,0$	mm
Součinitel tření v oblouku	$\varphi = 0,3$	-
Součinitel tření v přímé	$\varphi = 0,0006$	-

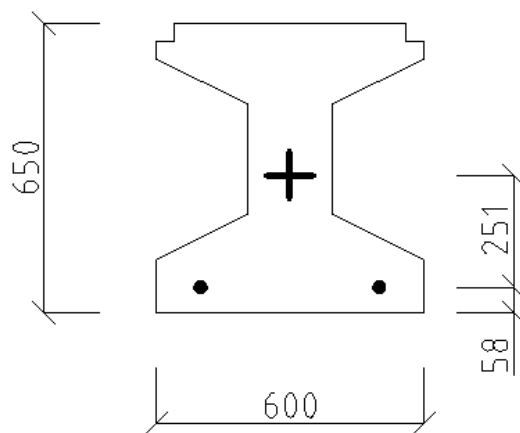


Obr. 64: Graf průběhu napínání

Nosná konstrukce je symetrická v podélném směru podle osy mostu, vedení předpínacích kabelů po délce mostu je vedeno symetricky. Vedení předpínacích kabelů je vidět na obrázku níže:



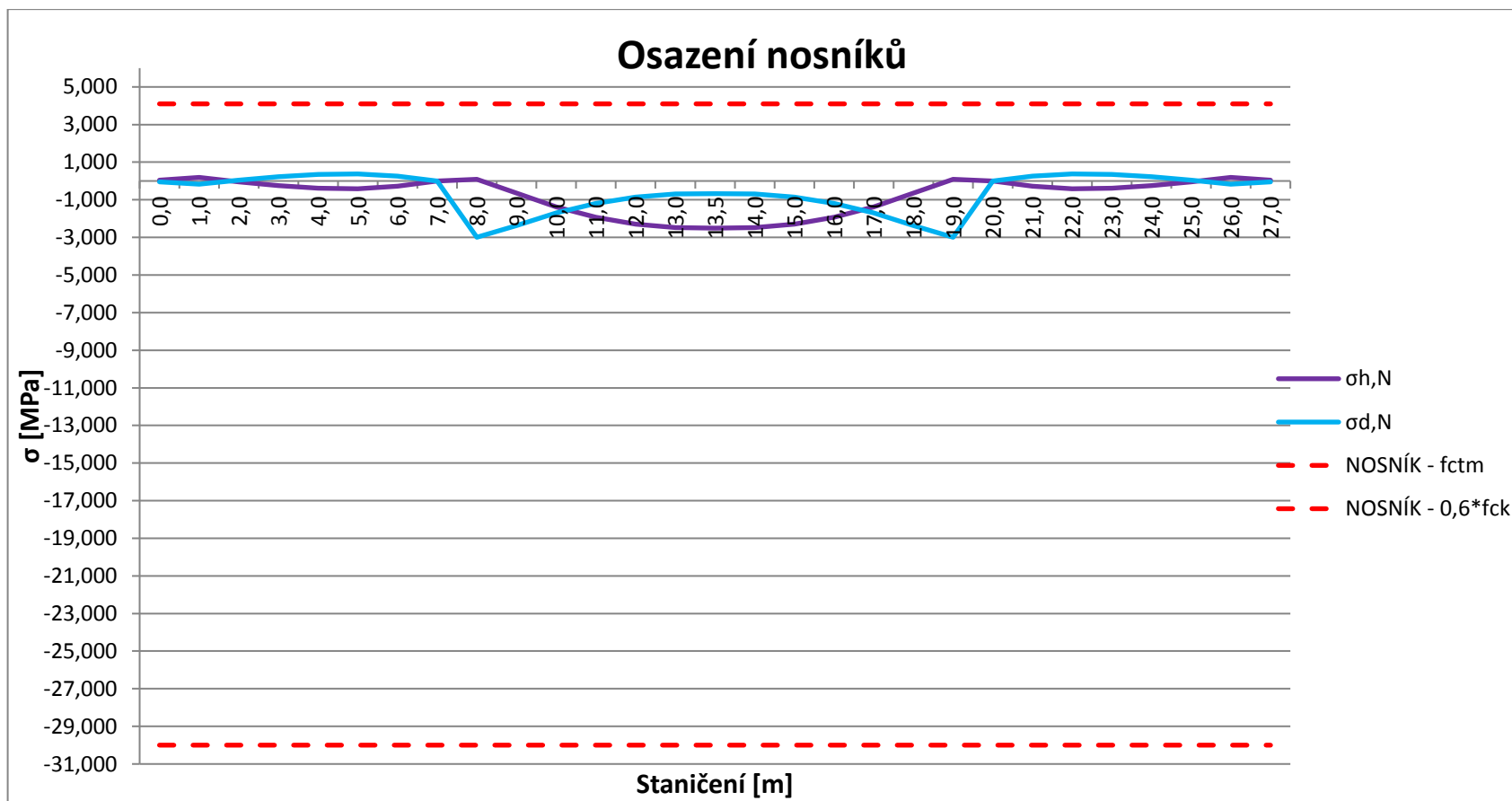
Obr. 65: Průběh vedení dodatečně předpjatých kabelů



Obr. 66: Umístění předem předpjatých lan ve středním nosníkovém dílu v průřezu uprostřed rozpětí

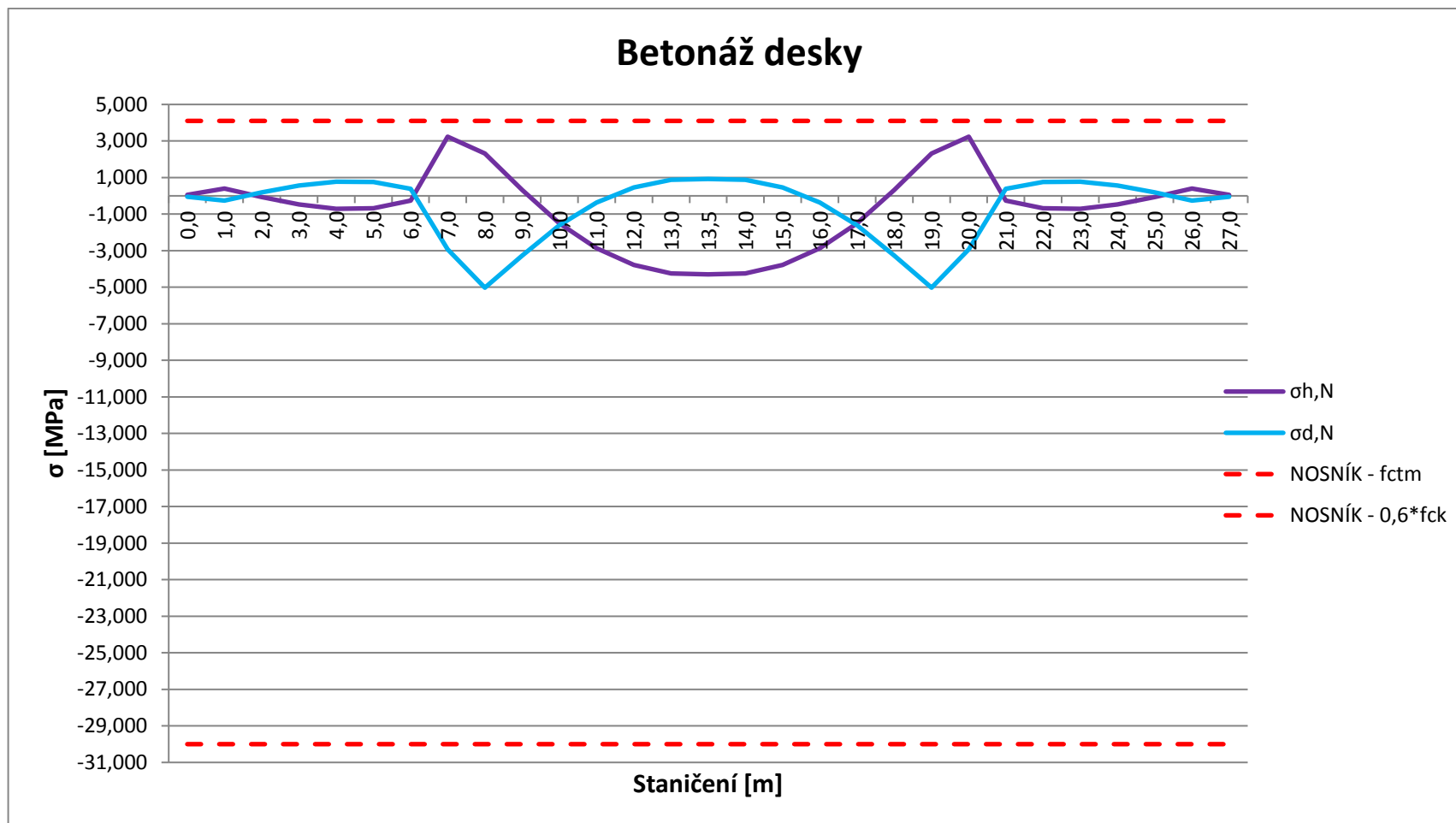
7.4 Výsledná napětí MSP

Osazení nosníků



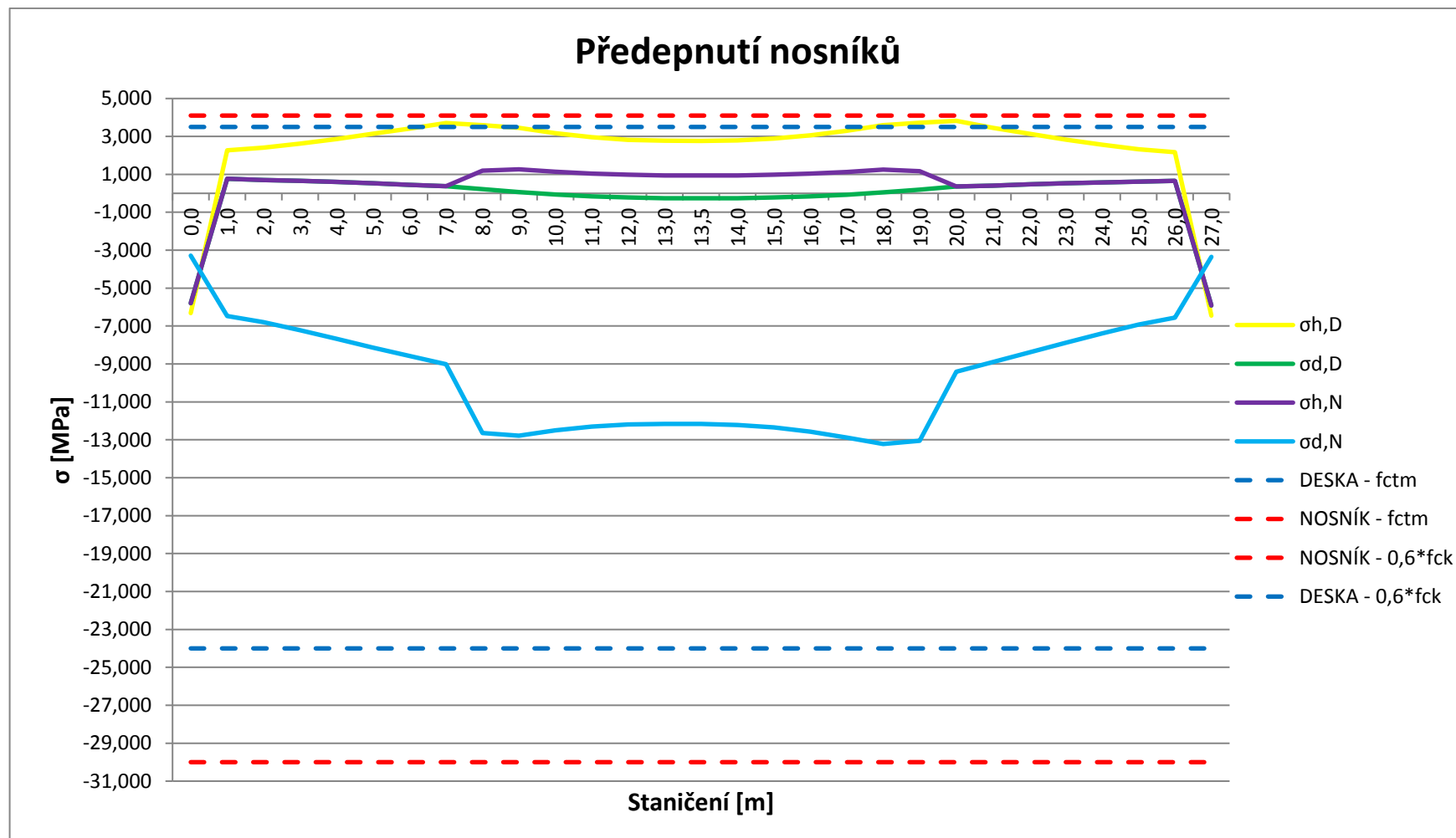
Obr. 67: Výsledná napětí MSP ve fázi osazení nosníků

Betonáž desky



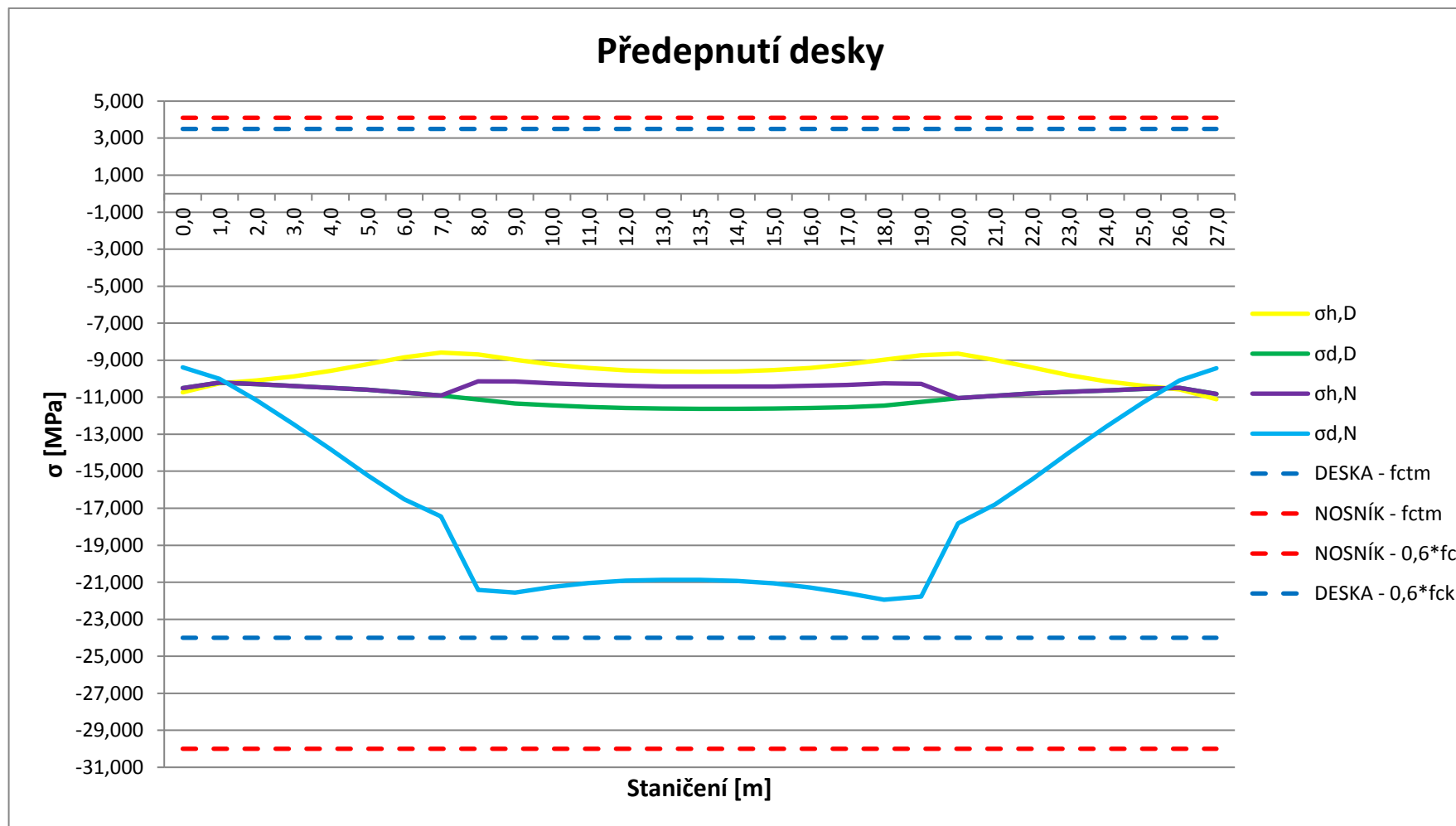
Obr. 68: Výsledná napětí MSP ve fázi betonáž desky

Předeptnutí nosníků



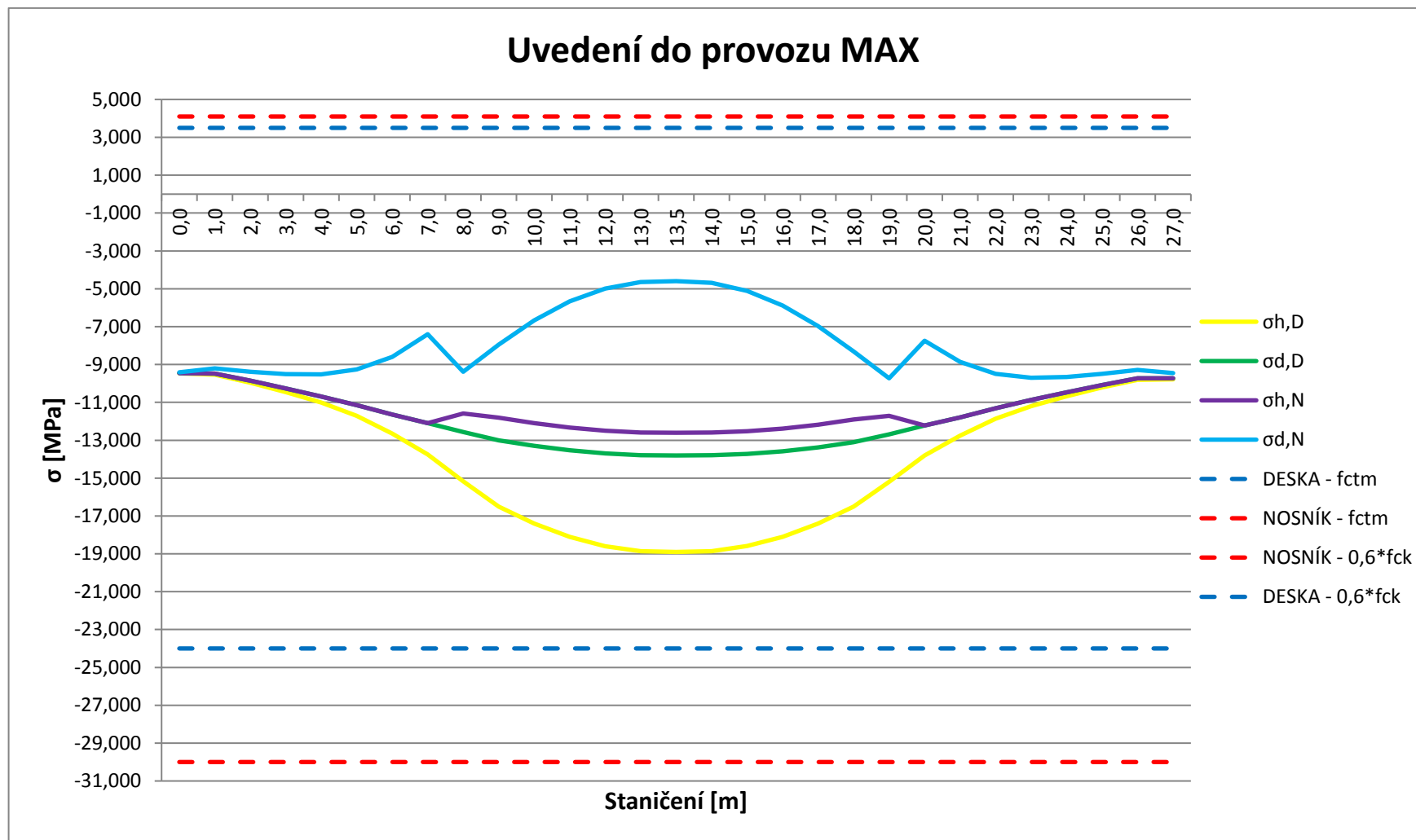
Obr. 69: Výsledná napětí MSP ve fázi předeptnutí nosníků

Předeptnutí desky



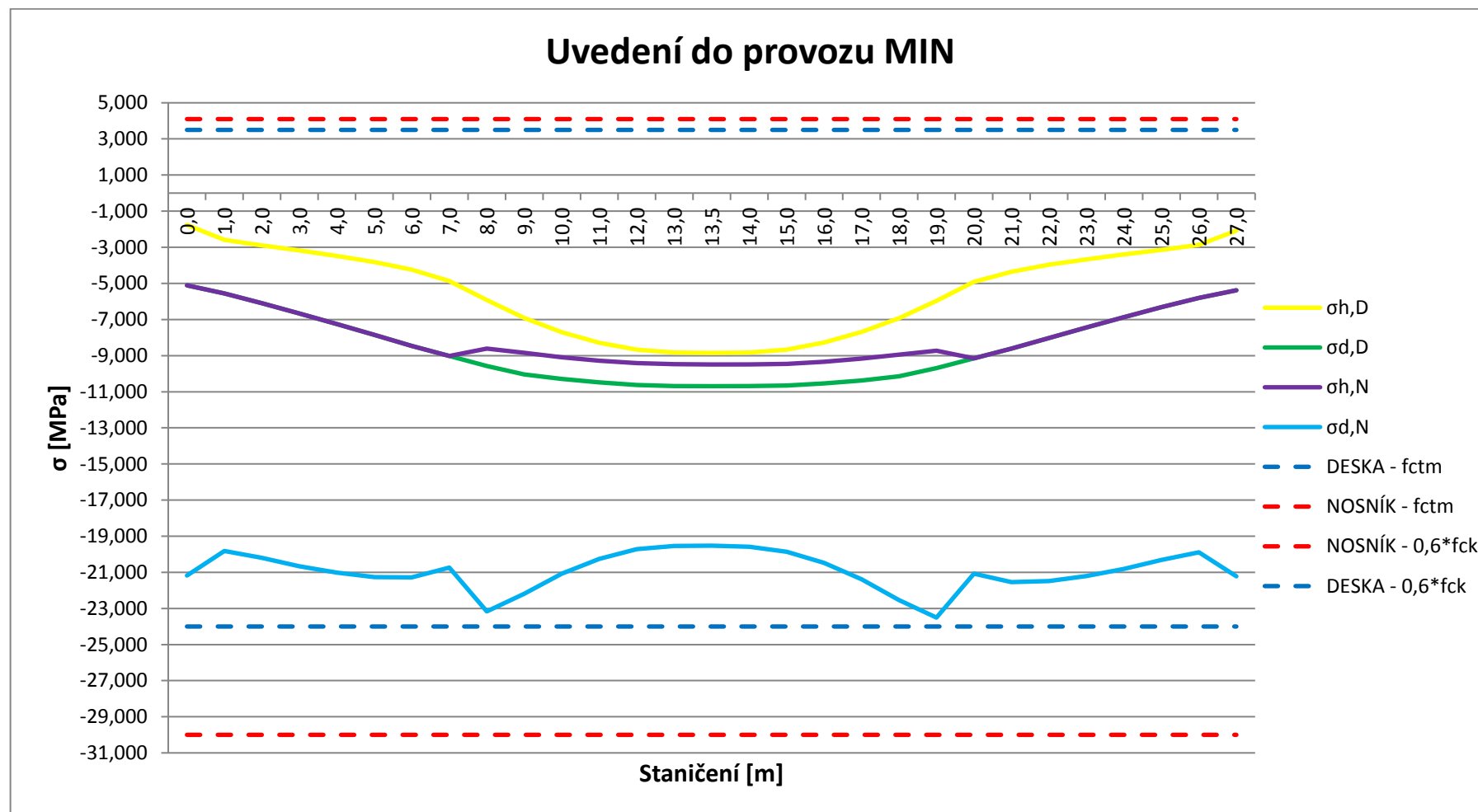
Obr. 70: Výsledná napětí MSP ve fázi předeptnutí desky

Uvedení do provozu MAX



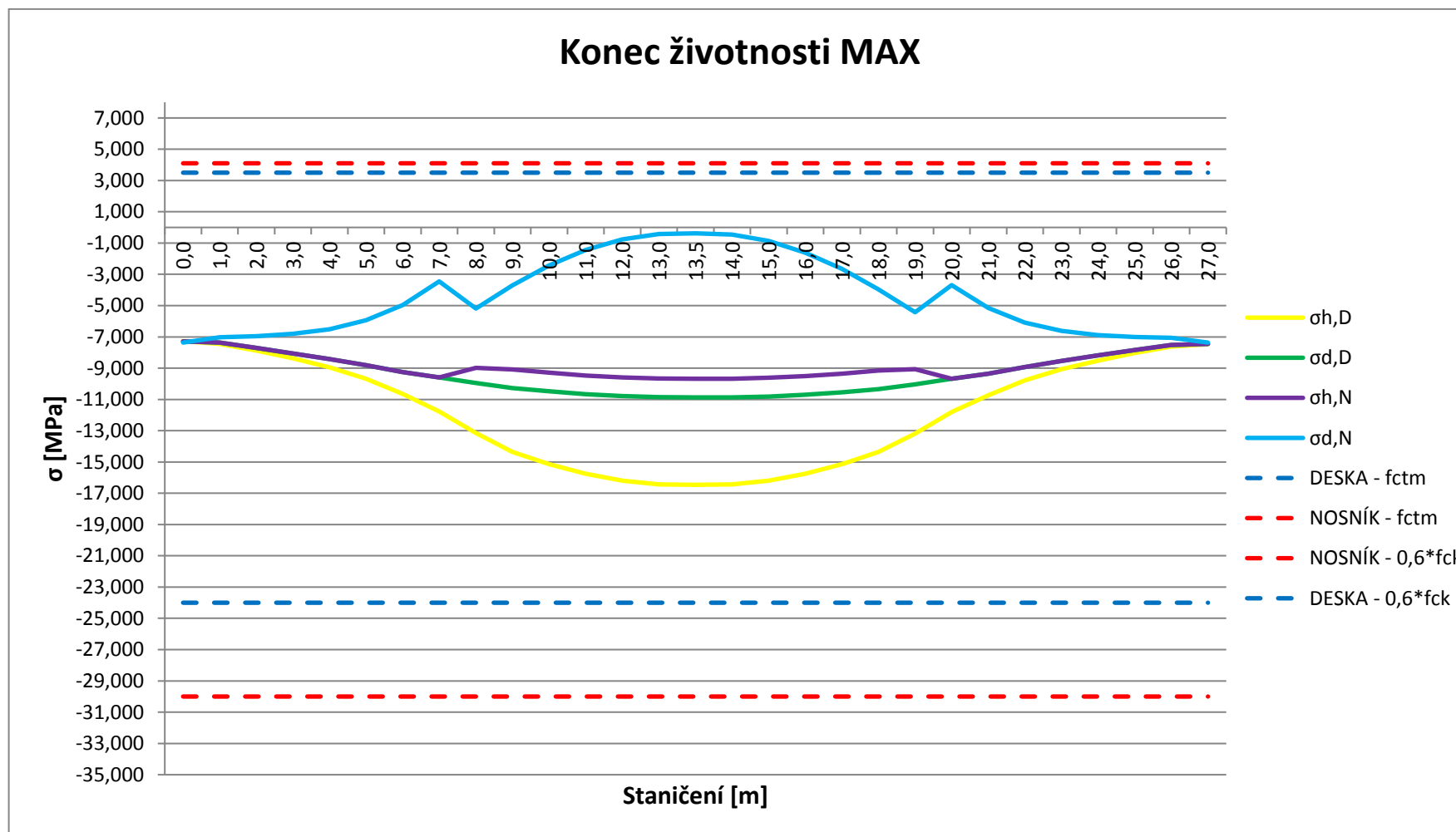
Obr. 71: Výsledná napětí MSP ve fázi uvedení do provozu od max. kladných účinků zatížení

Uvedení do provozu MIN



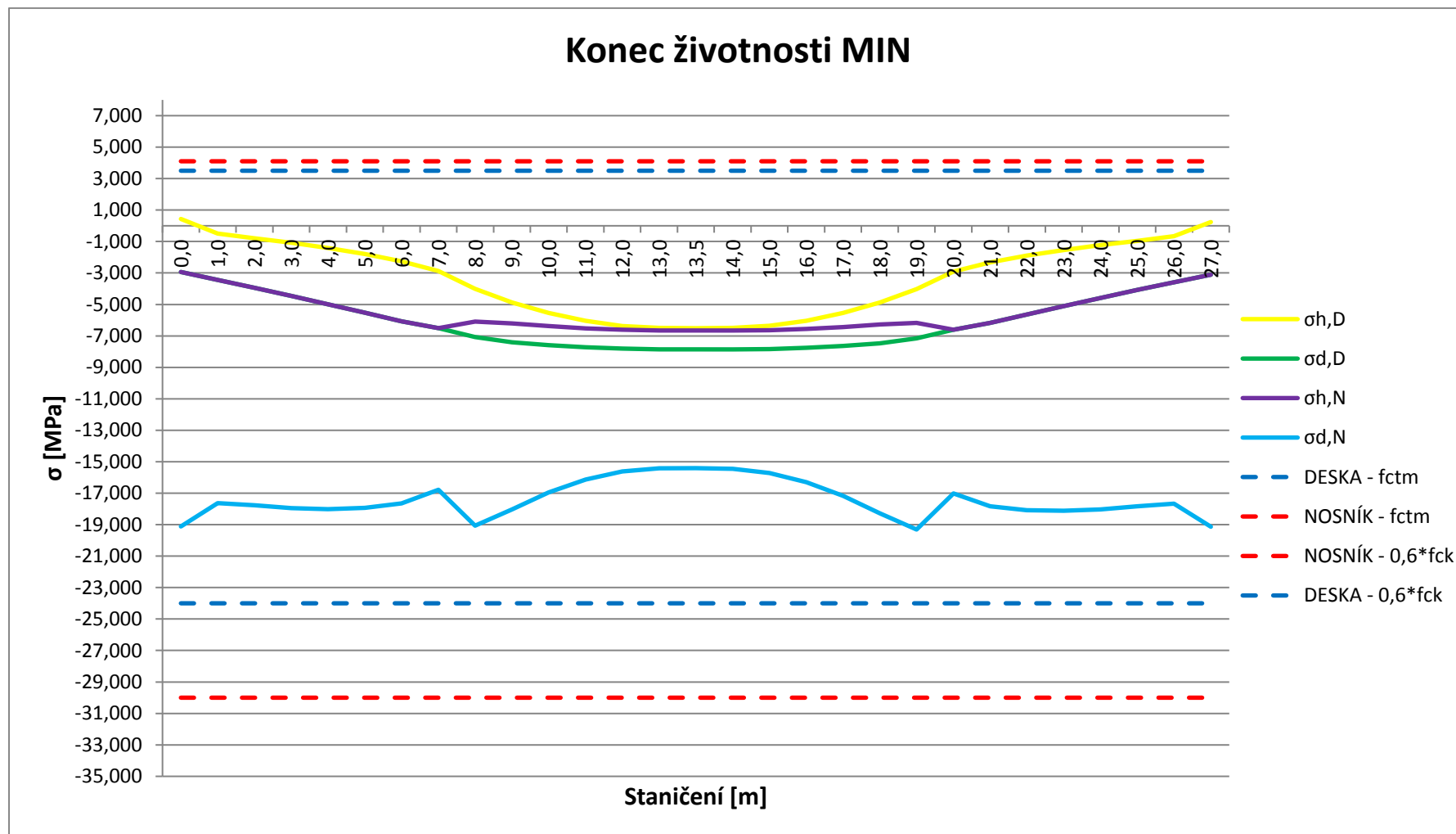
Obr. 72: Výsledná napětí MSP ve fázi uvedení do provozu od max. záporných účinků zatížení

Konec životnosti MAX



Obr. 73: Výsledná napětí MSP ve fázi konec životnosti od max. kladných účinků zatížení

Konec životnosti MIN



Obr. 74: Výsledná napětí MSP ve fázi konec životnosti od max. záporných účinků zatížení

7.5 Hlavní napětí v betonu

Ověření hlavních napětí v předpjatých prvcích pro omezení resp. vznik smykových trhlin se provede dle Přílohy QQ ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady. Výpočet byl proveden podle klasické teorie pružnosti. Do výpočtu nebyla zahrnuta betonářská výztuž.

Ověření hlavních napětí v betonu bylo provedeno v 6 časových krocích výstavby mostu:

1. Osazení nosníků
2. Betonáž spřažené desky
3. Dodatečné předepnutí nosníků
4. Dodatečné předepnutí desky
5. Uvedení do provozu
6. Konec životnosti

K výpočtu a ověření hlavních napětí v betonu je potřeba znát směrově závislou pevnost betonu v tahu dle vztahu:

$$f_{ctb,min} = \left(1 - 0,8 * \frac{\sigma_3}{f_{ck}}\right) * f_{ctk,0,05} [MPa]$$

f_{ctb} – pevnost betonu v tahu před vznikem trhlin při dvouosé napjatosti [MPa]

σ_3 – hlavní tlakové napětí dosažené kladnou hodnotou [MPa]

f_{ck} – charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]

$f_{ctk,0,05}$ – 5% kvantil pevnosti betonu v tahu [MPa]

Dále je potřeba znát vztah pro výpočet smykových napětí:

$$\tau_{xz} = \frac{V_z * U_y}{I_y * b} [MPa]$$

V_z – posouvající síly ve směru osy z [kN]

U_y – statický moment průřezu k ose y [m³]

I_y – moment setrvačnosti průřezu k ose y [m⁴]

b – šířka průřezu v posuzovaném místě [m]

Vztah pro výpočet hlavních napětí v betonu:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} [\text{MPa}]$$

σ_x – normálové napětí ve směru osy x [MPa]

σ_y – normálové napětí ve směru osy y [MPa]

τ_{xz} – smykové napětí v rovině xz [MPa]

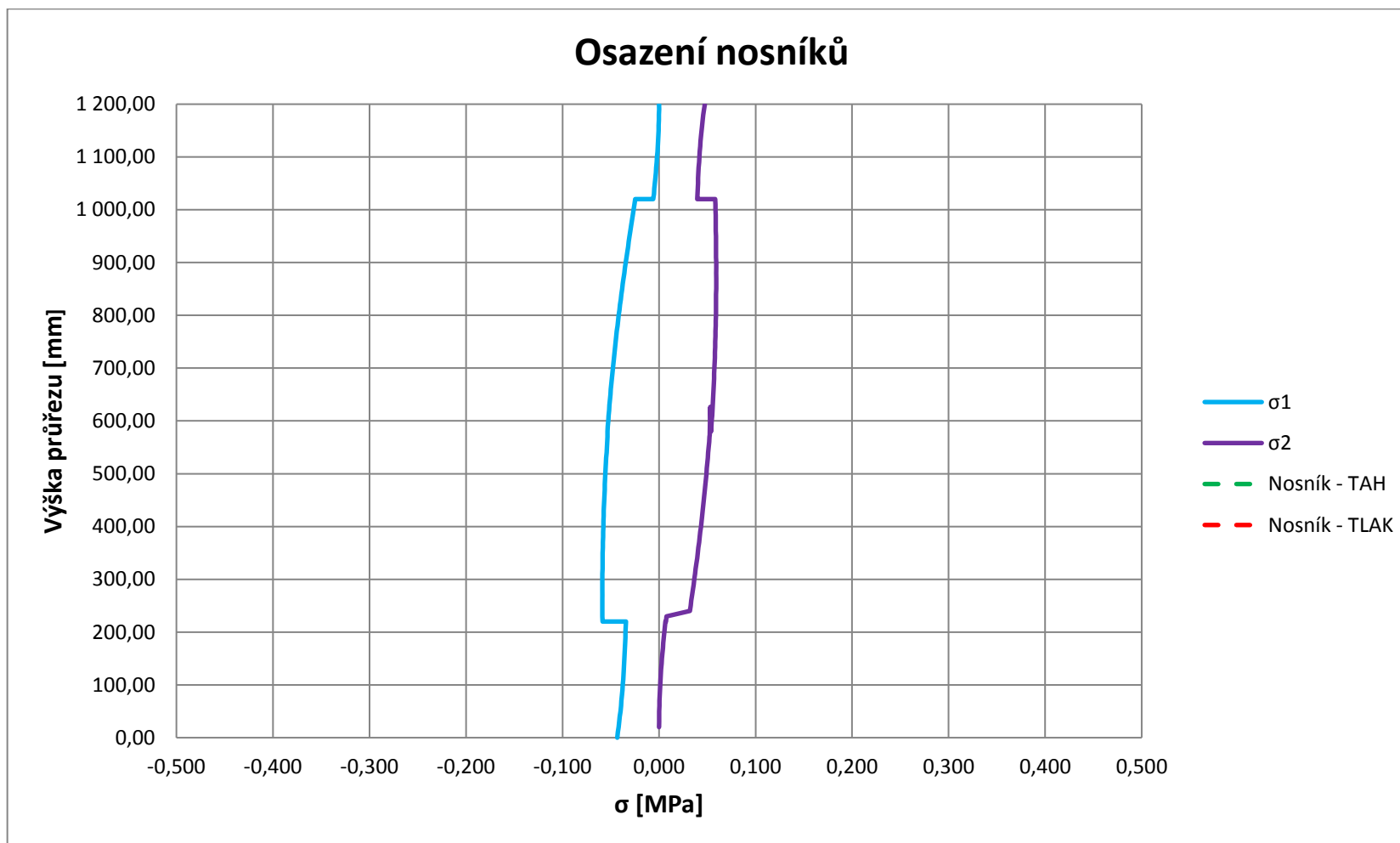
Posouzení hlavních napětí v betonu bylo provedeno po krocích 10 mm po výšce průřezu. Byl posuzován průřez těsně za podporou. Jelikož se jedná o integrovaný most působící de facto jako vetknutý nosník, nad podporou vznikají max. ohybové momenty. Zároveň je v tomto místě max. hodnota posouvající síly.

V následující tabulce bylo vybráno pár bodů, ve kterých byl proveden výpočet.

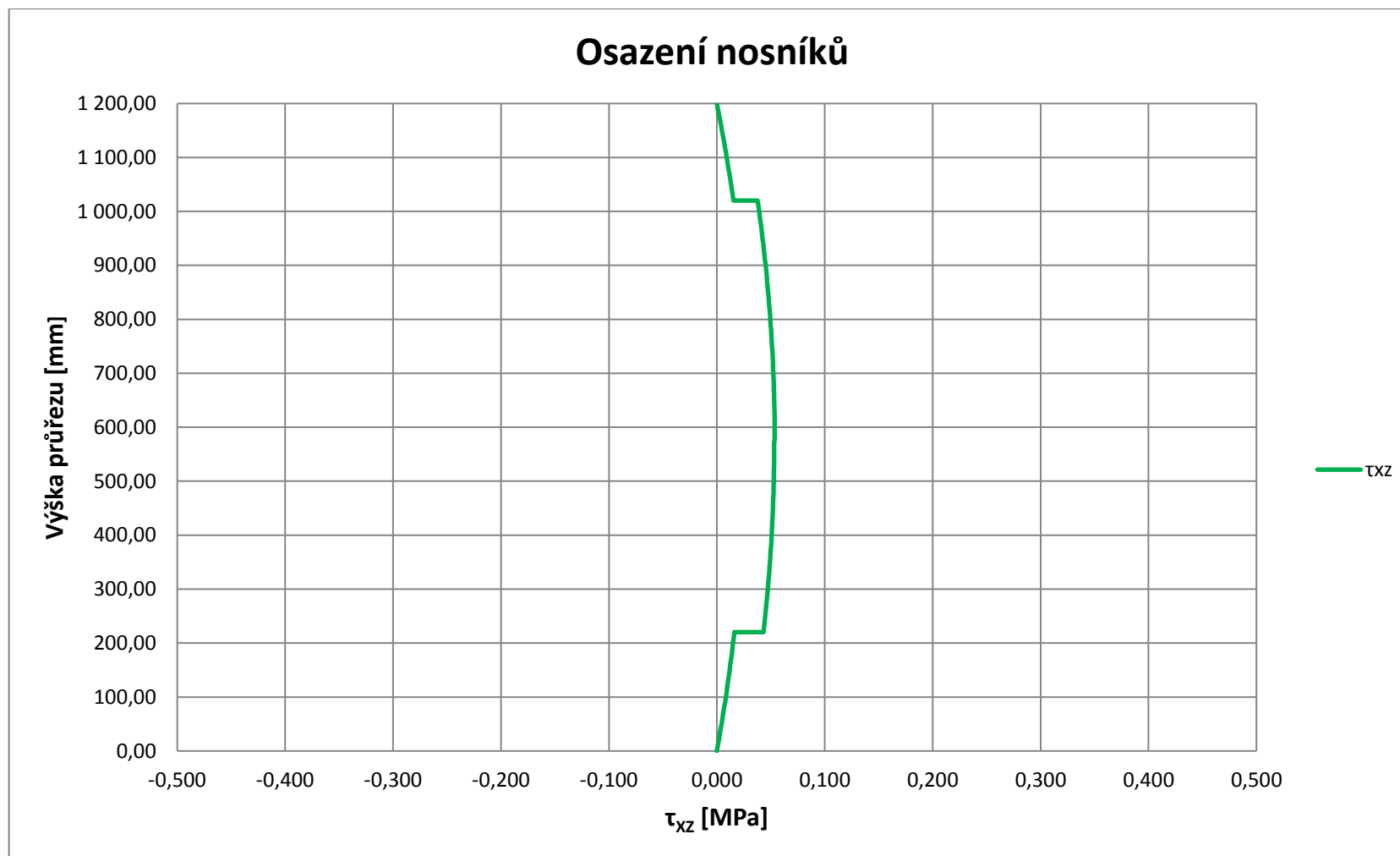
Osazení nosníků

Tab. 26: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze osazení nosníků

proužek	h	h _{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		f _{ctb,min}		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,200	0,000	0,468					0,047	0,000	0,000	0,047		2,900		2,900	-30,000
11	1,100	0,100	0,468	0,577	0,047	0,027		0,040	-0,009	-0,002	0,042		2,900		2,900	-30,000
19	1,020	0,180	0,468	0,537	0,084	0,045		0,034	-0,015	-0,006	0,040		2,900		2,900	-30,000
19	1,020	0,180	0,190	0,537	0,084	0,045		0,034	-0,038	-0,025	0,058		2,899		2,899	-30,000
21	1,000	0,200	0,190	0,532	0,088	0,047		0,032	-0,039	-0,026	0,058		2,899		2,899	-30,000
31	0,900	0,300	0,190	0,505	0,107	0,054		0,025	-0,045	-0,034	0,059		2,898		2,898	-30,000
41	0,800	0,400	0,190	0,470	0,126	0,059		0,017	-0,050	-0,042	0,059		2,898		2,898	-30,000
51	0,700	0,500	0,190	0,432	0,145	0,063		0,010	-0,052	-0,048	0,057		2,898		2,898	-30,000
61	0,600	0,600	0,190	0,391	0,164	0,064		0,002	-0,054	-0,053	0,055		2,898		2,898	-30,000
	0,627	0,627	0,190	0,379	0,169	0,064		0,004	-0,054	-0,052	0,056		2,898		2,898	-30,000
	0,573	0,573	0,190	0,356	0,179	0,064		0,000	-0,053	-0,053	0,053		2,898		2,898	-30,000
71	0,500	0,500	0,190	0,383	0,165	0,063		-0,006	-0,053	-0,056	0,050		2,897		2,897	-30,000
82	0,390	0,390	0,190	0,420	0,144	0,060		-0,013	-0,051	-0,058	0,045		2,897		2,897	-30,000
91	0,300	0,300	0,190	0,445	0,127	0,056		-0,021	-0,047	-0,059	0,038		2,897		2,897	-30,000
99	0,220	0,220	0,190	0,463	0,112	0,052		-0,027	-0,043	-0,059	0,032		2,897		2,897	-30,000
99	0,220	0,220	0,507	0,463	0,112	0,052		-0,027	-0,016	-0,034	0,008		2,898		2,898	-30,000
101	0,200	0,200	0,507	0,473	0,101	0,048		-0,028	-0,015	-0,035	0,007		2,898		2,898	-30,000
111	0,100	0,100	0,507	0,523	0,051	0,027		-0,036	-0,008	-0,038	0,002		2,898		2,898	-30,000
121	0,000	0,000	0,507					-0,043	0,000	-0,043	0,000		2,898		2,898	-30,000



Obr. 75: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi osazení nosníků

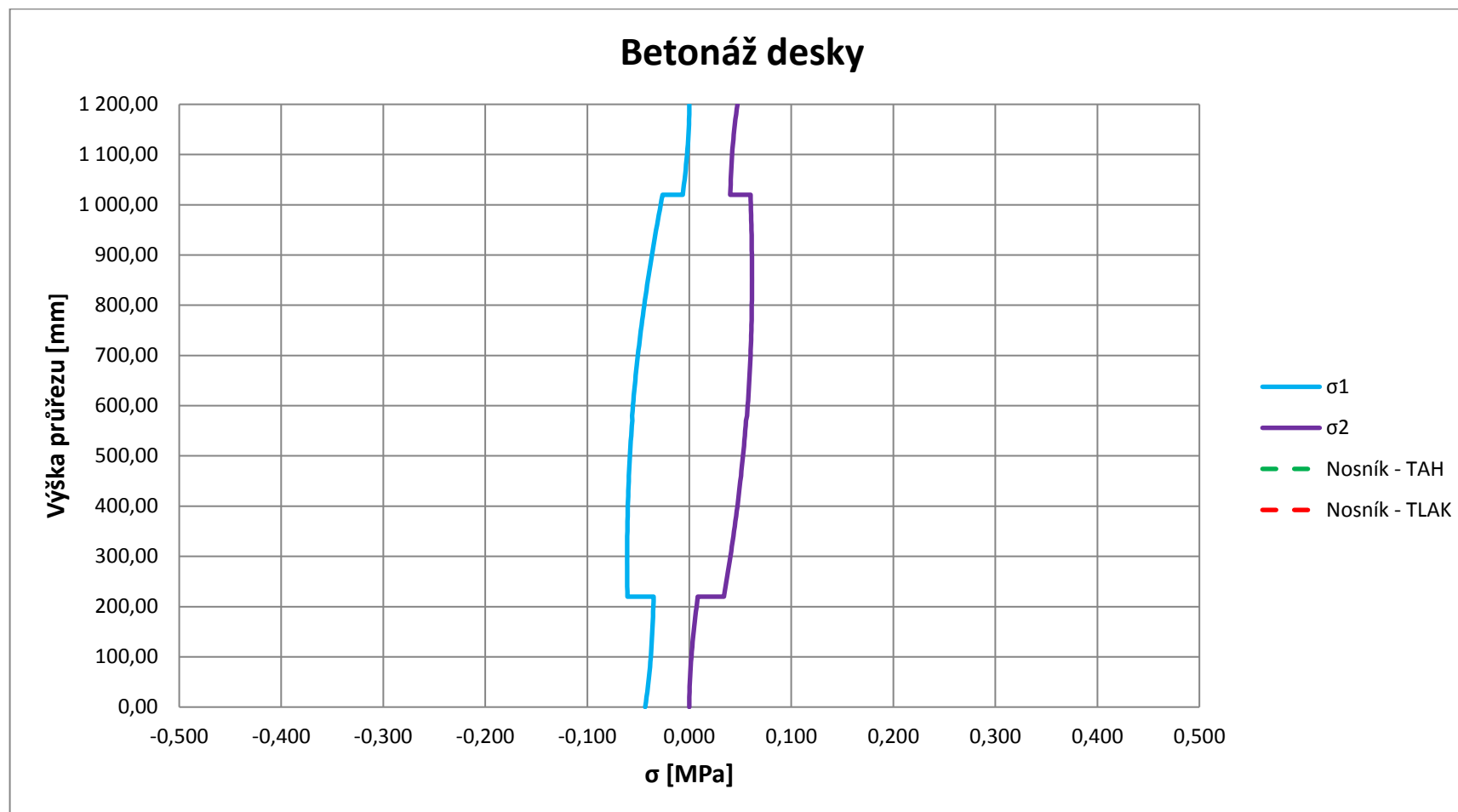


Obr. 76: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi osazení nosníků

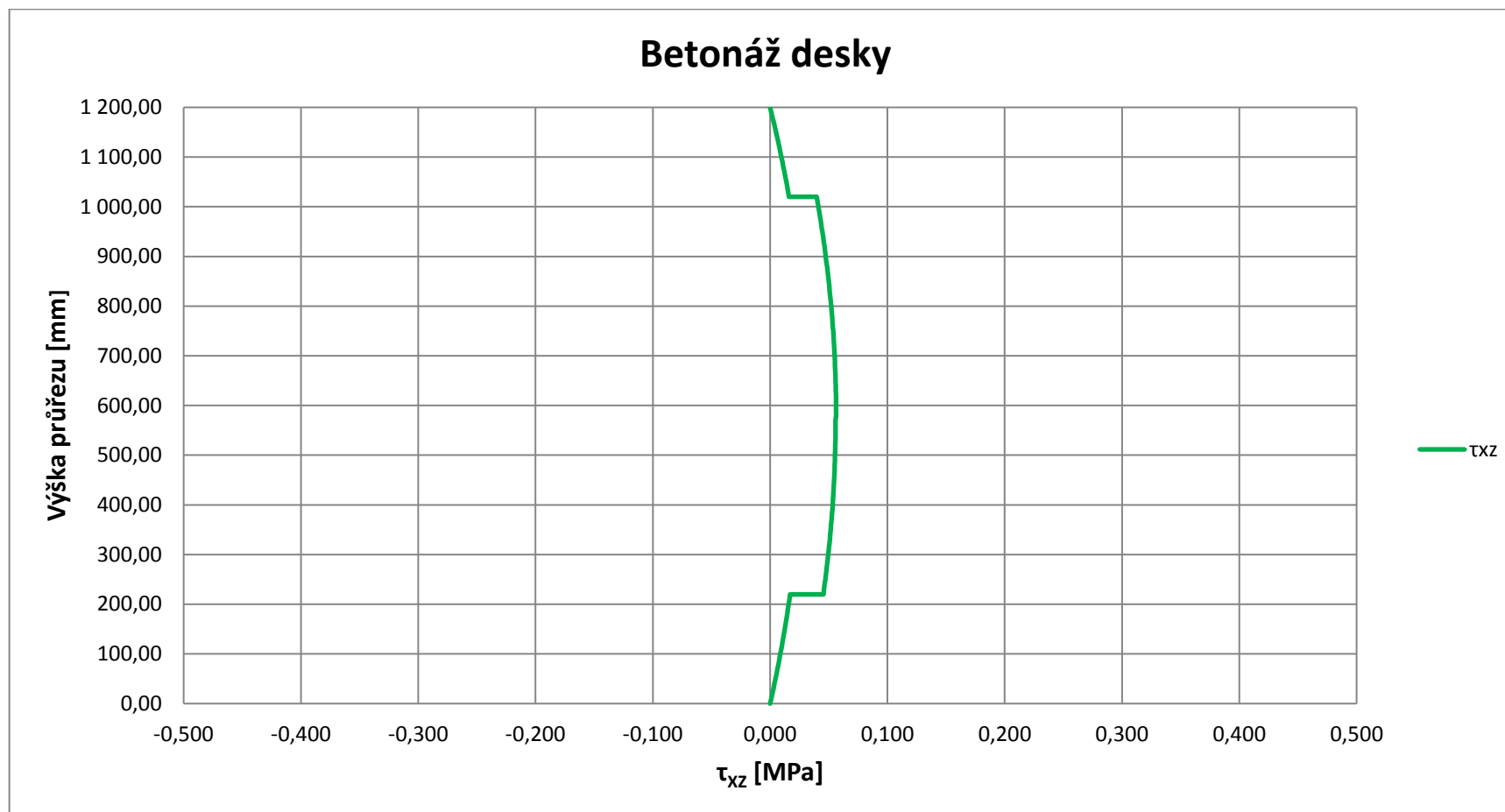
Betonáž desky

Tab. 27: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze betonáž desky

proužek	h	h _{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		f _{ctb,min}		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,200	0,000	0,468					0,047	0,000	0,000	0,047		2,900		2,900	-30,000
11	1,100	0,100	0,468	0,577	0,047	0,027		0,040	0,010	-0,002	0,042		2,900		2,900	-30,000
19	1,020	0,180	0,468	0,537	0,084	0,045		0,034	0,016	-0,006	0,040		2,900		2,900	-30,000
19	1,020	0,180	0,190	0,537	0,084	0,045		0,034	0,040	-0,026	0,060		2,899		2,899	-30,000
21	1,000	0,200	0,190	0,532	0,088	0,047		0,032	0,041	-0,028	0,060		2,899		2,899	-30,000
31	0,900	0,300	0,190	0,505	0,107	0,054		0,025	0,047	-0,037	0,061		2,898		2,898	-30,000
41	0,800	0,400	0,190	0,470	0,126	0,059		0,017	0,052	-0,044	0,061		2,898		2,898	-30,000
51	0,700	0,500	0,190	0,432	0,145	0,063		0,010	0,055	-0,050	0,060		2,898		2,898	-30,000
61	0,600	0,600	0,190	0,391	0,164	0,064		0,002	0,056	-0,055	0,057		2,897		2,897	-30,000
	0,627	0,627	0,190	0,379	0,169	0,064		0,004	0,056	-0,054	0,058		2,897		2,897	-30,000
	0,573	0,573	0,190	0,356	0,179	0,064		0,000	0,056	-0,056	0,056		2,897		2,897	-30,000
71	0,500	0,500	0,190	0,383	0,165	0,063		-0,006	0,055	-0,058	0,053		2,897		2,897	-30,000
81	0,400	0,400	0,190	0,417	0,146	0,061		-0,013	0,053	-0,060	0,047		2,897		2,897	-30,000
91	0,300	0,300	0,190	0,445	0,127	0,056		-0,021	0,050	-0,061	0,040		2,897		2,897	-30,000
99	0,220	0,220	0,190	0,463	0,112	0,052		-0,027	0,045	-0,061	0,034		2,897		2,897	-30,000
99	0,220	0,220	0,507	0,463	0,112	0,052		-0,027	0,017	-0,035	0,008		2,898		2,898	-30,000
101	0,200	0,200	0,507	0,473	0,101	0,048		-0,028	0,016	-0,035	0,007		2,898		2,898	-30,000
111	0,100	0,100	0,507	0,523	0,051	0,027		-0,036	0,009	-0,038	0,002		2,898		2,898	-30,000
121	0,000	0,000	0,507					-0,043	0,000	-0,043	0,000		2,898		2,898	-30,000



Obr. 77: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi betonáž desky

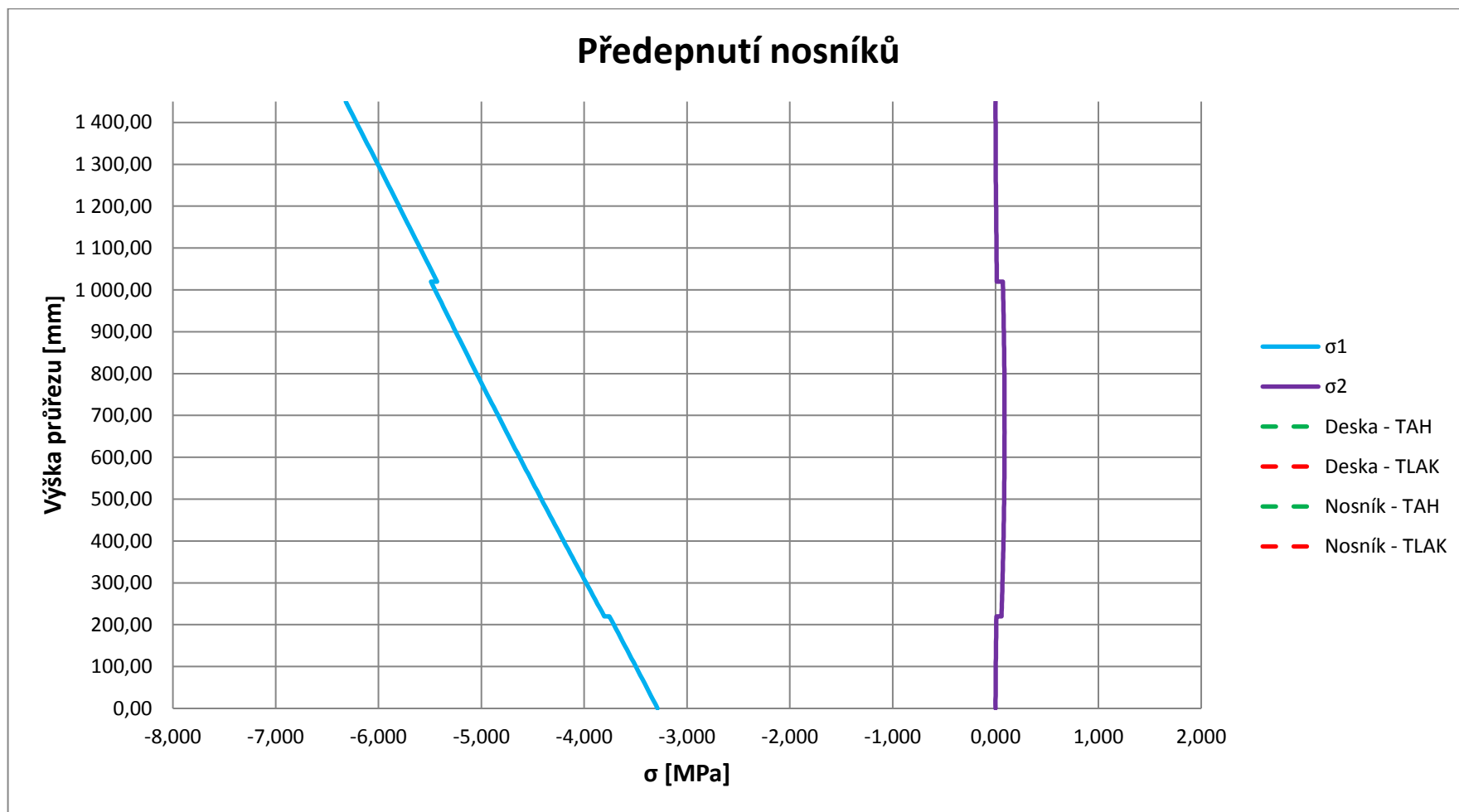


Obr. 78: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi betonáž desky

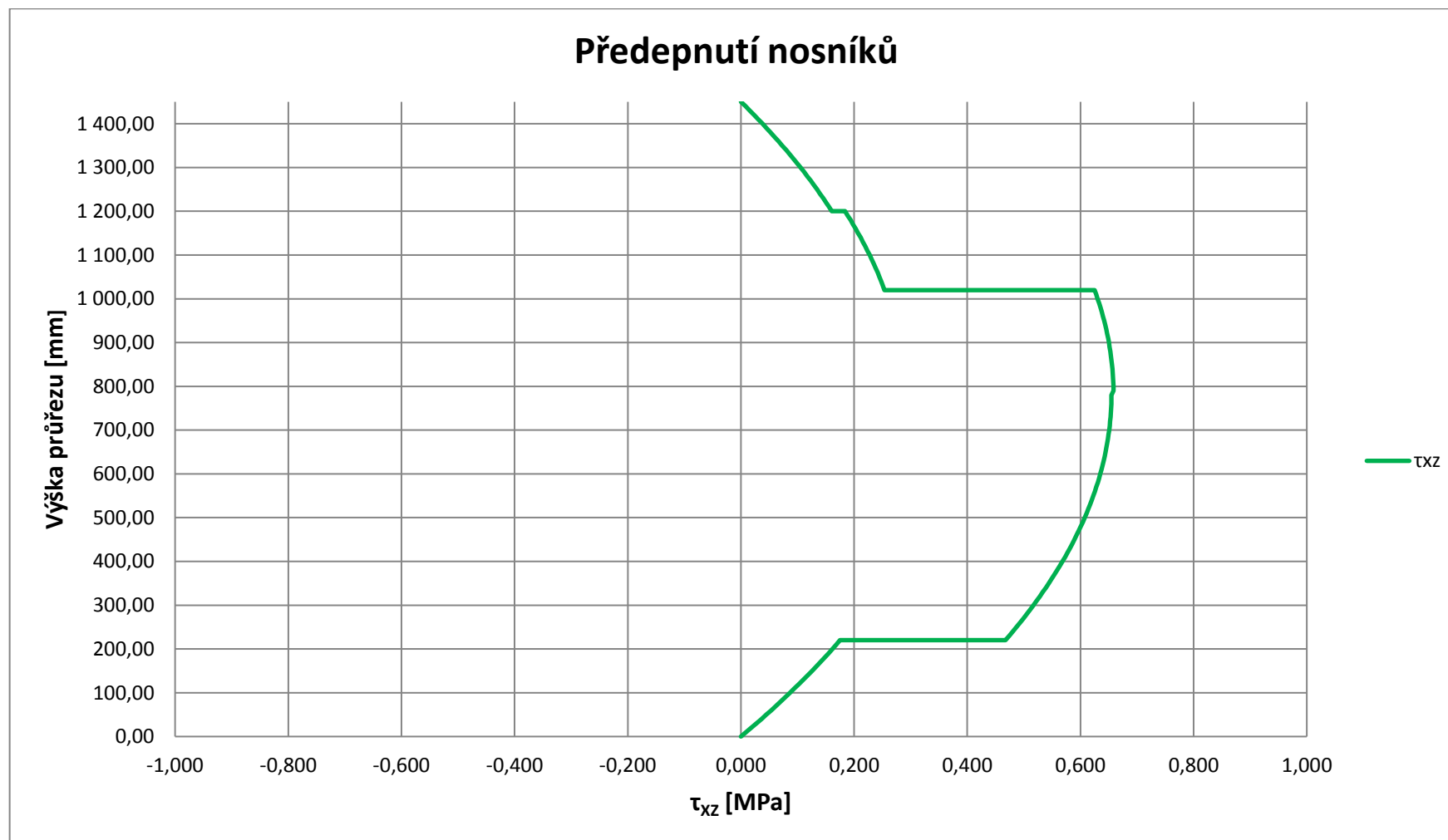
Předeptnutí nosníků

Tab. 28: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze předeptnutí nosníků

proužek	h	h_{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		$f_{ctb,min}$		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,450	0,000	0,536					-6,319	0,000	-6,319	0,000		2,184		2,184	-24,000
6	1,400	0,050	0,536	0,643	0,027	0,017		-6,215	0,038	-6,215	0,000		2,189		2,189	-24,000
16	1,300	0,150	0,536	0,593	0,080	0,048		-6,006	0,105	-6,007	0,002		2,200		2,200	-24,000
26	1,200	0,250	0,536	0,543	0,134	0,073		-5,796	0,161	-5,801	0,004		2,210		2,210	-24,000
26	1,200	0,250	0,468	0,543	0,134	0,073		-5,796	0,184	-5,802	0,006		2,631		2,631	-30,000
36	1,100	0,350	0,468	0,497	0,181	0,090		-5,587	0,227	-5,597	0,009		2,640		2,640	-30,000
44	1,020	0,430	0,468	0,460	0,218	0,100		-5,420	0,254	-5,432	0,012		2,648		2,648	-30,000
44	1,020	0,430	0,190	0,460	0,218	0,100		-5,420	0,625	-5,491	0,071		2,645		2,645	-30,000
46	1,000	0,450	0,190	0,456	0,222	0,101		-5,378	0,630	-5,451	0,073		2,647		2,647	-30,000
56	0,900	0,550	0,190	0,433	0,241	0,104		-5,169	0,650	-5,250	0,081		2,656		2,656	-30,000
66	0,800	0,650	0,190	0,406	0,260	0,106		-4,960	0,658	-5,046	0,086		2,666		2,666	-30,000
	0,668	0,668	0,190	0,401	0,263	0,106		-4,683	0,658	-4,774	0,091		2,678		2,678	-30,000
	0,782	0,782	0,190	0,481	0,218	0,105		-4,923	0,655	-5,009	0,086		2,668		2,668	-30,000
76	0,700	0,700	0,190	0,515	0,203	0,104		-4,751	0,651	-4,838	0,088		2,675		2,675	-30,000
86	0,600	0,600	0,190	0,555	0,184	0,102		-4,542	0,635	-4,629	0,087		2,685		2,685	-30,000
96	0,500	0,500	0,190	0,592	0,165	0,097		-4,333	0,608	-4,416	0,084		2,695		2,695	-30,000
106	0,400	0,400	0,190	0,626	0,146	0,091		-4,124	0,568	-4,200	0,077		2,705		2,705	-30,000
116	0,300	0,300	0,190	0,654	0,127	0,083		-3,914	0,517	-3,982	0,067		2,715		2,715	-30,000
124	0,220	0,220	0,190	0,672	0,112	0,075		-3,747	0,467	-3,805	0,057		2,723		2,723	-30,000
124	0,220	0,220	0,507	0,672	0,112	0,075		-3,747	0,175	-3,755	0,008		2,726		2,726	-30,000
126	0,200	0,200	0,507	0,682	0,101	0,069		-3,705	0,162	-3,712	0,007		2,728		2,728	-30,000
136	0,100	0,100	0,507	0,732	0,051	0,037		-3,496	0,087	-3,498	0,002		2,738		2,738	-30,000
146	0,000	0,000	0,507					-3,287	0,000	-3,287	0,000		2,747		2,747	-30,000



Obr. 79: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi předeptnutí nosníků

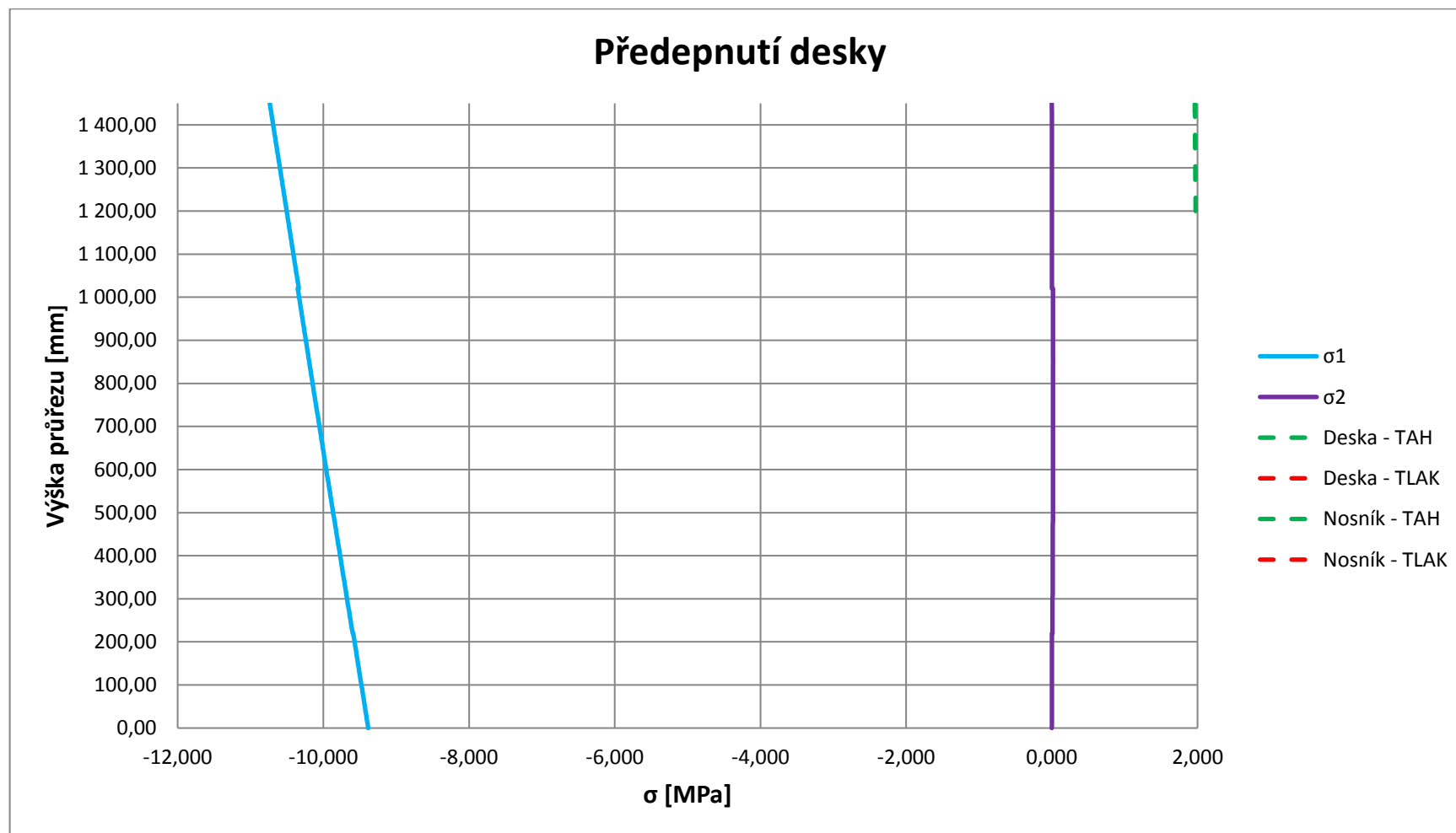


Obr. 80: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi předeptnutí nosníků

Předeptnutí desky

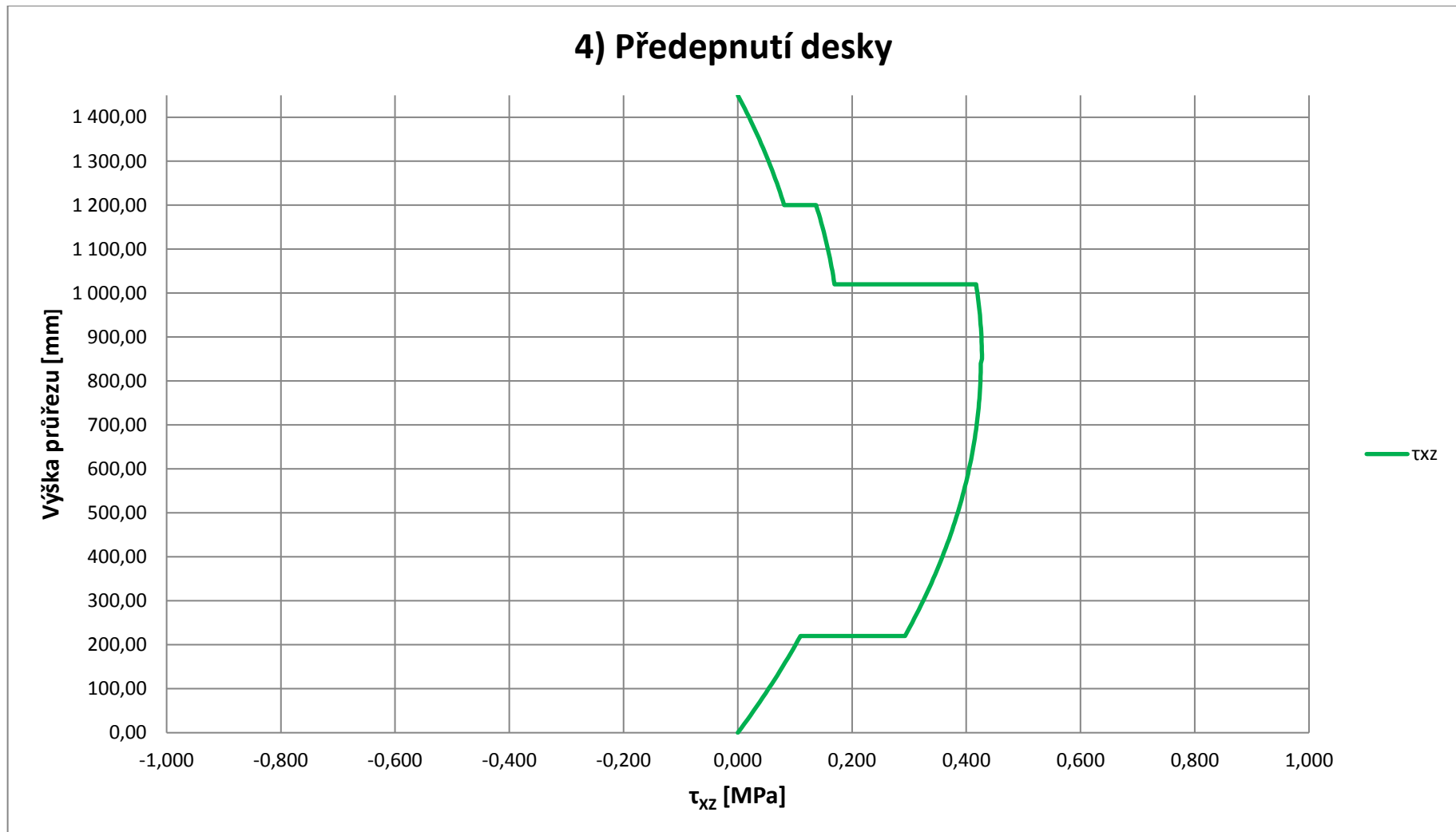
Tab. 29: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze předeptnutí desky

proužek	h	h _{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		f _{ctb,min}		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,450	0,000	0,790					-10,735	0,000	-10,735	0,000		1,963		1,963	-24,000
6	1,400	0,050	0,790	0,579	0,040	0,023		-10,688	0,020	-10,689	0,000		1,966		1,966	-24,000
16	1,300	0,150	0,790	0,529	0,119	0,063		-10,595	0,054	-10,596	0,000		1,970		1,970	-24,000
26	1,200	0,250	0,790	0,479	0,198	0,095		-10,502	0,081	-10,503	0,001		1,975		1,975	-24,000
26	1,200	0,250	0,468	0,479	0,198	0,095		-10,502	0,137	-10,504	0,002		2,413		2,413	-30,000
36	1,100	0,350	0,468	0,446	0,244	0,109		-10,409	0,158	-10,411	0,002		2,417		2,417	-30,000
44	1,020	0,430	0,468	0,415	0,282	0,117		-10,334	0,169	-10,337	0,003		2,420		2,420	-30,000
44	1,020	0,430	0,190	0,415	0,282	0,117		-10,334	0,417	-10,351	0,017		2,420		2,420	-30,000
46	1,000	0,450	0,190	0,412	0,286	0,118		-10,316	0,419	-10,333	0,017		2,421		2,421	-30,000
56	0,900	0,550	0,190	0,393	0,305	0,120		-10,223	0,426	-10,240	0,018		2,425		2,425	-30,000
	0,604	0,604	0,190	0,381	0,315	0,120		-9,947	0,427	-9,965	0,018		2,438		2,438	-30,000
	0,846	0,846	0,190	0,518	0,230	0,119		-10,172	0,425	-10,190	0,018		2,427		2,427	-30,000
66	0,800	0,800	0,190	0,537	0,222	0,119		-10,129	0,425	-10,147	0,018		2,429		2,429	-30,000
76	0,700	0,700	0,190	0,578	0,203	0,117		-10,036	0,418	-10,054	0,017		2,434		2,434	-30,000
86	0,600	0,600	0,190	0,618	0,184	0,114		-9,943	0,405	-9,959	0,016		2,438		2,438	-30,000
96	0,500	0,500	0,190	0,655	0,165	0,108		-9,850	0,385	-9,865	0,015		2,442		2,442	-30,000
106	0,400	0,400	0,190	0,689	0,146	0,100		-9,757	0,358	-9,770	0,013		2,447		2,447	-30,000
116	0,300	0,300	0,190	0,718	0,127	0,091		-9,663	0,324	-9,674	0,011		2,451		2,451	-30,000
124	0,220	0,220	0,190	0,736	0,112	0,082		-9,589	0,293	-9,598	0,009		2,455		2,455	-30,000
124	0,220	0,220	0,507	0,736	0,112	0,082		-9,589	0,110	-9,590	0,001		2,455		2,455	-30,000
126	0,200	0,200	0,507	0,746	0,101	0,076		-9,570	0,101	-9,571	0,001		2,456		2,456	-30,000
136	0,100	0,100	0,507	0,796	0,051	0,040		-9,477	0,054	-9,477	0,000		2,460		2,460	-30,000
146	0,000	0,000	0,507					-9,384	0,000	-9,384	0,000		2,465		2,465	-30,000



Obr. 81: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi předeptnutí desky

4) Předepnutí desky

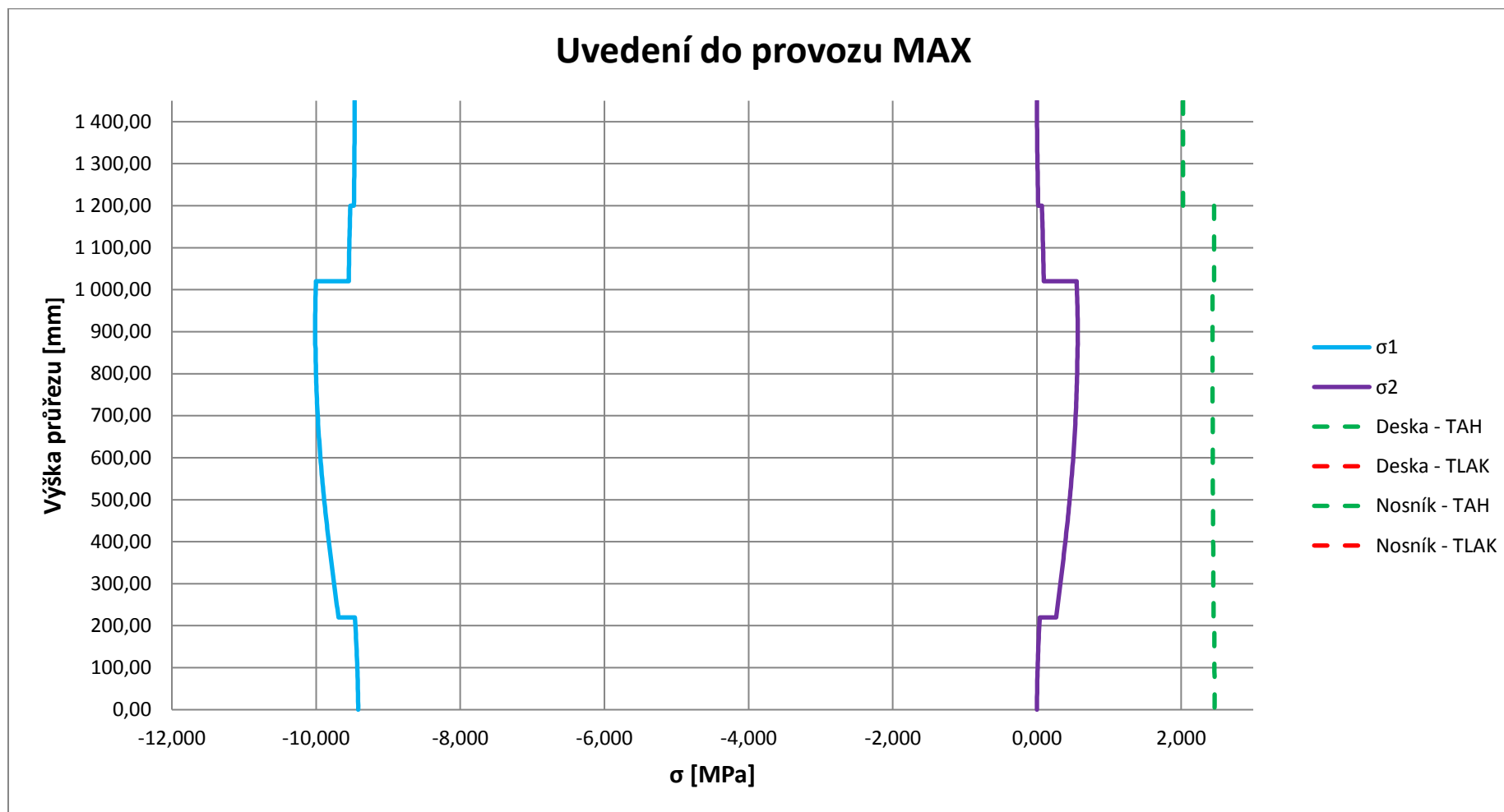


Obr. 82: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi předepnutí desky

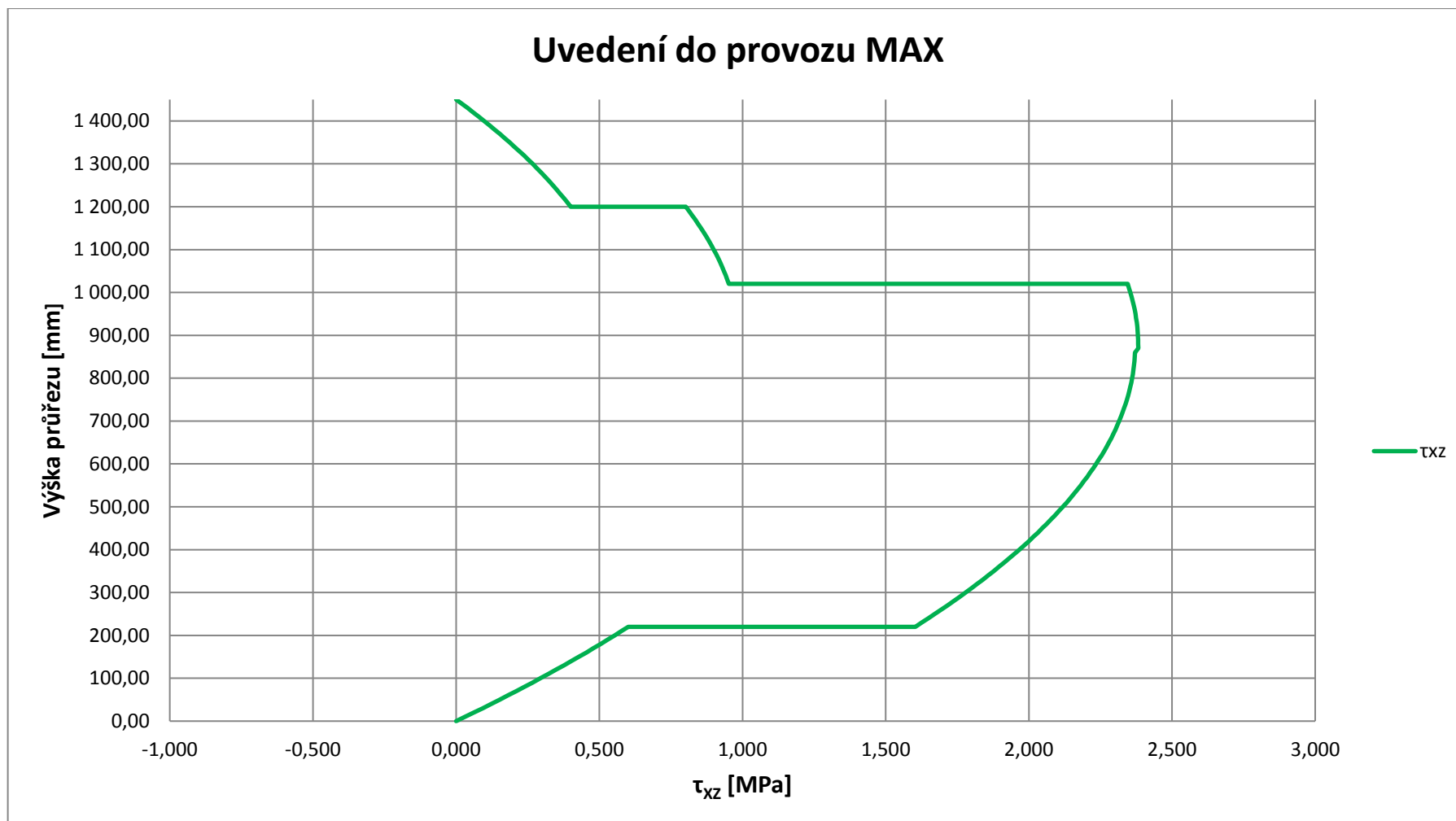
Uvedení do provozu MAX

Tab. 30: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fázi uvedení do provozu MAX

proužek	h	h _{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		f _{ctb,min}		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,450	0,000	0,938					-9,467	0,000	-9,467	0,000		2,027		2,027	-24,000
6	1,400	0,050	0,938	0,549	0,047	0,026		-9,465	0,098	-9,466	0,001		2,027		2,027	-24,000
16	1,300	0,150	0,938	0,499	0,141	0,070		-9,461	0,267	-9,469	0,008		2,027		2,027	-24,000
26	1,200	0,250	0,938	0,449	0,235	0,105		-9,458	0,400	-9,475	0,017		2,026		2,026	-24,000
26	1,200	0,250	0,468	0,449	0,235	0,105		-9,458	0,802	-9,525	0,068		2,458		2,458	-30,000
36	1,100	0,350	0,468	0,420	0,281	0,118		-9,454	0,900	-9,539	0,085		2,457		2,457	-30,000
44	1,020	0,430	0,468	0,392	0,319	0,125		-9,451	0,952	-9,546	0,095		2,457		2,457	-30,000
44	1,020	0,430	0,190	0,392	0,319	0,125		-9,451	2,345	-10,001	0,550		2,436		2,436	-30,000
46	1,000	0,450	0,190	0,389	0,323	0,125		-9,451	2,355	-10,005	0,554		2,436		2,436	-30,000
56	0,900	0,550	0,190	0,371	0,342	0,127		-9,447	2,381	-10,013	0,566		2,435		2,435	-30,000
	0,574	0,574	0,190	0,367	0,346	0,127		-9,436	2,382	-10,003	0,567		2,436		2,436	-30,000
	0,876	0,876	0,190	0,538	0,236	0,127		-9,446	2,383	-10,013	0,567		2,435		2,435	-30,000
66	0,800	0,800	0,190	0,567	0,222	0,126		-9,444	2,361	-10,001	0,557		2,436		2,436	-30,000
76	0,700	0,700	0,190	0,609	0,203	0,123		-9,440	2,316	-9,978	0,537		2,437		2,437	-30,000
86	0,600	0,600	0,190	0,648	0,184	0,119		-9,437	2,235	-9,939	0,503		2,439		2,439	-30,000
96	0,500	0,500	0,190	0,685	0,165	0,113		-9,433	2,119	-9,887	0,454		2,441		2,441	-30,000
106	0,400	0,400	0,190	0,719	0,146	0,105		-9,430	1,967	-9,823	0,394		2,444		2,444	-30,000
116	0,300	0,300	0,190	0,748	0,127	0,095		-9,426	1,779	-9,751	0,325		2,448		2,448	-30,000
124	0,220	0,220	0,190	0,766	0,112	0,085		-9,423	1,603	-9,689	0,265		2,450		2,450	-30,000
124	0,220	0,220	0,507	0,766	0,112	0,085		-9,423	0,601	-9,461	0,038		2,461		2,461	-30,000
126	0,200	0,200	0,507	0,776	0,101	0,079		-9,422	0,553	-9,455	0,032		2,461		2,461	-30,000
136	0,100	0,100	0,507	0,826	0,051	0,042		-9,419	0,295	-9,428	0,009		2,463		2,463	-30,000
146	0,000	0,000	0,507					-9,415	0,000	-9,415	0,000		2,463		2,463	-30,000



Obr. 83: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi uvedení do provozu MAX

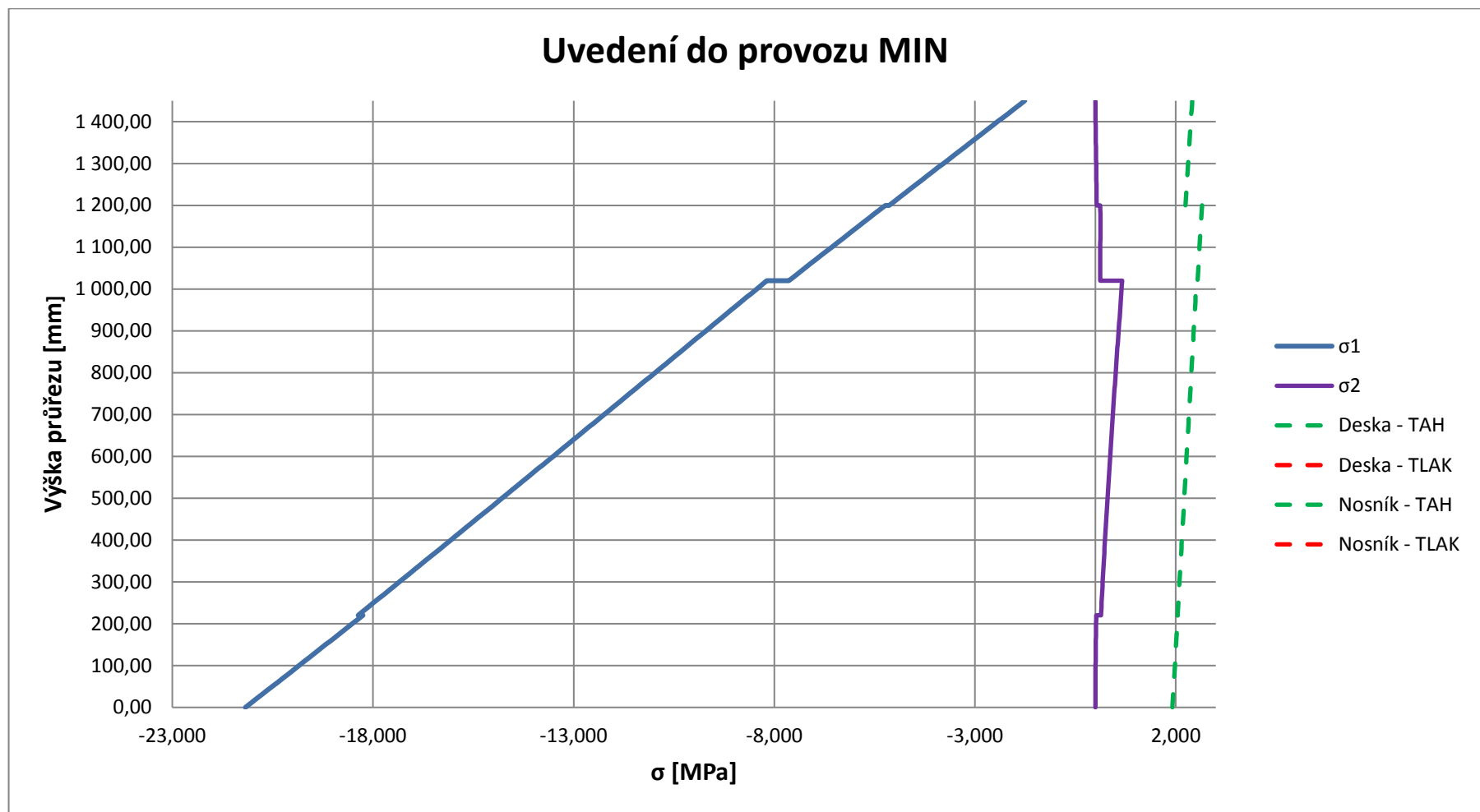


Obr. 84: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi předepnutí uvedení do provozu MAX

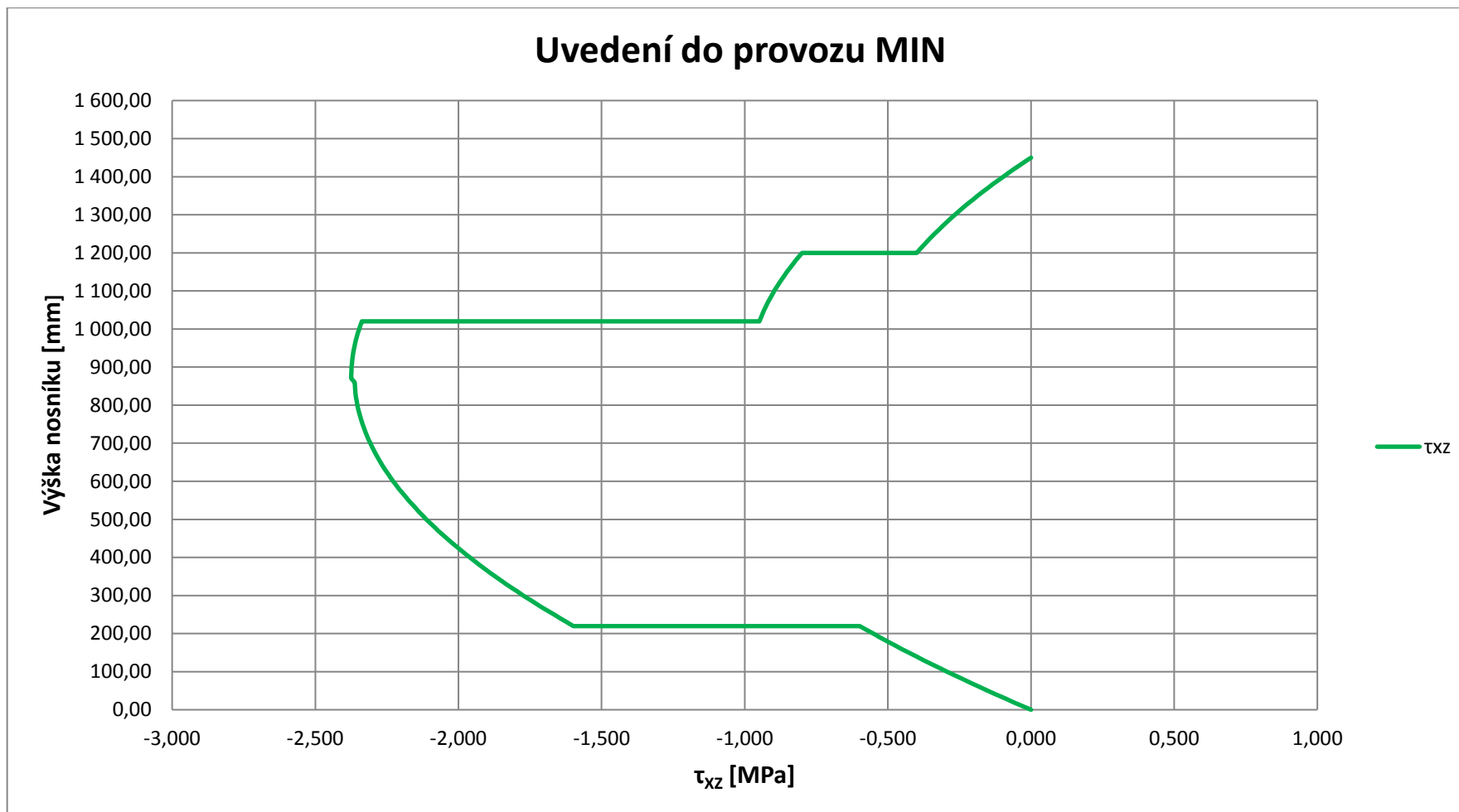
Uvedení do provozu MIN

Tab. 31: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze uvedení do provozu MIN

proužek	h	h _{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		f _{ctb,min}		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,450	0,000	0,938					-1,762	0,000	-1,762	0,000		2,412		2,412	-24,000
6	1,400	0,050	0,938	0,549	0,047	0,026		-2,431	-0,098	-2,435	0,004		2,378		2,378	-24,000
16	1,300	0,150	0,938	0,499	0,141	0,070		-3,770	-0,266	-3,789	0,019		2,311		2,311	-24,000
26	1,200	0,250	0,938	0,449	0,235	0,105		-5,109	-0,399	-5,140	0,031		2,243		2,243	-24,000
26	1,200	0,250	0,468	0,449	0,235	0,105		-5,109	-0,799	-5,231	0,122		2,657		2,657	-30,000
36	1,100	0,350	0,468	0,420	0,281	0,118		-6,448	-0,897	-6,571	0,122		2,595		2,595	-30,000
44	1,020	0,430	0,468	0,392	0,319	0,125		-7,520	-0,949	-7,637	0,118		2,546		2,546	-30,000
44	1,020	0,430	0,190	0,392	0,319	0,125		-7,520	-2,337	-8,187	0,667		2,520		2,520	-30,000
46	1,000	0,450	0,190	0,389	0,323	0,125		-7,787	-2,347	-8,440	0,653		2,508		2,508	-30,000
56	0,900	0,550	0,190	0,371	0,342	0,127		-9,126	-2,373	-9,707	0,580		2,450		2,450	-30,000
	0,574	0,574	0,190	0,367	0,346	0,127		-13,493	-2,374	-13,899	0,406		2,255		2,255	-30,000
	0,876	0,876	0,190	0,538	0,236	0,127		-9,446	-2,375	-10,010	0,563		2,436		2,436	-30,000
66	0,800	0,800	0,190	0,567	0,222	0,126		-10,465	-2,353	-10,970	0,505		2,391		2,391	-30,000
76	0,700	0,700	0,190	0,609	0,203	0,123		-11,805	-2,308	-12,240	0,435		2,332		2,332	-30,000
86	0,600	0,600	0,190	0,648	0,184	0,119		-13,144	-2,228	-13,511	0,367		2,273		2,273	-30,000
96	0,500	0,500	0,190	0,685	0,165	0,113		-14,483	-2,112	-14,784	0,302		2,214		2,214	-30,000
106	0,400	0,400	0,190	0,719	0,146	0,105		-15,822	-1,960	-16,061	0,239		2,155		2,155	-30,000
116	0,300	0,300	0,190	0,748	0,127	0,095		-17,161	-1,773	-17,342	0,181		2,095		2,095	-30,000
124	0,220	0,220	0,190	0,766	0,112	0,085		-18,232	-1,598	-18,371	0,139		2,048		2,048	-30,000
124	0,220	0,220	0,507	0,766	0,112	0,085		-18,232	-0,599	-18,252	0,020		2,053		2,053	-30,000
126	0,200	0,200	0,507	0,776	0,101	0,079		-18,500	-0,552	-18,516	0,016		2,041		2,041	-30,000
136	0,100	0,100	0,507	0,826	0,051	0,042		-19,839	-0,294	-19,843	0,004		1,979		1,979	-30,000
146	0,000	0,000	0,507					-21,178	0,000	-21,178	0,000		1,917		1,917	-30,000



Obr. 85: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi uvedení do provozu MIN

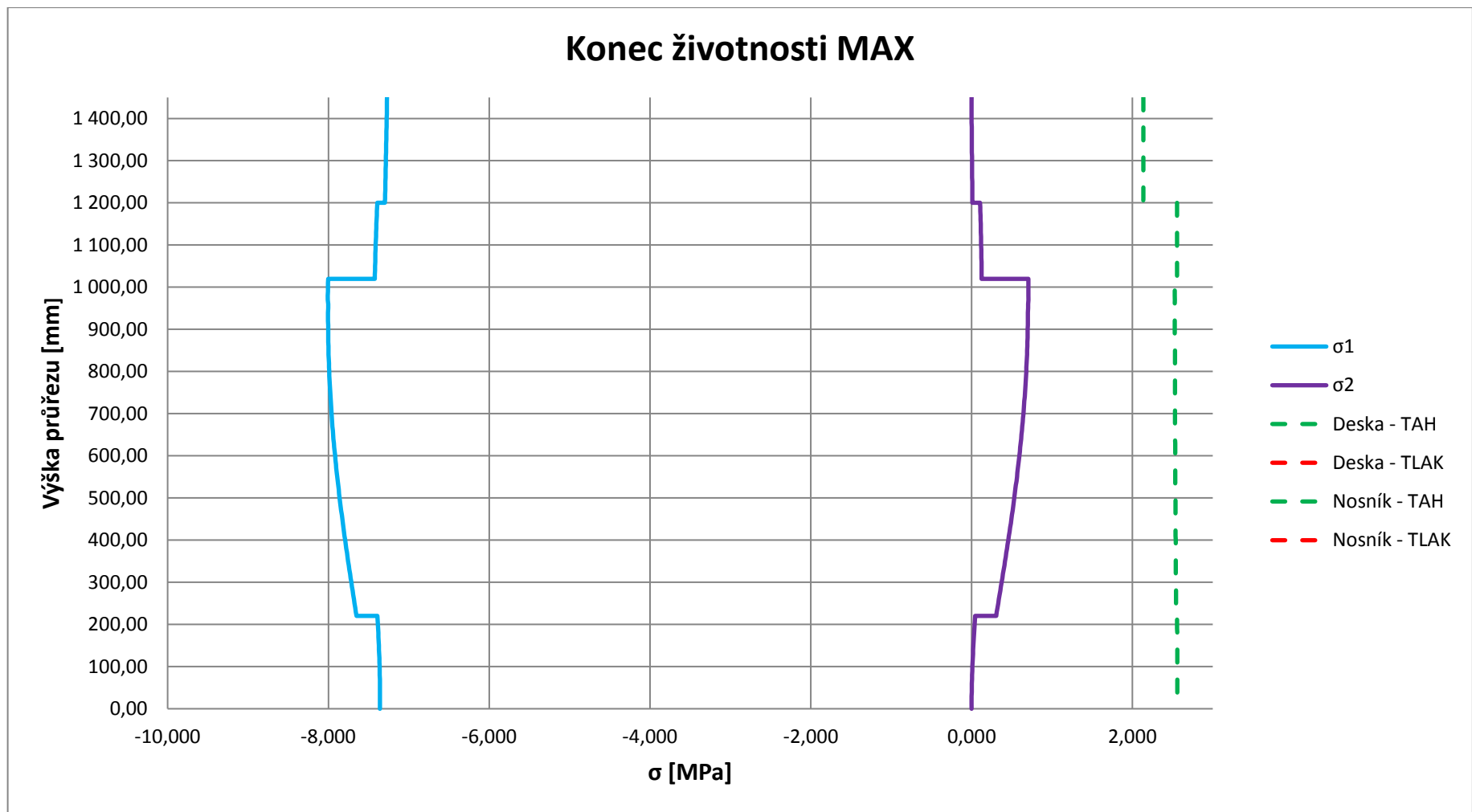


Obr. 86: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi uvedení do provozu MIN

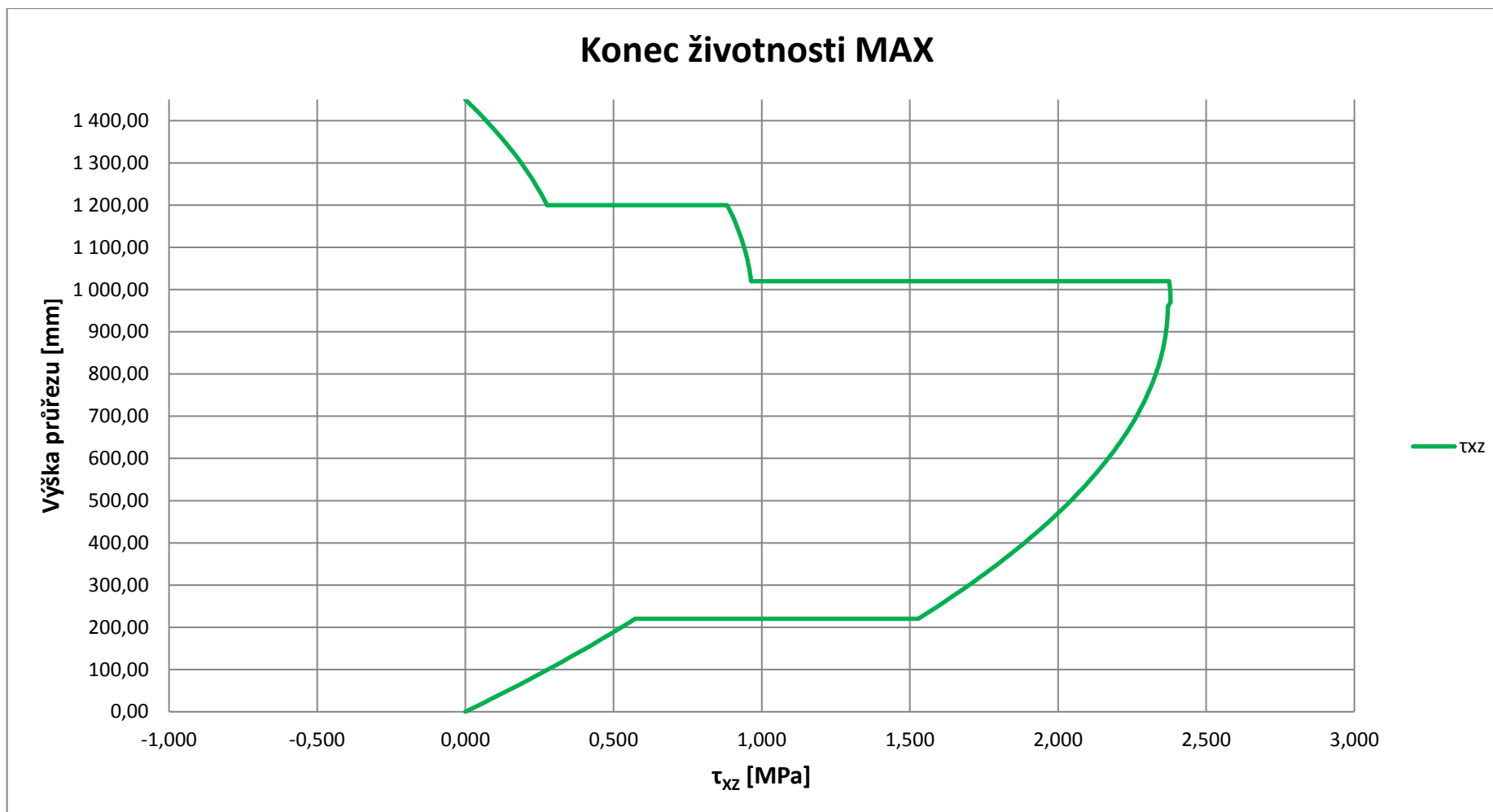
Konec životnosti MAX

Tab. 32: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze konec životnosti MAX

proužek	h	h _{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		f _{ctb,min}		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,450	0,000	1,500					-7,271	0,000	-7,271	0,000		2,136		2,136	-24,000
6	1,400	0,050	1,500	0,462	0,075	0,035		-7,274	0,070	-7,275	0,001		2,136		2,136	-24,000
16	1,300	0,150	1,500	0,412	0,225	0,093		-7,281	0,188	-7,285	0,005		2,136		2,136	-24,000
26	1,200	0,250	1,500	0,362	0,375	0,136		-7,287	0,276	-7,297	0,010		2,135		2,135	-24,000
26	1,200	0,250	0,468	0,362	0,375	0,136		-7,287	0,884	-7,392	0,106		2,557		2,557	-30,000
36	1,100	0,350	0,468	0,342	0,422	0,144		-7,293	0,941	-7,412	0,119		2,556		2,556	-30,000
44	1,020	0,430	0,468	0,322	0,459	0,148		-7,298	0,964	-7,423	0,125		2,556		2,556	-30,000
44	1,020	0,430	0,190	0,322	0,459	0,148		-7,298	2,375	-8,003	0,705		2,529		2,529	-30,000
46	1,000	0,450	0,190	0,320	0,463	0,148		-7,299	2,378	-8,005	0,706		2,529		2,529	-30,000
	0,487	0,487	0,190	0,315	0,470	0,148		-7,330	2,380	-8,035	0,705		2,527		2,527	-30,000
	0,963	0,963	0,190	0,584	0,253	0,148		-7,301	2,371	-8,003	0,702		2,529		2,529	-30,000
56	0,900	0,900	0,190	0,612	0,241	0,147		-7,305	2,365	-8,003	0,699		2,529		2,529	-30,000
66	0,800	0,800	0,190	0,655	0,222	0,145		-7,311	2,330	-7,990	0,679		2,529		2,529	-30,000
76	0,700	0,700	0,190	0,696	0,203	0,141		-7,317	2,265	-7,961	0,644		2,531		2,531	-30,000
86	0,600	0,600	0,190	0,735	0,184	0,135		-7,323	2,169	-7,917	0,594		2,533		2,533	-30,000
96	0,500	0,500	0,190	0,773	0,165	0,127		-7,329	2,043	-7,860	0,531		2,535		2,535	-30,000
106	0,400	0,400	0,190	0,806	0,146	0,118		-7,335	1,887	-7,792	0,457		2,538		2,538	-30,000
116	0,300	0,300	0,190	0,835	0,127	0,106		-7,341	1,700	-7,716	0,374		2,542		2,542	-30,000
124	0,220	0,220	0,190	0,853	0,112	0,095		-7,346	1,528	-7,651	0,305		2,545		2,545	-30,000
124	0,220	0,220	0,507	0,853	0,112	0,095		-7,346	0,573	-7,390	0,044		2,557		2,557	-30,000
126	0,200	0,200	0,507	0,863	0,101	0,088		-7,347	0,527	-7,385	0,038		2,557		2,557	-30,000
136	0,100	0,100	0,507	0,913	0,051	0,046		-7,353	0,279	-7,364	0,011		2,558		2,558	-30,000
146	0,000	0,000	0,507					-7,359	0,000	-7,359	0,000		2,559		2,559	-30,000



Obr. 87: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi konec životnosti MAX

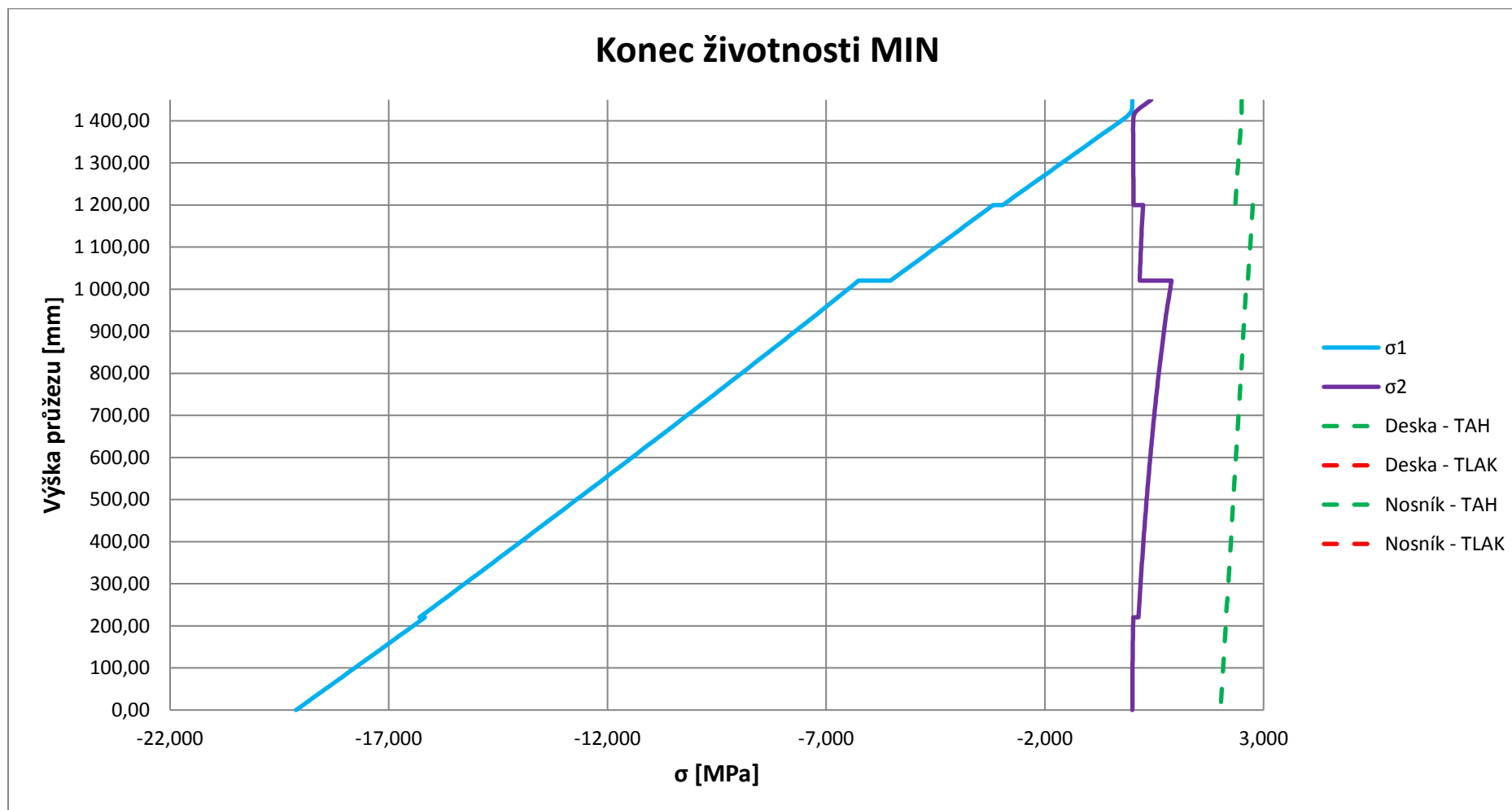


Obr. 88: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi konec životnosti MAX

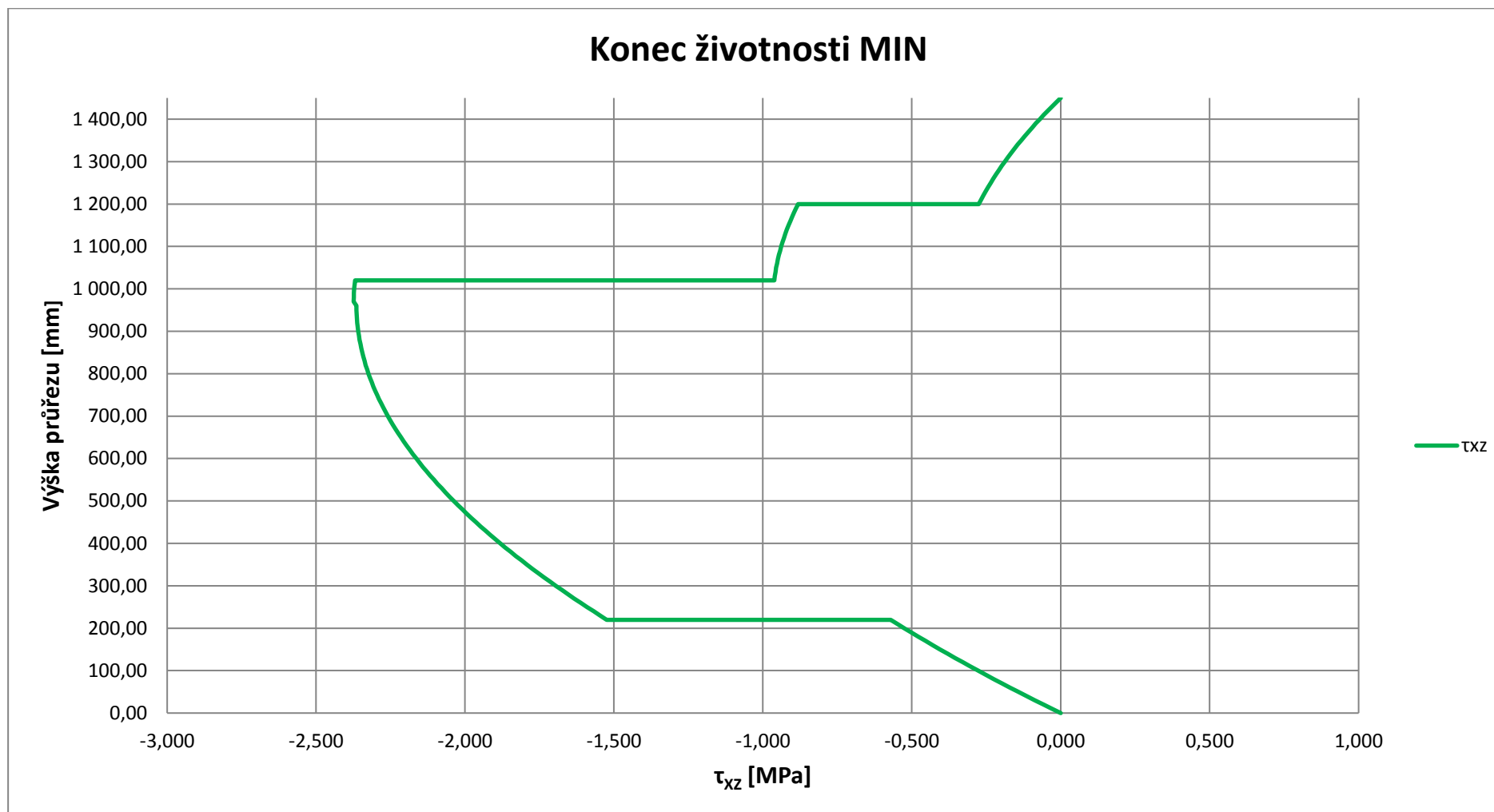
Konec životnosti MIN

Tab. 33: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze konec životnosti MIN

proužek	h	h _{pomocné}	b	r	A	S		σ_x	τ_{xz}	σ_1	σ_2		f _{ctb,min}		TAH	TLAK
	m	m	m	m	m ²	m ³		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa		MPa	MPa
1	1,450	0,000	1,500					0,434	0,000	0,000	0,434		2,500		2,500	-24,000
6	1,400	0,050	1,500	0,462	0,075	0,035		-0,241	-0,070	-0,260	0,019		2,487		2,487	-24,000
16	1,300	0,150	1,500	0,412	0,225	0,093		-1,589	-0,188	-1,611	0,022		2,419		2,419	-24,000
26	1,200	0,250	1,500	0,362	0,375	0,136		-2,938	-0,275	-2,964	0,026		2,352		2,352	-24,000
26	1,200	0,250	0,468	0,362	0,375	0,136		-2,938	-0,882	-3,182	0,244		2,752		2,752	-30,000
36	1,100	0,350	0,468	0,342	0,422	0,144		-4,287	-0,938	-4,483	0,196		2,692		2,692	-30,000
44	1,020	0,430	0,468	0,322	0,459	0,148		-5,366	-0,962	-5,533	0,167		2,643		2,643	-30,000
44	1,020	0,430	0,190	0,322	0,459	0,148		-5,366	-2,369	-6,262	0,896		2,609		2,609	-30,000
46	1,000	0,450	0,190	0,320	0,463	0,148		-5,635	-2,372	-6,501	0,866		2,598		2,598	-30,000
	0,487	0,487	0,190	0,315	0,470	0,148		-12,559	-2,374	-12,993	0,434		2,297		2,297	-30,000
	0,963	0,963	0,190	0,584	0,253	0,148		-6,129	-2,365	-6,936	0,806		2,578		2,578	-30,000
56	0,900	0,900	0,190	0,612	0,241	0,147		-6,984	-2,358	-7,706	0,722		2,542		2,542	-30,000
66	0,800	0,800	0,190	0,655	0,222	0,145		-8,333	-2,324	-8,937	0,604		2,485		2,485	-30,000
76	0,700	0,700	0,190	0,696	0,203	0,141		-9,681	-2,259	-10,183	0,501		2,428		2,428	-30,000
86	0,600	0,600	0,190	0,735	0,184	0,135		-11,030	-2,164	-11,439	0,409		2,369		2,369	-30,000
96	0,500	0,500	0,190	0,773	0,165	0,127		-12,379	-2,038	-12,706	0,327		2,310		2,310	-30,000
106	0,400	0,400	0,190	0,806	0,146	0,118		-13,727	-1,882	-13,981	0,253		2,251		2,251	-30,000
116	0,300	0,300	0,190	0,835	0,127	0,106		-15,076	-1,695	-15,264	0,188		2,192		2,192	-30,000
124	0,220	0,220	0,190	0,853	0,112	0,095		-16,155	-1,524	-16,297	0,143		2,144		2,144	-30,000
124	0,220	0,220	0,507	0,853	0,112	0,095		-16,155	-0,571	-16,175	0,020		2,149		2,149	-30,000
126	0,200	0,200	0,507	0,863	0,101	0,088		-16,425	-0,525	-16,441	0,017		2,137		2,137	-30,000
136	0,100	0,100	0,507	0,913	0,051	0,046		-17,773	-0,278	-17,778	0,004		2,075		2,075	-30,000
146	0,000	0,000	0,507					-19,122	0,000	-19,122	0,000		2,013		2,013	-30,000



Obr. 89: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi konec životnosti MIN



Obr. 90: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi konec životnosti MIN

7.6 Koncový příčník

7.6.1 Výpočtový model 3D

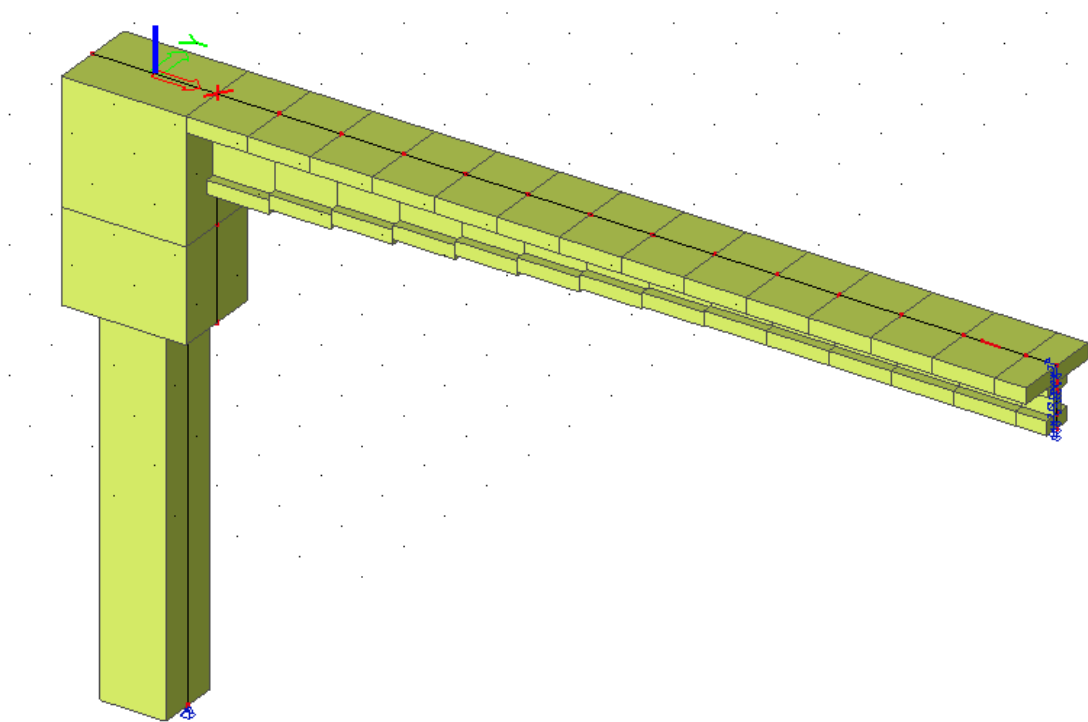
Pro návrh a posouzení příčníku na MSP byly použity 2 modely. Oba to byly 3D modely, přičemž první model byl deskostěnový a druhý model byl pouze stěnový. Oba modely byly objemově shodné sami navzájem i společně s 2D modelem konstrukce, na kterém byly vyšetřovány vnitřní síly na spráženém průřezu.

Oba modely zachycovaly výřez konstrukce jednoho nosníku s odpovídající šířkou sprážené desky. Byl vymodelován koncový příčník vč. spodní stavby společně s polovinou pole nosné konstrukce. 3D model byl podepřen v polovině rozpětí liniovým posuvným vetknutím umožňující průhyb pouze ve směru osy Z, aby bylo možné porovnávat průhyby v polovině rozpětí s 2D modelem konstrukce.

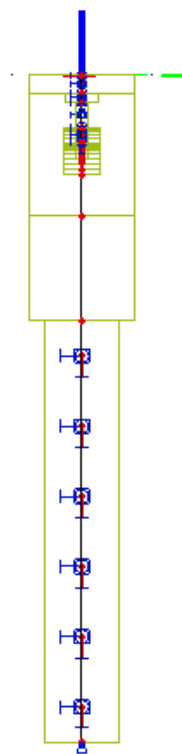
Jako vhodnější se ukázal model pouze stěnový, který dával bližší hodnoty průhybu v polovině rozpětí než model deskostěnový. Ten byl přesnější, jednalo-li se o zatížení vlastní tíhou konstrukce, ovšem při zatížení proměnným zatížením dopravou a teplotou dával značně nepřesnější výsledky.

Jak již bylo řečeno, stěnový model je objemově shodný s 2D modelem konstrukce, na kterém byly vyšetřovány vnitřní síly a prováděna TDA časově závislá analýza. Nosník, sprážená deska i koncový příčník jsou modelovány jako stěny šířky odpovídající skutečné šířce průřezu v daném místě. Jako stěna je modelováno i založení nosné konstrukce v podobě piloty. Pilota je místo kruhového průřezu nahrazena průřezem čtvercovým shodné plochy jako průřez kruhový.

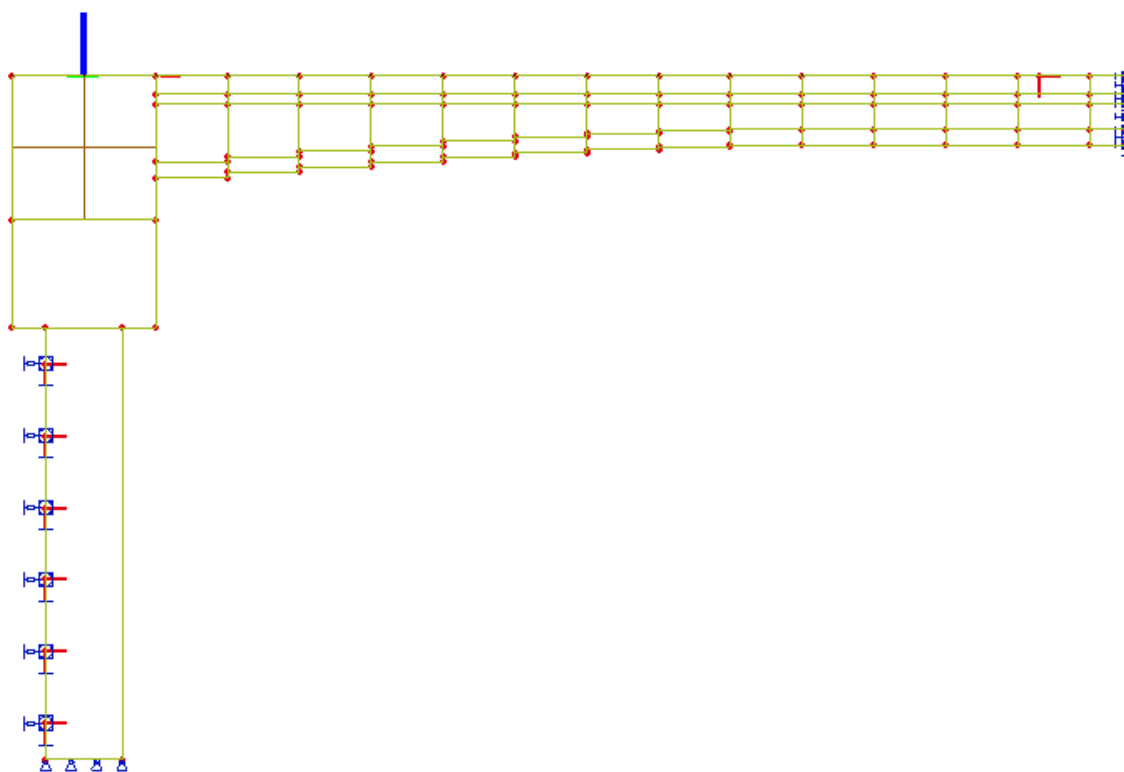
Podepření modelu je realizováno liniovým posuvným vetknutím umožňující průhyb pouze ve směru osy Z uprostřed rozpětí a liniovým vetknutím v patě piloty. Pilota je též podepřena pružnými podporami stejné tuhosti jako 2D model konstrukce.



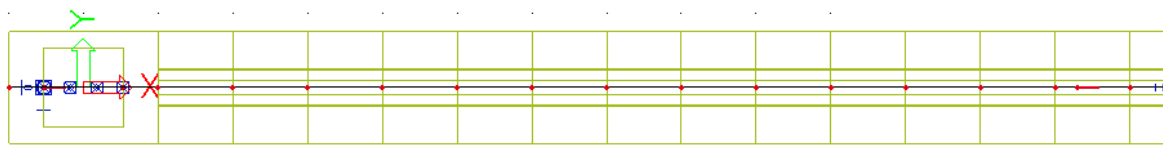
Obr. 91: 3D model příčnicku - pohled AXO



Obr. 92: 3D model příčnicku – pohled v ose X



Obr. 93: 3D model příčnicku – pohled v ose Y

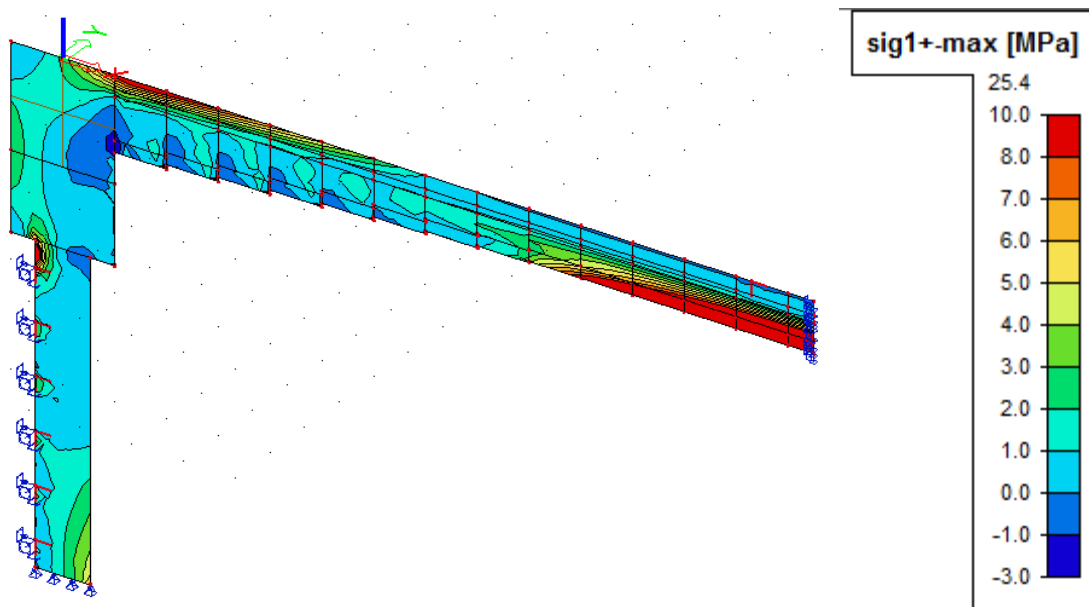


Obr. 94: 3D model příčnicku – pohled v ose Z

7.6.2 Zatížení a kombinace zatížení

Zvolený 3D model příčnicku byl zatížen shodným zatížením jako model 2D popsany výše tj. vlastní tíhou nosníků a spřažené desky, ostatním stálým zatížením a zatížením proměnným ve formě dopravního zatížení a zatížení teplotou. Příčník je v MSP posuzován na charakteristickou kombinaci zatížení. Z této kombinace zatížení byla stanovena výsledná napětí na koncovém příčnicku, na která byla následně navržena výztuž.

7.6.3 Výsledky ze 3D modelu



Obr. 95: Průběh napětí na příčnicku

Pro návrh výztuže byly zkonstruovány dva řezy koncovým příčnickem. První řez je svislý, ze kterého je navržena tahová výztuž v horní části příčnicku. Druhý řez je vodorovný, ze kterého je navržena svislá výztuž příčnicku.

7.6.4 Návrh výztuže příčnicku

Návrh a posouzení výztuže na MSP omezení šířky trhlin v betonu byl proveden v souladu s ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Tab. 34: Max. vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin – převzato z normy ČSN EN 1992-1-1

Napětí ve výztuži ⁽²⁾ [MPa]	Maximální vzdálenost prutů [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-
Poznámky jsou vysvětleny v tabulce 7.2N			

Výpočet potřebné plochy výztuže

Návrh výztuže je proveden pro max. hodnotu napětí ve výztuži v hodnotě 280,0 MPa.

Tab. 35: Hodnoty potřebných ploch výztuže na příčnicku

	Vodorovný ŘEZ	Svislý ŘEZ	
Délka tažené oblasti	2 000,0	2 000,0	mm
Délka zatěžovací šířky	1 500,0	1 500,0	mm
Tažená plocha	1 500 000,00	1 500 000,00	mm ²
Tahové napětí v krajních vláknech	1,50	1,80	MPa
Integrace napětí	2 250 000,0	2 700 000,0	N
Max. napětí ve výztuži	280,00	280,00	MPa
Min. plocha výztuže na šířku prvku	8 035,71	9 642,86	mm ²

Návrh výztuže

Tab. 36: Hodnoty navržených ploch výztuže na příčnicku

	Vodorovný ŘEZ	Svislý ŘEZ	
∅	28	32	mm
rastr á	100,00	100,00	mm
ks na metr	10	10	ks
A ₁	615,75	804,25	mm ²
A _{CELKEM}	6 157,52	8 042,48	mm ²
Skutečné napětí ve výztuži	243,60	223,81	MPa

7.7 Pilota

7.7.1 Zatížení a kombinace zatížení

Zatížení a z nich stanovené vnitřní síly jsou převzaté ze 2D modelu konstrukce. Pilota byla v MSP posuzována na kvazi-stálou kombinace zatížení a na charakteristickou kombinaci zatížení dle ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

CHARAKTERISTICKÁ

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

KVAZI-STÁLÁ

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

7.7.2 Kombinační součinitele

Tab. 37: Hodnoty kombinačních součinitelů pro mosty pozemních komunikací

Zatížení		ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\psi_{1,infq}$
g _{r1a}	TS	0,75	0,75	0,00	0,80
	UDL	0,40	0,40	0,00	0,80
	CH	0,40	0,40	0,00	0,80
teplota T _k		0,60	0,60	0,50	0,80
staveništní Q _c		1,00	-	1,00	1,00

Tab. 38: Hodnoty součinitelů spolehlivosti

Stálé	$\gamma_{G,sup}$	1,35
	$\gamma_{G,inf}$	1,00
Proměnné	γ_Q	1,35
Ostatní proměnné	γ_Q	1,50
Nerovnoměrné poklesy	$\gamma_{G,set}$	1,20
Redukční součinitel	ξ_0	0,85

Tab. 39: Hodnoty ohybových momentů a normálových sil v hlavě piloty od stálého zatížení a pro charakteristickou kombinaci zatížení

	Kvazi-stálá kombinace		Charakteristická kombinace	
	M _y [kNm]	N [kN]	M _y [kNm]	N [kN]
Hl. zatížení - Doprava	1 069 368 326,55	322 144,36	2 306 482 004,03	825 827,39
Hl. zatížení - Teplota			1 846 684 941,73	609 818,39
MAX	1 069 368 326,55	322 144,36	2 306 482 004,03	825 827,39

7.7.3 Posouzení piloty

Posouzení piloty je provedeno v programu IDEA Statica 7 – modul RCS. Vzhledem k tuhému připojení piloty a opěry bude nejvíce zatíženým místem hlava piloty resp. styčná spára mezi pilotou a opěrou.

Rozměry průřezu

Průměr piloty $\varnothing = 1\,100,0\text{ mm}$

Beton piloty

Charakteristická pevnost $f_{ck} = 35,0\text{ MPa}$

Ohybová výztuž

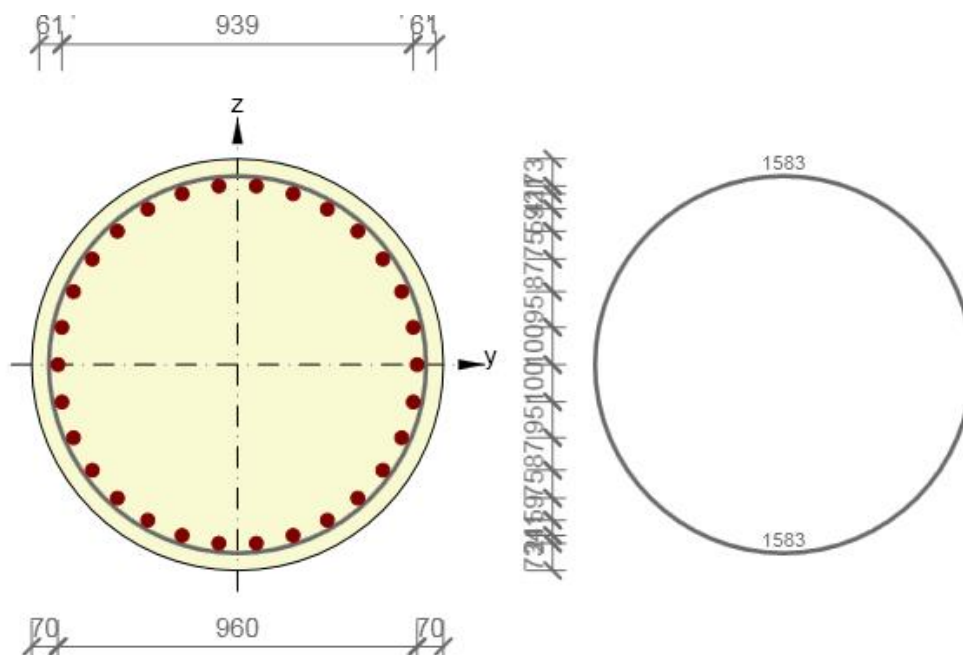
Krytí výztuže $c = 40,0\text{ mm}$

Profil výztuže $\varnothing = 36,0\text{ mm}$

Plocha jednoho profilu $A_1 = 1\,017,88\text{ mm}^2$

Počet profilů výztuže $n = 30\text{ ks}$

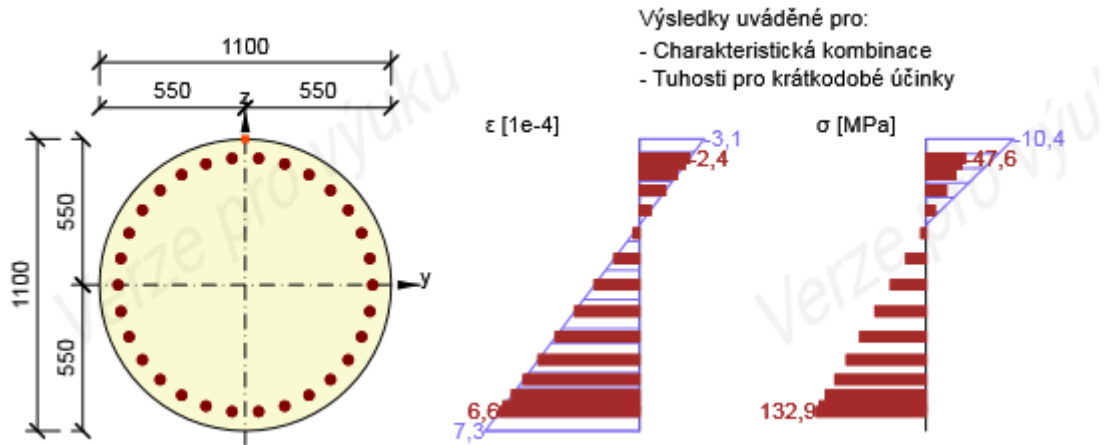
Celková plocha výztuže $A = 30\,536,28\text{ mm}^2$



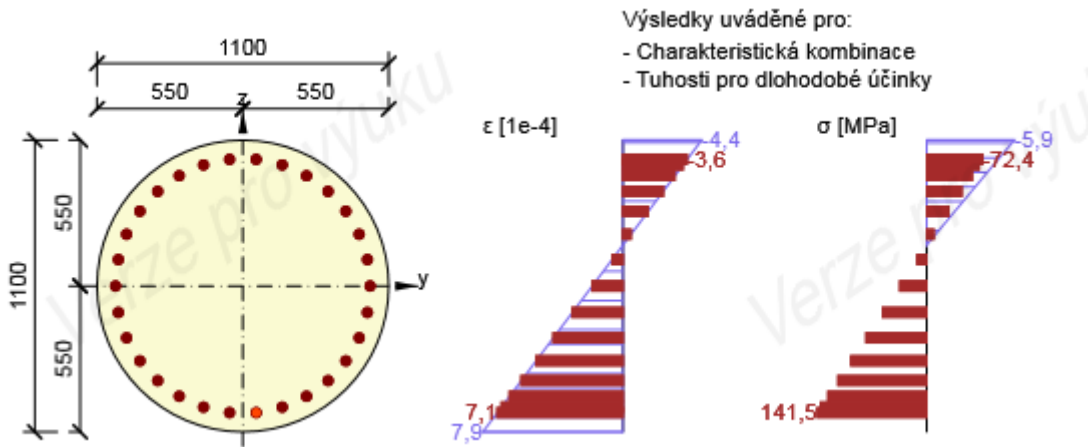
Obr. 96: Geometrie průřezu piloty vč. polohy výztužných prutů v průřezu

Výsledná napětí v betonu a ve výztuži vč. posouzení MSP omezení napětí z programu IDEA
 Statica 7:

Napětí od kvazi-stálé kombinace zatížení:

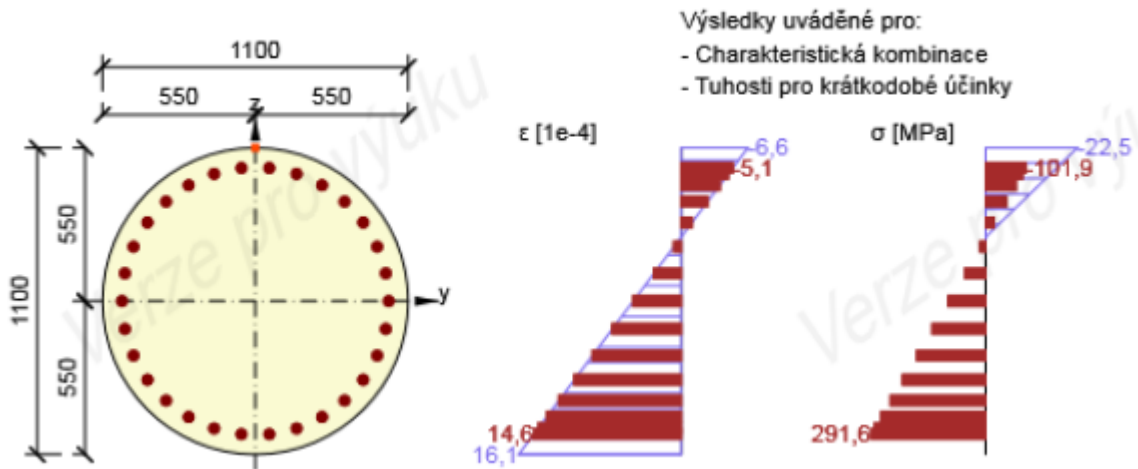


Obr. 97: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro krátkodobé účinky

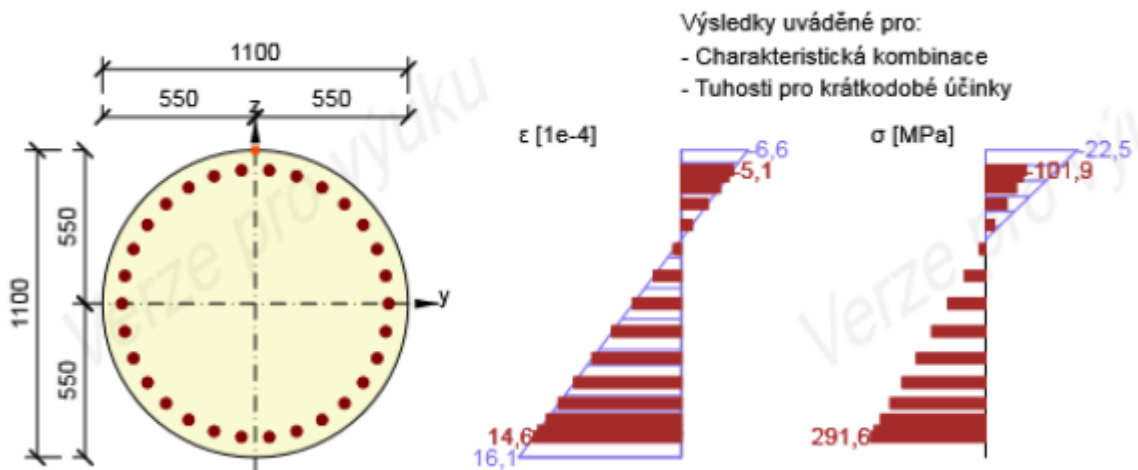


Obr. 98: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro dlouhodobé účinky

Napětí od charakteristické kombinace zatížení:



Obr. 99: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro krátkodobé účinky



Obr. 100: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro dlouhodobé účinky

Posouzení piloty v MSP bylo provedeno na mezní stav omezení napětí dle ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Podmínka omezení tlakového napětí v MSP v nejvíce tlačných vláknech od kvazi-stálé kombinace zatížení je posouzena dle vztahu:

$$\sigma_{c,max} \leq 0,45 * f_{ck}$$

$$10,4 \leq 0,45 * 35,0$$

$$\mathbf{10,4 \leq 15,8 \rightarrow vyhovuje}$$

Podmínka omezení tlakového napětí v MSP v nejvíce tlačných vláknech od charakteristické kombinace zatížení je posouzena dle vztahu:

$$\sigma_{c,max} \leq 0,6 * f_{ck}$$

$$22,5 \leq 0,6 * 35,0$$

$$\mathbf{22,5 \leq 21,0 \rightarrow nevyhovuje}$$

Jelikož MSP omezení napětí piloty pro krátkodobé účinky nevyhovuje, je potřeba navrhnout přídatná opatření. Těmito opatřeními jsou zvětšení krycí vrstvy výztuže v tlačné oblasti a její ovinutí příčnou výztuží. Kritický průřez není na styku se vzduchem, nachází se pod opěrou a je ze všech stran zasypán zeminou, není tudíž vystaven nepříznivým vlivům prostředí XD, XF a XS

Podmínka omezení tahového napětí ve výztuži v MSP od charakteristické kombinace zatížení je posouzena dle vztahu:

$$\sigma_{c,max} \leq 0,8 * f_{yk}$$

$$291,6 \leq 0,8 * 500,0$$

$$\mathbf{291,6 \leq 400,0 \rightarrow vyhovuje}$$

8 MSÚ

Mezní stav únosnosti bude posuzován ve dvou časových etapách výstavby a to v uvedení do provozu a na konci životnosti. V těchto etapách je konstrukce vystavena extrémním účinkům zatížení, přičemž vlivem krátkodobých i dlouhodobých ztrát ubývá v konstrukci předpětí.

8.1 Kombinace zatížení MSÚ

Pro posouzení MSÚ v jednotlivých časových etapách byly stanoveny kombinace zatížení 6.10a a 6.10b dle přílohy A2 ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_i * \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

8.1.1 Kombinační součinitele MSÚ

Tab. 40: Hodnoty součinitelů zatížení γ a redukčního součinitele ξ

Předpětí	γ_P	1,00	[-]
Stálá zatížení	$\gamma_{P,SUP}$	1,35	[-]
	$\gamma_{P,INF}$	1,00	[-]
Doprava - LM 1	$\gamma_{Q,SUP}$	1,35	[-]
	$\gamma_{Q,INF}$	0,00	[-]
Ostatní proměnná	$\gamma_{Q,SUP}$	1,50	[-]
	$\gamma_{Q,INF}$	0,00	[-]
Redukční pro stálé zatížení	ξ	0,85	[-]

Tab. 41: Hodnoty kombinačních součinitelů pro mosty pozemních komunikací

Zatížení		ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\psi_{1,infq}$
g _{r1a}	TS	0,75	0,75	0,00	0,80
	UDL	0,40	0,40	0,00	0,80
	CH	0,40	0,40	0,00	0,80
teplota T _k		0,60	0,60	0,50	0,80
staveništní Q _c		1,00	-	1,00	1,00

8.1.2 Kombinace zatížení 6.10a a 6.10b

8.1.2.1 Ohybové momenty

Tab. 42: Hodnoty max. kladných hodnot ohybových momentů při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b

x [m]	M _y [kNm]														
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
6.10a MAX _{DOPRAVA}	-1 566,30	-1 122,44	-707,17	-325,71	22,64	338,56	623,24	877,61	1 100,81	1 292,48	1 448,76	1 568,10	1 649,08	1 690,60	1 695,57
6.10a MAX _{TEPLOTA}	-1 566,30	-1 122,44	-707,17	-325,71	22,64	338,56	623,24	877,61	1 100,81	1 292,48	1 448,76	1 568,10	1 649,08	1 690,60	1 695,57
6.10b MAX _{DOPRAVA}	-1 274,97	-861,74	-468,56	-103,69	233,20	542,55	825,33	1 082,03	1 311,15	1 511,14	1 676,95	1 805,50	1 894,38	1 941,58	1 947,27
6.10b MAX _{TEPLOTA}	-1 127,44	-739,72	-375,76	-41,14	264,76	542,55	793,26	1 017,64	1 214,93	1 384,66	1 523,41	1 629,61	1 701,83	1 738,97	1 743,40
Extrém	-1 127,44	-739,72	-375,76	-41,14	264,76	542,55	825,33	1 082,03	1 311,15	1 511,14	1 676,95	1 805,50	1 894,38	1 941,58	1 947,27

Tab. 43: Hodnoty max. záporných hodnot ohybových momentů při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b

x [m]	M _y [kNm]														
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
6.10a MIN _{DOPRAVA}	-3 169,73	-2 612,67	-2 102,69	-1 637,75	-1 217,47	-841,68	-509,48	-219,20	29,32	237,39	403,00	527,58	610,10	646,00	649,61
6.10a MIN _{TEPLOTA}	-3 169,73	-2 612,67	-2 102,69	-1 637,75	-1 217,47	-841,68	-509,48	-219,20	29,32	237,39	403,00	527,58	610,10	646,00	649,61
6.10b MIN _{DOPRAVA}	-3 719,23	-3 082,64	-2 501,93	-1 974,78	-1 500,69	-1 079,48	-710,21	-390,95	-120,73	102,69	278,58	409,66	495,08	529,28	532,36
6.10b MIN _{TEPLOTA}	-2 979,00	-2 479,04	-2 021,32	-1 604,05	-1 226,93	-889,89	-592,23	-332,19	-109,69	76,44	224,52	335,96	409,72	441,24	444,31
Extrém	-3 719,23	-3 082,64	-2 501,93	-1 974,78	-1 500,69	-1 079,48	-710,21	-390,95	-120,73	76,44	224,52	335,96	409,72	441,24	444,31

Pozn. Kombinace zatížení 6.10a a 6.10b byly vyšetřovány jak v případě, že dominantním zatížením bude zatížení dopravnou, tak i v případě, že to bude zatížení teplotou. Byla vybrána nejnejpříznivější kombinace z těchto možností

8.1.2.2 Posouvající síly

Tab. 44: Hodnoty max. kladných hodnot posouvajících sil při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b

x [m]	V_z [kN]														
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
6.10a MAX _{DOPRAVA}	684,77	641,06	597,85	555,14	512,85	470,84	429,12	387,53	345,98	304,14	262,57	221,03	179,58	138,31	117,74
6.10a MAX _{TEPLOTA}	684,77	641,06	597,85	555,14	512,85	470,84	429,12	387,53	345,98	304,14	262,57	221,03	179,58	138,31	117,74
6.10b MAX _{DOPRAVA}	801,78	753,26	705,27	657,80	610,78	564,09	517,74	471,61	425,67	379,66	334,11	288,85	244,00	199,63	177,66
6.10b MAX _{TEPLOTA}	623,54	584,76	546,39	508,41	470,77	433,34	396,11	358,96	321,82	284,42	247,23	210,07	173,02	136,12	117,76
Extrém	801,78	753,26	705,27	657,80	610,78	564,09	517,74	471,61	425,67	379,66	334,11	288,85	244,00	199,63	177,66

Tab. 45: Hodnoty max. záporných hodnot posouvajících sil při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b

x [m]	V _z [kN]														
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
6.10a MIN _{DOPRAVA}	405,58	367,72	329,62	291,75	254,03	216,30	178,51	140,49	102,10	62,94	23,54	-16,37	-56,71	-97,44	-117,93
6.10a MIN _{TEPLOTA}	405,58	367,72	329,62	291,75	254,03	216,30	178,51	140,49	102,10	62,94	23,54	-16,37	-56,71	-97,44	-117,93
6.10b MIN _{DOPRAVA}	343,38	308,56	272,95	237,15	201,06	164,52	127,46	89,70	51,10	11,32	-29,19	-70,64	-112,94	-156,01	-177,82
6.10b MIN _{TEPLOTA}	344,34	311,42	278,15	245,02	211,95	178,79	145,50	111,92	77,94	43,21	8,20	-27,32	-63,28	-99,62	-117,92
Extrém	343,38	308,56	272,95	237,15	201,06	164,52	127,46	89,70	51,10	11,32	-29,19	-70,64	-112,94	-156,01	-177,82

Pozn. Kombinace zatížení 6.10a a 6.10b byly vyšetřovány jak v případě, že dominantním zatížením bude zatížení dopravnou, tak i v případě, že to bude zatížení teplotou. Byla vybrána nejnepříznivější kombinace z těchto možností

8.2 Ohyb

Moment únosnosti se stanoví podle teorie mezních přetvoření. Výpočet momentu únosnosti se provede následujícím postupem.

Jako počáteční stav průřezu se uvažuje stav získaný výpočtem v MSP, kdy je konstrukce zatížena stálým zatížením a předpětím. K těmto počátečním hodnotám přetvoření se poté přidává další přetvoření, dokud nedojdeme na mez únosnosti. Zjišťujeme tedy takový ΔM_{Rd} , který konstrukce ještě přenesení před dosažením meze únosnosti některého z použitých materiálů při uvažování návrhových pracovních diagramů jednotlivých materiálů dle ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby a ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady.

Z počátečního stavu se stanoví průběh přetvoření betonu průřezu v posuzovaných časových etapách tj. od zatížení stálého a předpětí. Dále se na základě časově závislé analýzy stanoví napětí v předpínacích kabelech od zatížení stálého a předpětí v posuzovaných etapách výstavby. Z tohoto napětí se určí počáteční přetvoření předpínací výztuže $\epsilon_{p,t}$. Z průběhu napětí resp. přetvoření v jednotlivých materiálech se stanoví odpovídající síly. Ze silové podmínky rovnováhy se poté určí poloha neutrálné osy průřezu pro kterou se stanoví moment únosnosti ΔM_{Rd} .

Výsledný moment únosnosti se poté stanoví jako součet ΔM_{Rd} , momentu od vlastní tíhy a momentu od předpětí.

$$M_{Rd} = \Delta M_{Rd} + M_G + M_P$$

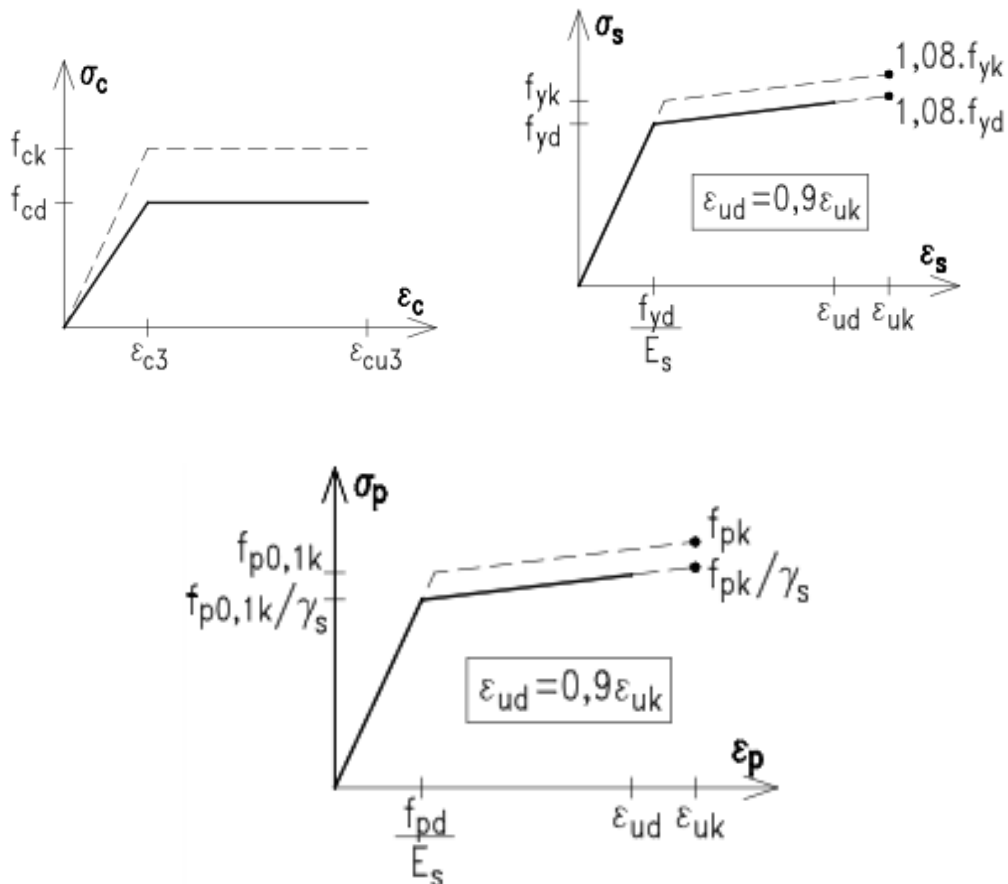
Takto získány moment únosnosti poté porovnáváme s návrhovým momentem M_{Ed} získaným z kombinací zatížení 6.10a a 6.10b

8.2.1 Návrhové pracovní diagramy

Tab. 46: Charakteristiky použitých materiálů

Beton (bilineární rozdělení napětí)		
Pevnostní třída	C 40/50	C 50/60
ϵ_{c3} [‰]	1,75	1,75
ϵ_{cu3} [‰]	3,50	3,50
f_{ck} [MPa]	40,00	50,00

Betonářská a předpínací výztuž		
Druh výztuže	B500B	Y1860 - 0,6"S
f_{yk}/f_{pk} [MPa]	500,00	1 860,00
ϵ_{uk} [‰]	50,00	22,22
E_s [GPa]	200,00	195,00



Obr. 101: Pracovní diagram betonu v tlaku, betonářské výztuže B500B v tahu a předpínací výztuže v tahu

8.2.2 Posouzení MSÚ

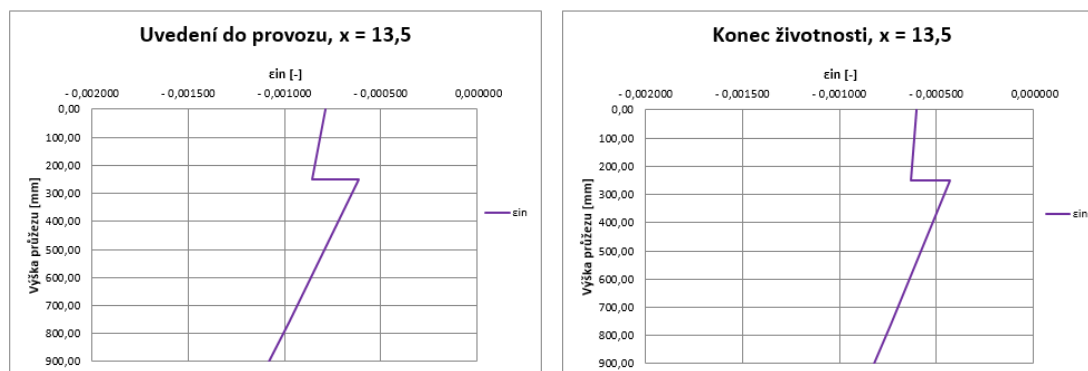
Při posouzení MSÚ bylo vycházeno z předpokladu, že rozhoduje předpínací výztuž (průřez se poruší přetržením předpínací výztuže). V případě, že při tomto předpokladu nedocházelo k porušení betonu v tlaku v krajních vláknech průřezu (max. přetvoření v krajních vláknech bylo připuštěno hodnotou ϵ_{cu3}), rozhodujícím prvkem průřezu byla skutečně předpínací výztuž. V případě, že ale v tomto stavu docházelo k překročení max. přípustného přetvoření v krajních vláknech průřezu, bylo potřeba přetvoření v místě předpínací výztuže snížit tak, abychom se v krajních vláknech dostali právě na max. přetvoření betonu v tlaku.

Průřez uprostřed rozpětí, $x = 13,5$ m

A) Počáteční přetvoření průřezu

Tab. 47: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ

vlákna	x [mm]	Uvedení do provozu		Konec životnosti	
		σ_{G+P} [MPa]	ϵ_{in} [-]	σ_{G+P} [MPa]	ϵ_{in} [-]
D _{HORNÍ}	0,00	-10,217	-0,000789	-7,776	-0,000600
D _{DOLNÍ}	250,00	-11,115	-0,000858	-8,180	-0,000632
N _{HORNÍ}	250,00	-9,915	-0,000612	-6,988	-0,000432
předpínací výztuž	760,00		-0,000980		-0,000736
N _{DOLNÍ}	900,00	-17,494	-0,001080	-13,275	-0,000820



Obr. 102: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ

B) Počáteční přetvoření v předpínací výztuži

Tab. 48: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započítáním ztrát

Typ výztuže	Předpínací napětí	Uvedení do provozu	Konec životnosti
	σ_{G+P} [MPa]	σ_{UP} [MPa]	σ_{KZ} [MPa]
Předem předpjatá lana	1 395,000	1 046,250	976,500
Dodatečné předpětí v nosníku	1 395,000	1 089,774	1 002,308
Dodatečné předpětí v desce	1 395,000	1 253,268	1 165,802

Tab. 49: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí UP, KZ

Typ výztuže	Uvedení do provozu	Konec životnosti	Max. přetvoření
	$\epsilon_{IN,UP}$ [‰]	$\epsilon_{IN,KZ}$ [‰]	ϵ_{UD} [‰]
Předem předpjatá lana	5,008	5,365	20,000
Dodatečné předpětí v nosníku	5,589	5,140	20,000
Dodatečné předpětí v desce	6,427	5,978	20,000

Posouzení MSÚ bylo provedeno po výšce po 10 mm proužcích. V tabulkách níže jsou vybrány pouze některé ukázkové body. Zde jsou krátké vysvětlivky k tabulkám níže:

- Sloupec č. 1 body odkazující na polohu z hlediska výšky průřezu
- Sloupec č. 2 počáteční přetvoření průřezu od G + P v dané časové etapě
- Sloupec č. 3,4 hodnoty přetvoření při předpokladu max. přípustného přetvoření v krajních vláknech tlačeného betonu
- Sloupec č. 9 - 13 výpočet síly a momentu v tlačeném betonu
- Sloupec č. 15 - 17 výpočet síly a momentu od působící betonářské výztuže
- Sloupec č. 19 - 21 výpočet síly a momentu od působící předpínací výztuže

Pozn. Zeleně resp. červeně je označeno přetvoření v nejvíce tlačených vláknech betonu. Podle toho zda vyhovuje či ne max. povolenému přetvoření je potom počítáno buď se stavem, kdy je předpínací výztuž rozhodující nebo se stavem, kdy je rozhodující tlačený beton.

1. Uvedení do provozu

Tab. 50: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti uprostřed rozpětí při uvedení do provozu

h	ϵ_{in}	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,DESKA}$	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,PŘ. VÝZT}$	Betón					Betónářská výztuž			Předpínací výztuž		
						σ_c	b	F_{ci}	e	M_c	σ_s	F_s	M_s	σ_p	F_p	M_p
[mm]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[MPa]	[mm]	[kN]	[mm]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]
0,0	-0,789	-2,711	-3,500	-5,899	-6,688	-22,67	938,0	0,00	0,0	0,00						
100,0	-0,817	-1,742	-2,558	-3,455	-4,271	-22,67	938,0	-212,61	-179,7	38,21						
125,0	-0,823	-1,500	-2,323	-2,844	-3,667	-22,67	938,0	-106,31	-154,7	16,45				800,26	1 800,58	-278,59
200,0	-0,844	-0,773	-1,617	-1,010	-1,855	-20,94	938,0	-202,17	-79,7	16,12						
250,0	-0,858	-0,288	-1,146	0,212	-0,646	-14,85	938,0	-144,98	-29,7	4,31						
250,0	-0,612	-0,288	-0,900	0,212	-0,400	-14,58	468,0	0,00	-29,7	0,00						
300,0	-0,648	0,197	-0,452	1,434	0,786	-7,32	468,0	-37,64	20,3	-0,76						
400,0	-0,720	1,166	0,445	3,879	3,158	0,00	190,0	0,00	120,3	0,00						
500,0	-0,792	2,135	1,343	6,323	5,531	0,00	190,0	0,00	220,3	0,00						
600,0	-0,864	3,104	2,240	8,768	7,903	0,00	190,0	0,00	320,3	0,00						
700,0	-0,936	4,074	3,137	11,212	10,276	0,00	507,0	0,00	420,3	0,00						
760,0	-0,980	4,655	3,675	12,679	11,699	0,00	507,0	0,00	480,3	0,00				1 472,49	2 650,48	1 272,97
800,0	-1,008	5,043	4,034	13,657	12,648	0,00	507,0	0,00	520,3	0,00				0,00	0,00	0,00
840,0	-1,037	5,431	4,393	14,635	13,597	0,00	507,0	0,00	560,3	0,00				1 478,02	443,41	248,43
850,0	-1,044	5,527	4,483	14,879	13,835	0,00	507,0	0,00	570,3	0,00	436,66	526,77	300,41			
900,0	-1,080	6,012	4,932	16,101	15,021	0,00	507,0	0,00	620,3	0,00						
								-5 421,25		782,27		526,77	300,41		4 894,47	1 242,81

Iterace Neutrálne osy

Vzdálenost N. O. od horních vláken: **279,722mm**

Silová podmínka rovnováhy

$$F_c = -5\,421,25\text{ kN}$$

$$F_s = F_{PV} + F_{BV} = 4\,894,47 + 526,77 = 5\,421,25\text{ kN}$$

$$F_c = F_s$$

$$-5\,421,25 = 5\,421,25\text{ [kN]}$$

Tab. 51: Posouzení MSÚ uprostřed rozpětí při uvedení do provozu

Kontrola rovnováhy sil		
ΣF_c	-5 421,25	[kN]
ΣF_s	5 421,25	[kN]
$\Sigma F_s - \Sigma F_c$	0,00	[kN]
ΔM_{Rd}	2 325,49	[kNm]
M_G	579,02	[kNm]
M_p	-881,80	[kNm]
M_{Rd}	2 022,71	[kNm]
M_{Ed}	1 947,27	[kNm]
Využití průřezu	96,27%	[%]

2. Konec životnosti

Tab. 52: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti uprostřed rozpětí na konci životnosti

h	ϵ_{in}	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,DESKA}$	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,PR. VÝZT}$	Beton					Betonářská výztuž			Předpínací výztuž		
						σ_c	b	F_{ci}	e	M_c	σ_s	F_s	M_s	σ_p	F_p	M_p
[mm]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[MPa]	[mm]	[kN]	[mm]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]
0,0	-0,600	-2,900	-3,500	-3,933	-4,533	-22,67	1 500,0	0,00	0,0	0,00						
100,0	-0,613	-1,315	-1,928	-1,722	-2,335	-22,67	1 500,0	-340,00	-83,0	28,23						
125,0	-0,616	-0,919	-1,535	-1,170	-1,786	-19,88	1 500,0	-152,94	-58,0	8,87				866,45	1 949,51	-113,10
200,0	-0,625	0,269	-0,356	0,488	-0,137	-4,61	1 500,0	-84,48	17,0	-1,43						
250,0	-0,632	1,061	0,430	1,593	0,962	0,00	1 500,0	0,00	67,0	0,00						
250,0	-0,432	1,061	0,630	1,593	1,162	0,00	468,0	0,00	67,0	0,00						
300,0	-0,461	1,854	1,392	2,699	2,237	0,00	468,0	0,00	117,0	0,00						
400,0	-0,521	3,438	2,917	4,909	4,388	0,00	190,0	0,00	217,0	0,00						
500,0	-0,581	5,022	4,441	7,119	6,538	0,00	190,0	0,00	317,0	0,00						
600,0	-0,641	6,607	5,966	9,330	8,689	0,00	190,0	0,00	417,0	0,00						
700,0	-0,700	8,191	7,491	11,540	10,840	0,00	507,0	0,00	517,0	0,00						
760,0	-0,736	9,142	8,405	12,866	12,130	0,00	507,0	0,00	577,0	0,00				1 520,37	2 736,66	1 579,01
800,0	-0,760	9,775	9,015	13,750	12,990	0,00	507,0	0,00	617,0	0,00				0,00	0,00	0,00
840,0	-0,784	10,409	9,625	14,635	13,851	0,00	507,0	0,00	657,0	0,00				1 536,53	460,96	302,84
850,0	-0,790	10,568	9,778	14,856	14,066	0,00	507,0	0,00	667,0	0,00	440,96	531,96	354,81			
900,0	-0,820	11,360	10,540	15,961	15,141	0,00	507,0	0,00	717,0	0,00						
								-5 679,09		519,32		531,96	354,81		5 147,13	1 768,76

Iterace Neutrálne osy

Vzdálenost N. O. od horních vláken: **183,015mm**

Silová podmínka rovnováhy

$$F_c = -5\,679,09\text{ kN}$$

$$F_s = F_{PV} + F_{BV} = 5\,147,13 + 531,96 = 5\,679,09\text{ kN}$$

$$F_c = F_s$$

$$-5\,679,09 = 5\,679,09\text{ [kN]}$$

Tab. 53: Posouzení MSÚ uprostřed rozpětí na konci životnosti

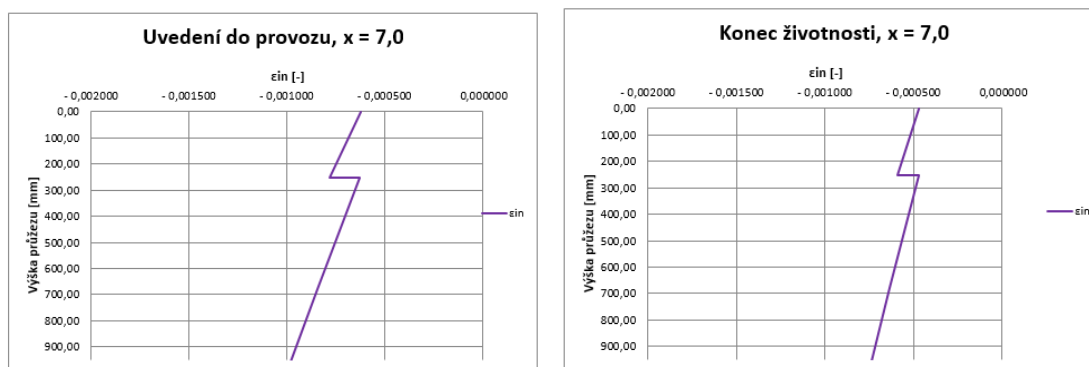
Kontrola rovnováhy sil		
ΣF_c	-5 679,09	[kN]
ΣF_s	5 679,09	[kN]
$\Sigma F_s - \Sigma F_c$	0,00	[kN]
ΔM_{Rd}	2 642,89	[kNm]
M_G	579,02	[kNm]
M_p	-840,29	[kNm]
M_{Rd}	2 381,62	[kNm]
M_{Ed}	1 947,27	[kNm]
Využití průřezu	81,76%	[%]

Spára mezi nosníky, $x = 7,0$ m

A) Počáteční přetvoření průřezu

Tab. 54: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ

vlákna	x [mm]	Uvedení do provozu		Konec životnosti	
		σ_{G+P} [MPa]	ϵ_{in} [-]	σ_{G+P} [MPa]	ϵ_{in} [-]
D _{HORNÍ}	0,00	-8,081	-0,000624	-6,090	-0,000470
D _{DOLNÍ}	250,00	-10,131	-0,000782	-7,625	-0,000589
N _{HORNÍ}	250,00	-10,131	-0,000626	-7,625	-0,000471
předpínací výztuž	680,00		-0,000844		-0,000634
N _{DOLNÍ}	955,00	-15,914	-0,000983	-11,953	-0,000738



Obr. 103: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ

B) Počáteční přetvoření v předpínací výztuži

Tab. 55: Napětí v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí

Typ výztuže	Předpínací napětí	Uvedení do provozu	Konec životnosti
	σ_{G+P} [MPa]	σ_{UP} [MPa]	σ_{KZ} [MPa]
Předem předpjatá lana			
Dodatečné předpětí v nosníku	1 395,000	1 154,642	1 062,990
Dodatečné předpětí v desce	1 395,000	1 164,267	1 072,616

Tab. 56: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí UP, KZ

Typ výztuže	Uvedení do provozu	Konec životnosti	Max. přetvoření
	$\epsilon_{IN,UP}$ [‰]	$\epsilon_{IN,KZ}$ [‰]	ϵ_{UD} [‰]
Předem předpjatá lana			
Dodatečné předpětí v nosníku	5,971	5,501	20,000
Dodatečné předpětí v desce	5,921	5,451	20,000

1. Uvedení do provozu

Tab. 57: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti ve spáře mezi nosníky při uvedení do provozu

h	ϵ_{in}	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,DESKA}$	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,PŘ. VÝZT}$	Beton					Betonářská výztuž			Předpínací výztuž		
						σ_c	b	F_{ci}	e	M_c	σ_s	F_s	M_s	σ_p	F_p	M_p
[mm]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[MPa]	[mm]	[kN]	[mm]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]
0,0	-0,624	-2,876	-3,500	-6,489	-7,113	-22,67	938,0	0,00	0,0	0,00						
100,0	-0,687	-1,708	-2,395	-3,472	-4,159	-22,67	938,0	-212,61	-146,2	31,08						
125,0	-0,703	-1,416	-2,119	-2,717	-3,420	-22,67	938,0	-106,31	-121,2	12,88				741,46	1 668,28	-202,19
200,0	-0,751	-0,540	-1,290	-0,454	-1,205	-16,71	938,0	-163,47	-46,2	7,55						
250,0	-0,782	0,044	-0,738	1,055	0,272	-9,56	938,0	-96,35	3,8	-0,37						
250,0	-0,626	0,044	-0,581	1,055	0,429	-9,41	468,0	0,00	3,8	0,00						
300,0	-0,651	0,629	-0,023	2,563	1,912	-0,37	468,0	-5,96	53,8	-0,32						
400,0	-0,702	1,797	1,094	5,581	4,878	0,00	190,0	0,00	153,8	0,00						
500,0	-0,753	2,965	2,212	8,598	7,845	0,00	190,0	0,00	253,8	0,00						
600,0	-0,804	4,133	3,329	11,615	10,811	0,00	190,0	0,00	353,8	0,00						
680,0	-0,845	5,068	4,223	14,029	13,184	0,00	190,0	0,00	433,8	0,00				1 482,88	2 669,19	1 157,90
700,0	-0,855	5,301	4,446	14,633	13,777	0,00	190,0	0,00	453,8	0,00						
800,0	-0,906	6,470	5,563	17,650	16,744	0,00	507,0	0,00	553,8	0,00						
900,0	-0,957	7,638	6,680	20,668	19,710	0,00	507,0	0,00	653,8	0,00	438,44	528,92	345,81			
950,0	-0,983	8,222	7,239	22,176	21,193	0,00	507,0	0,00	703,8	0,00						
								-4 866,39		602,65		528,92	345,81		4 337,47	955,71

Iterace Neutrálne osy

Vzdálenost N. O. od horních vláken: **246,196 mm**

Silová podmínka rovnováhy

$$F_c = -4\,866,39\text{ kN}$$

$$F_s = F_{PV} + F_{BV} = 4\,337,47 + 528,92 = 4\,866,39\text{ kN}$$

$$F_c = F_s$$

$$-4\,866,39 = 4\,866,39\text{ [kN]}$$

Tab. 58: Posouzení MSÚ ve spáře mezi nosníky při uvedení do provozu

Kontrola rovnováhy sil		
ΣF_c	-4 866,39	[kN]
ΣF_s	4 866,39	[kN]
$\Sigma F_s - \Sigma F_c$	0,00	[kN]
ΔM_{Rd}	1 904,18	[kNm]
M_G	123,20	[kNm]
M_p	-775,91	[kNm]
M_{Rd}	1 251,48	[kNm]
M_{Ed}	1 082,03	[kNm]
Využití průřezu	86,46%	[%]

2. Konec životnosti

Tab. 59: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti ve spáře mezi nosníky na konci životnosti

h	ϵ_{in}	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,DESKA}$	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,PŘ. VÝZT}$	Beton					Betonářská výztuž			Předpínací výztuž		
						σ_c	b	F_{ci}	e	M_c	σ_s	F_s	M_s	σ_p	F_p	M_p
[mm]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[MPa]	[mm]	[kN]	[mm]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]
0,0	-0,470	-3,030	-3,500	-4,533	-5,003	-22,67	1 500,0	0,00	0,0	0,00						
100,0	-0,518	-1,232	-1,749	-1,734	-2,252	-22,66	1 500,0	-339,93	-68,5	23,28						
125,0	-0,529	-0,782	-1,312	-1,034	-1,564	-16,99	1 500,0	-131,66	-43,5	5,73				807,23	1 816,27	-79,00
200,0	-0,565	0,566	0,001	1,065	0,500	0,00	1 500,0	-16,86	31,5	-0,53						
250,0	-0,589	1,466	0,877	2,464	1,876	0,00	1 500,0	0,00	81,5	0,00						
250,0	-0,471	1,466	0,995	2,464	1,993	0,00	468,0	0,00	81,5	0,00						
300,0	-0,490	2,365	1,875	3,864	3,374	0,00	468,0	0,00	131,5	0,00						
400,0	-0,528	4,163	3,635	6,663	6,134	0,00	190,0	0,00	231,5	0,00						
500,0	-0,566	5,961	5,394	9,461	8,895	0,00	190,0	0,00	331,5	0,00						
600,0	-0,605	7,759	7,154	12,260	11,656	0,00	190,0	0,00	431,5	0,00						
680,0	-0,635	9,198	8,562	14,499	13,864	0,00	190,0	0,00	511,5	0,00				1 526,15	2 747,08	1 405,14
700,0	-0,643	9,557	8,914	15,059	14,416	0,00	190,0	0,00	531,5	0,00						
800,0	-0,681	11,355	10,674	17,858	17,177	0,00	507,0	0,00	631,5	0,00						
900,0	-0,719	13,153	12,434	20,657	19,938	0,00	507,0	0,00	731,5	0,00	443,12	534,56	391,03			
950,0	-0,738	14,053	13,314	22,056	21,318	0,00	507,0	0,00	781,5	0,00						
								-5 097,91		437,51		534,56	391,03		4 563,35	1 326,14

Iterace Neutrálne osy

Vzdálenost N. O. od horních vláken: **168,496 mm**

Silová podmínka rovnováhy

$$F_c = -5\,097,91 \text{ kN}$$

$$F_s = F_{PV} + F_{BV} = 4\,563,35 + 534,56 = 5\,097,91 \text{ kN}$$

$$F_c = F_s$$

$$-5\,097,91 = 5\,097,91 \text{ [kN]}$$

Tab. 60: Posouzení MSÚ ve spáře mezi nosníky na konci životnosti

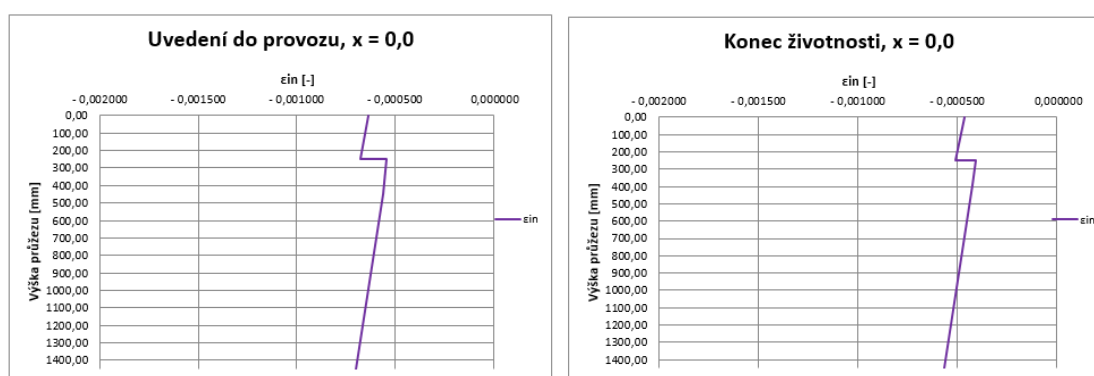
Kontrola rovnováhy sil		
ΣF_c	-5 097,91	[kN]
ΣF_s	5 097,91	[kN]
$\Sigma F_s - \Sigma F_c$	0,00	[kN]
ΔM_{Rd}	2 154,69	[kNm]
M_G	123,20	[kNm]
M_p	-734,72	[kNm]
M_{Rd}	1 543,16	[kNm]
M_{Ed}	1 082,03	[kNm]
Využití průřezu	70,12%	[%]

Průřez nad podporou, $x = 0,0$ m

C) Počáteční přetvoření průřezu

Tab. 61: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ

vlákna	x [mm]	Uvedení do provozu		Konec životnosti	
		σ_{G+P} [MPa]	ϵ_{in} [-]	σ_{G+P} [MPa]	ϵ_{in} [-]
D _{HORNÍ}	1 450,00	-8,246	-0,000637	-6,051	-0,000467
D _{DOLNÍ}	1 200,00	-8,769	-0,000677	-6,598	-0,000509
N _{HORNÍ}	1 200,00	-8,769	-0,000542	-6,598	-0,000408
předpínací výztuž	1 060,00		-0,000560		-0,000426
N _{DOLNÍ}	0,00	-11,278	-0,000697	-9,222	-0,000570



Obr. 104: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ

D) Počáteční přetvoření v předpínací výztuži

Tab. 62: Napětí v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí

Typ výztuže	Předpínací napětí	Uvedení do provozu	Konec životnosti
	σ_{G+P} [MPa]	σ_{UP} [MPa]	σ_{KZ} [MPa]
Předem předpjatá lana			
Dodatečné předpětí v nosníku	1 395,000	1 142,226	1 058,805
Dodatečné předpětí v desce	1 395,000	1 196,492	1 113,210

Tab. 63: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí UP, KZ

Typ výztuže	Uvedení do provozu	Konec životnosti	Max. přetvoření
	$\epsilon_{IN,UP}$ [‰]	$\epsilon_{IN,KZ}$ [‰]	ϵ_{UD} [‰]
Předem předpjatá lana			
Dodatečné předpětí v nosníku	5,858	5,430	20,000
Dodatečné předpětí v desce	6,136	5,709	20,000

1. Uvedení do provozu

Tab. 64: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti nad podporou při uvedení do provozu

h	ϵ_{in}	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,DESKA}$	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,PŘ. VÝZT}$	Beton					Betonářská výztuž			Předpínací výztuž		
						σ_c	b	F_{ci}	e	M_c	σ_s	F_s	M_s	σ_p	F_p	M_p
[mm]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[MPa]	[mm]	[kN]	[mm]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]
1 450,0	-0,637	2,766	2,130	17,171	16,534	0,00	938,0	0,00	720,2	0,00						
1 400,0	-0,645	2,574	1,930	15,848	15,203	0,00	938,0	0,00	670,2	0,00						
1 325,0	-0,657	2,286	1,629	13,864	13,207	0,00	938,0	0,00	595,2	0,00				1 455,73	3 275,40	1 949,43
1 300,0	-0,661	2,190	1,529	13,203	12,542	0,00	938,0	0,00	570,2	0,00						
1 200,0	-0,677	1,806	1,129	10,558	9,881	0,00	938,0	0,00	470,2	0,00						
1 200,0	-0,542	1,806	1,264	10,558	10,016	0,00	468,0	0,00	470,2	0,00						
1 100,0	-0,555	1,422	0,867	7,912	7,358	0,00	468,0	0,00	370,2	0,00						
1 060,0	-0,560	1,268	0,709	6,854	6,295	0,00	190,0	0,00	330,2	0,00				1 280,40	2 304,71	760,96
1 000,0	-0,567	1,038	0,470	5,267	4,700	0,00	190,0	0,00	270,2	0,00						
900,0	-0,580	0,654	0,073	2,622	2,042	0,00	190,0	0,00	170,2	0,00						
800,0	-0,593	0,270	-0,324	-0,023	-0,617	-5,24	190,0	-10,57	70,2	-0,74						
700,0	-0,606	-0,115	-0,721	-2,669	-3,275	-11,67	190,0	-22,78	-29,8	0,68						
600,0	-0,619	-0,499	-1,118	-5,314	-5,933	-18,10	190,0	-35,00	-129,8	4,54						
500,0	-0,632	-0,883	-1,515	-7,959	-8,591	-24,53	190,0	-47,21	-229,8	10,85						
400,0	-0,645	-1,267	-1,912	-10,604	-11,249	-28,33	190,0	-53,83	-329,8	17,76						
300,0	-0,658	-1,651	-2,309	-13,250	-13,907	-28,33	190,0	-53,83	-429,8	23,14						
200,0	-0,671	-2,035	-2,706	-15,895	-16,566	-28,33	507,0	-143,65	-529,8	76,11						
100,0	-0,684	-2,419	-3,103	-18,540	-19,224	-28,33	507,0	-143,65	-629,8	90,47						
0,0	-0,697	-2,803	-3,500	-21,185	-21,882	-28,33	507,0	0,00	0,0	0,00						
								-5 580,11		2 596,88		0,00	0,00		5 580,11	2 710,39

Iterace Neutrálne osy

Vzdálenost N. O. od horních vláken: **729,825 mm**

Silová podmínka rovnováhy

$$F_c = -5\,580,11 \text{ kN}$$

$$F_s = F_{PV} + F_{BV} = 5\,580,11 + 0,00 = 5\,580,11 \text{ kN}$$

$$F_c = F_s$$

$$-5\,580,11 = 5\,580,11 \text{ [kN]}$$

Tab. 65: Posouzení MSÚ nad podporou při uvedení do provozu

Kontrola rovnováhy sil		
ΣF_c	-5 580,11	[kN]
ΣF_s	5 580,11	[kN]
$\Sigma F_s - \Sigma F_c$	0,00	[kN]
ΔM_{Rd}	5 307,28	[kNm]
M_G	-1 368,08	[kNm]
M_p	845,80	[kNm]
M_{Rd}	4 785,00	[kNm]
M_{Ed}	-3 719,23	[kNm]
Využití průřezu	77,73%	[%]

1. Konec životnosti

Tab. 66: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti nad podporou na konci životnosti

h	ϵ_{in}	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,DESKA}$	$\Delta\epsilon$	$\epsilon_{u,PŘ. VÝZT}$	Beton					Betonářská výztuž			Předpínací výztuž		
						σ_c	b	F_{ci}	e	M_c	σ_s	F_s	M_s	σ_p	F_p	M_p
[mm]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]	[MPa]	[mm]	[kN]	[mm]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[kN]	[kNm]
1 450,0	-0,467	2,813	2,346	17,730	17,263	0,00	1 500,0	0,00	710,2	0,00						
1 400,0	-0,476	2,615	2,139	16,354	15,879	0,00	1 500,0	0,00	660,2	0,00						
1 325,0	-0,488	2,318	1,829	14,291	13,803	0,00	1 500,0	0,00	585,2	0,00				1 453,19	3 269,69	1 913,30
1 300,0	-0,493	2,219	1,726	13,604	13,111	0,00	1 500,0	0,00	560,2	0,00						
1 200,0	-0,509	1,823	1,313	10,853	10,343	0,00	1 500,0	0,00	460,2	0,00						
1 200,0	-0,408	1,823	1,415	10,853	10,445	0,00	468,0	0,00	460,2	0,00						
1 100,0	-0,421	1,427	1,006	8,102	7,681	0,00	468,0	0,00	360,2	0,00						
1 060,0	-0,426	1,268	0,842	7,002	6,575	0,00	190,0	0,00	320,2	0,00				1 222,94	2 201,28	704,77
1 000,0	-0,435	1,030	0,596	5,351	4,917	0,00	190,0	0,00	260,2	0,00						
900,0	-0,448	0,634	0,186	2,600	2,152	0,00	190,0	0,00	160,2	0,00						
800,0	-0,462	0,238	-0,223	-0,150	-0,612	-3,61	190,0	-7,50	60,2	-0,45						
700,0	-0,475	-0,158	-0,633	-2,901	-3,376	-10,25	190,0	-20,10	-39,8	0,80						
600,0	-0,489	-0,554	-1,042	-5,652	-6,141	-16,88	190,0	-32,70	-139,8	4,57						
500,0	-0,502	-0,950	-1,452	-8,403	-8,905	-23,51	190,0	-45,30	-239,8	10,86						
400,0	-0,516	-1,346	-1,862	-11,154	-11,669	-28,33	190,0	-53,83	-339,8	18,29						
300,0	-0,529	-1,742	-2,271	-13,904	-14,433	-28,33	190,0	-53,83	-439,8	23,68						
200,0	-0,543	-2,138	-2,681	-16,655	-17,198	-28,33	507,0	-143,65	-539,8	77,55						
100,0	-0,556	-2,534	-3,090	-19,406	-19,962	-28,33	507,0	-143,65	-639,8	91,91						
0,0	-0,570	-2,930	-3,500	-22,157	-22,726	-28,33	507,0	0,00	0,0	0,00						
								-5 470,97		2 646,20		0,00	0,00		5 470,97	2 618,07

Iterace Neutrálne osy

Vzdálenost N. O. od horních vláken: **739,836 mm**

Silová podmínka rovnováhy

$$F_c = -5\,470,97 \text{ kN}$$

$$F_s = F_{PV} + F_{BV} = 5\,470,97 + 0,00 = 5\,470,97 \text{ kN}$$

$$F_c = F_s$$

$$-5\,470,97 = 5\,470,97 \text{ [kN]}$$

Tab. 67: Posouzení MSÚ nad podporou na konci životnosti

Kontrola rovnováhy sil		
ΣF_c	-5 470,97	[kN]
ΣF_s	5 470,97	[kN]
$\Sigma F_s - \Sigma F_c$	0,00	[kN]
ΔM_{Rd}	5 264,27	[kNm]
M_G	-1 368,08	[kNm]
M_p	783,30	[kNm]
M_{Rd}	4 679,49	[kNm]
M_{Ed}	-3 719,23	[kNm]
Využití průřezu	79,48%	[%]

8.3 Smyk

8.3.1 Smyková únosnost stojiny nosníku

Při posuzování smykové únosnosti stojiny musíme ověřit únosnost tlačené diagonály resp. tlačného betonu $V_{Rd,max}$ a únosnost smykové výztuže $V_{Rd,s}$. Dle 6.2.3 ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady bude rozhodovat menší z těchto dvou hodnot.

Únosnost tlačené diagonály se stanoví ze vztahu:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta} [kN]$$

α_{cw} – součinitel vyjadřující stav napjatosti v tlačném pásu

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} \quad \text{pro } 0 < \sigma_{cp} < 0,25 * f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 1,25 \quad \text{pro } 0 < \sigma_{cp} < 0,25 * f_{cd}$$

$$\alpha_{cw} = 2,5 * \left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right) \quad \text{pro } 0 < \sigma_{cp} < 0,25 * f_{cd}$$

σ_{cp} – průměrné napětí v tlaku v průřezu při zahrnutí ekvivalentní plochy
betonářské výztuže vyvolané návrhovou normálovou silou N_{Ed}

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c + A_s * \frac{E_s}{E_c}}$$

b_w – nejmenší šířka průřezu (v našem případě šířka stojiny nosníku)

z – rameno vnitřních sil ($z = 0,9 * d$)

v_1 – redukční součinitel tlakové pevnosti při porušení smykem

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

θ – úhel sklonu tlačené diagonály od osy nosníku kolmé na posouvající sílu

$$\theta = 1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

α – úhel sklonu smykové výztuže od osy nosníku kolmé na posouvající sílu

Únosnost prvků se svislou smykovou výztuží se stanoví ze vztahu:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cot \theta \text{ [kN]}$$

A_{sw} – plocha smykové výztuže průřezu

s – osová vzdálenost smykové výztuže

f_{ywd} – návrhová mez kluzu smykové výztuže

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s * b_w * \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \text{ [-]}$$

ρ_w – stupeň vyztužení průřezu

Průřez nad podporou, $x = 0,0$ m

Rozměry průřezu

Výška průřezu	$h = 1\,200,0$	mm
Nejmenší šířka průřezu (stojina)	$b_w = 190,0$	mm

Ohybová výztuž

Krytí výztuže	$c = 50,0$	mm
Profil výztuže	$\varnothing = 16,0$	mm
Účinná výška průřezu	$d = 1\,142,0$	mm
Rameno vnitřních sil	$z = 0,9 \cdot d = 1\,027,8$	mm

Smyková výztuž

Mez kluzu materiálu	$f_{yw} = 500,0$	MPa
Součinitel materiálu	$\gamma_s = 1,15$	-
Návrhová mez kluzu materiálu	$f_{ywd} = 434,78$	MPa

Třmínky

Profil třmínku	$\varnothing = 12,0$	mm
Střížnost	$s = 2$	-
Vzdálenost třmínků	$s = 100,0$	mm
Plocha třmínků	$A_{sw} = 226,19$	mm ²

Beton nosníku

Charakteristická pevnost	$f_{ck} = 50,0$	MPa
Součinitel materiálu	$\gamma_c = 1,50$	-
Redukční součinitel	$\alpha_{cc} = 0,85$	-
Návrhová pevnost	$f_{cd} = 28,33$	MPa
Redukce smykové pevnosti	$v_1 = 0,480$	-

Beton desky

Charakteristická pevnost	$f_{ck} = 40,0$	MPa
Součinitel materiálu	$\gamma_c = 1,50$	-

Redukční součinitel	$\alpha_{cc} = 0,85$	-
Návrhová pevnost	$f_{cd} = 22,67$	MPa
Redukce smykové pevnosti	$v_1 = 0,504$	-

Sklon tlačných diagonál

$$\cotg \theta = 1,0 \quad -$$

1. Únosnost tlačné diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{\cotg \theta + \cotg \alpha}{1 + \cotg^2 \theta}$$

$$V_{Rd,max} = 1,25 * 190,0 * 1027,8 * 0,48 * 28,33 * \frac{1,0 + 0}{1 + 1,0^2} = \mathbf{1\ 659,90\ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$$

$$\mathbf{1\ 659,9 \geq 803,54\ [kN] \rightarrow vyhovuje}$$

2. Únosnost smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cotg \theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{226,19}{100,0} * 1027,8 * 434,78 * 1,0 = \mathbf{1\ 010,80\ kN}$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,max}$$

$$\mathbf{1010,8 \geq 803,54\ [kN] \rightarrow vyhovuje}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s * b_w * \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_w = \frac{226,19}{100 * 190 * 1,0} \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{50,0}}{500,0}$$

$$\mathbf{0,012 \geq 0,001\ [-] \rightarrow vyhovuje}$$

Spára mezi nosníky, $x = 7,0$ m

Rozměry průřezu

Výška průřezu	$h = 705,0$ mm
Nejmenší šířka průřezu (stojina)	$b_w = 190,0$ mm

Ohybová výztuž

Krytí výztuže	$c = 50,0$	mm
Profil výztuže	$\varnothing = 16,0$	mm
Účinná výška průřezu	$d = 1\,142,0$	mm
Rameno vnitřních sil	$z = 0,9 \cdot d = 1\,027,8$	mm

Smyková výztuž

Mez kluzu materiálu	$f_{yw} = 500,0$	MPa
Součinitel materiálu	$\gamma_s = 1,15$	-
Návrhová mez kluzu materiálu	$f_{ywd} = 434,78$	MPa

Třmínky

Profil třmínku	$\varnothing = 12,0$	mm
Střížnost	$s = 2$	-
Vzdálenost třmínků	$s = 100,0$	mm
Plocha třmínků	$A_{sw} = 226,19$	mm ²

Beton nosníku

Charakteristická pevnost	$f_{ck} = 50,0$	MPa
Součinitel materiálu	$\gamma_c = 1,50$	-
Redukční součinitel	$\alpha_{cc} = 0,85$	-
Návrhová pevnost	$f_{cd} = 28,33$	MPa
Redukce smykové pevnosti	$v_1 = 0,480$	-

Beton desky

Charakteristická pevnost	$f_{ck} = 40,0$	MPa
Součinitel materiálu	$\gamma_c = 1,50$	-

Redukční součinitel	$\alpha_{cc} = 0,85$	-
Návrhová pevnost	$f_{cd} = 22,67$	MPa
Redukce smykové pevnosti	$v_1 = 0,504$	-

Sklon tlačných diagonál

$$\cotg \theta = 1,0 \quad -$$

1. Únosnost tlačné diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{\cotg \theta + \cotg \alpha}{1 + \cotg^2 \theta}$$

$$V_{Rd,max} = 1,25 * 190,0 * 582,3 * 0,48 * 28,33 * \frac{1,0 + 0}{1 + 1,0^2} = \mathbf{940,41 \text{ kN}}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$$

$$\mathbf{940,41 \geq 471,61 \text{ [kN]} \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

2. Únosnost smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cotg \theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{226,19}{100,0} * 582,3 * 434,78 * 1,0 = \mathbf{572,67 \text{ kN}}$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,max}$$

$$\mathbf{572,67 \geq 471,61 \text{ [kN]} \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s * b_w * \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_w = \frac{226,19}{100 * 190 * 1,0} \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{50,0}}{500,0}$$

$$\mathbf{0,012 \geq 0,001 \text{ [-]} \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

8.3.2 Smyk mezi stěnou a přilehlými deskami průřezu tvaru T

Smyková únosnost mezi stěnou a přilehlými deskami průřezu tvaru T se stanoví v souladu s 6.2.4 ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady na základě napětí v_{Ed} . Podélné smykové napětí v_{Ed} ve spojení mezi jednou stranou přilehlé desky se stěnou je dáno změnou normálové síly v uvažované části desky. Změna normálové síly se stanoví jako rozdíl normálových sil ve spřažené desce vyvolaný ohybovými účinky zatížení.

Podélné smykové napětí v_{Ed} ve styku stěny a přilehlé části desky v i -tém řezu se určí ze vztahu:

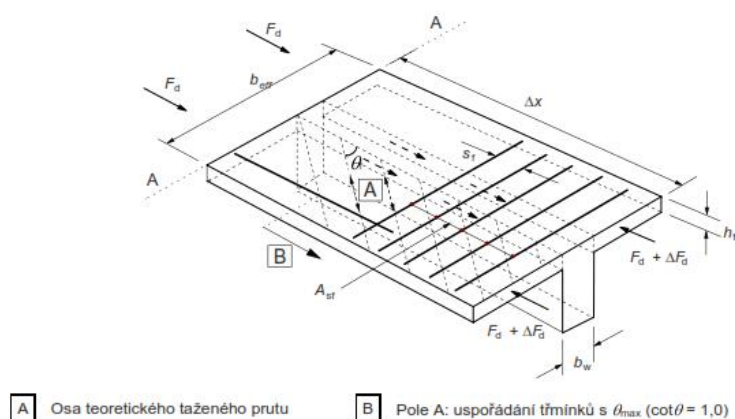
$$v_{Ed} = \frac{0,5 * \Delta F_{di}}{h_f} [MPa]$$

ΔF_{di} – změna normálové síly F_{di} na vzdálenost mezi posuvnými průřezy
(uvažována jako rovnoměrně rozdělená po celé spolupůsobící šířce spřažené desky b_{eff})

F_{di} – síla v i – tém průřezu

$F_{di} = \frac{M_{Ed,max,i}}{z_i}$ ($M_{Ed,max,i}$ bez účinků vlastní tíhy – působí pouze na nosník)

h_f – stloušťka desky v místě spojení

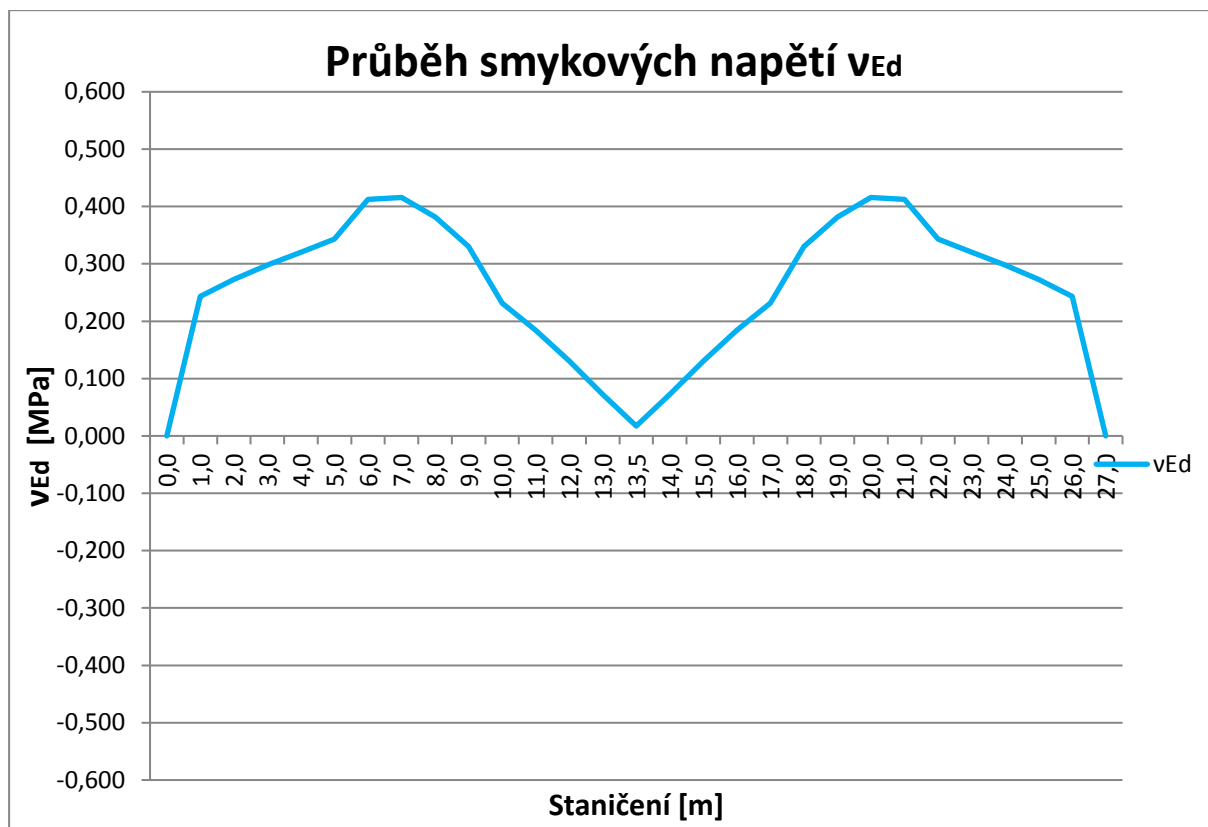


Obr. 105: Schéma působení zatížení pro ověření smykové únosnosti mezi stěnou a přilehlými deskami průřezu tvaru T – převzato z ČSN EN 1992-2

1) Posouzení pro max. kladné účinky zatížení

Tab. 68: Hodnoty podélných smykových napětí v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku

x	M_{Ed}	h	z	F_{sm}	ΔF_{sm}	h_D	β	v_{Ed}
[m]	[Nmm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[-]	[MPa]
0,0	-19 645 743,47	1 450,00	1 305,00	-15 054,21	0,00	250,00	0,50	0,000
1,0	139 253 300,58	1 450,00	1 305,00	106 707,51	121 761,72	250,00	0,50	0,244
2,0	295 444 670,60	1 350,00	1 215,00	243 164,34	136 456,83	250,00	0,50	0,273
3,0	441 255 509,86	1 250,00	1 125,00	392 227,12	149 062,78	250,00	0,50	0,298
4,0	576 816 703,43	1 160,00	1 044,00	552 506,42	160 279,30	250,00	0,50	0,321
5,0	703 945 764,31	1 080,00	972,00	724 224,04	171 717,62	250,00	0,50	0,343
6,0	845 658 942,33	1 010,00	909,00	930 317,87	206 093,83	250,00	0,50	0,412
7,0	978 298 236,93	955,00	859,50	1 138 217,84	207 899,98	250,00	0,50	0,416
8,0	1 100 475 534,03	920,00	828,00	1 329 076,73	190 858,89	250,00	0,50	0,382
9,0	1 210 321 348,34	900,00	810,00	1 494 223,89	165 147,15	250,00	0,50	0,330
10,0	1 304 159 731,52	900,00	810,00	1 610 073,74	115 849,86	250,00	0,50	0,232
11,0	1 378 749 639,05	900,00	810,00	1 702 160,05	92 086,31	250,00	0,50	0,184
12,0	1 431 674 331,14	900,00	810,00	1 767 499,17	65 339,13	250,00	0,50	0,131
13,0	1 460 938 688,27	900,00	810,00	1 803 628,01	36 128,84	250,00	0,50	0,072
13,5	1 464 425 003,79	900,00	810,00	1 807 932,10	8 608,19	250,00	0,50	0,017
14,0	1 460 941 504,26	900,00	810,00	1 803 631,49	-36 132,31	250,00	0,50	0,072
15,0	1 431 674 331,14	900,00	810,00	1 767 499,17	-65 339,13	250,00	0,50	0,131
16,0	1 378 749 639,05	900,00	810,00	1 702 160,05	-92 086,31	250,00	0,50	0,184
17,0	1 304 159 731,52	900,00	810,00	1 610 073,74	-115 849,86	250,00	0,50	0,232
18,0	1 210 321 348,34	900,00	810,00	1 494 223,89	-165 143,75	250,00	0,50	0,330
19,0	1 100 478 350,03	920,00	828,00	1 329 080,13	-190 862,29	250,00	0,50	0,382
20,0	978 298 236,93	955,00	859,50	1 138 217,84	-207 899,98	250,00	0,50	0,416
21,0	845 658 942,33	1 010,00	909,00	930 317,87	-206 093,83	250,00	0,50	0,412
22,0	703 945 764,31	1 080,00	972,00	724 224,04	-171 717,62	250,00	0,50	0,343
23,0	576 816 703,43	1 160,00	1 044,00	552 506,42	-160 277,22	250,00	0,50	0,321
24,0	441 257 856,52	1 250,00	1 125,00	392 229,21	-149 064,87	250,00	0,50	0,298
25,0	295 444 670,60	1 350,00	1 215,00	243 164,34	-136 455,03	250,00	0,50	0,273
26,0	139 255 647,24	1 450,00	1 305,00	106 709,31	-121 763,52	250,00	0,50	0,244
27,0	-19 645 743,47	1 450,00	1 305,00	-15 054,21	0,00	250,00	0,50	0,000



Obr. 106: Průběh podélných smykových napětí v_{Ed} po délce nosné konstrukce

Návrhová hodnota napětí na mezi únosnosti se stanoví ze vztahu:

$$v_{Rd} = v * f_{cd} * \sin \theta_f * \cos \theta_f \text{ [MPa]}$$

v – redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem

f_{cd} – návrhová pevnost betonu desky v tlaku

θ_f – úhel sklonu tlačené diagonály (v našem případě 45°)

$$v_{Rd} = 0,504 * 22,67 * \sin 45^\circ * \cos 45^\circ = \mathbf{5,712 \text{ MPa}}$$

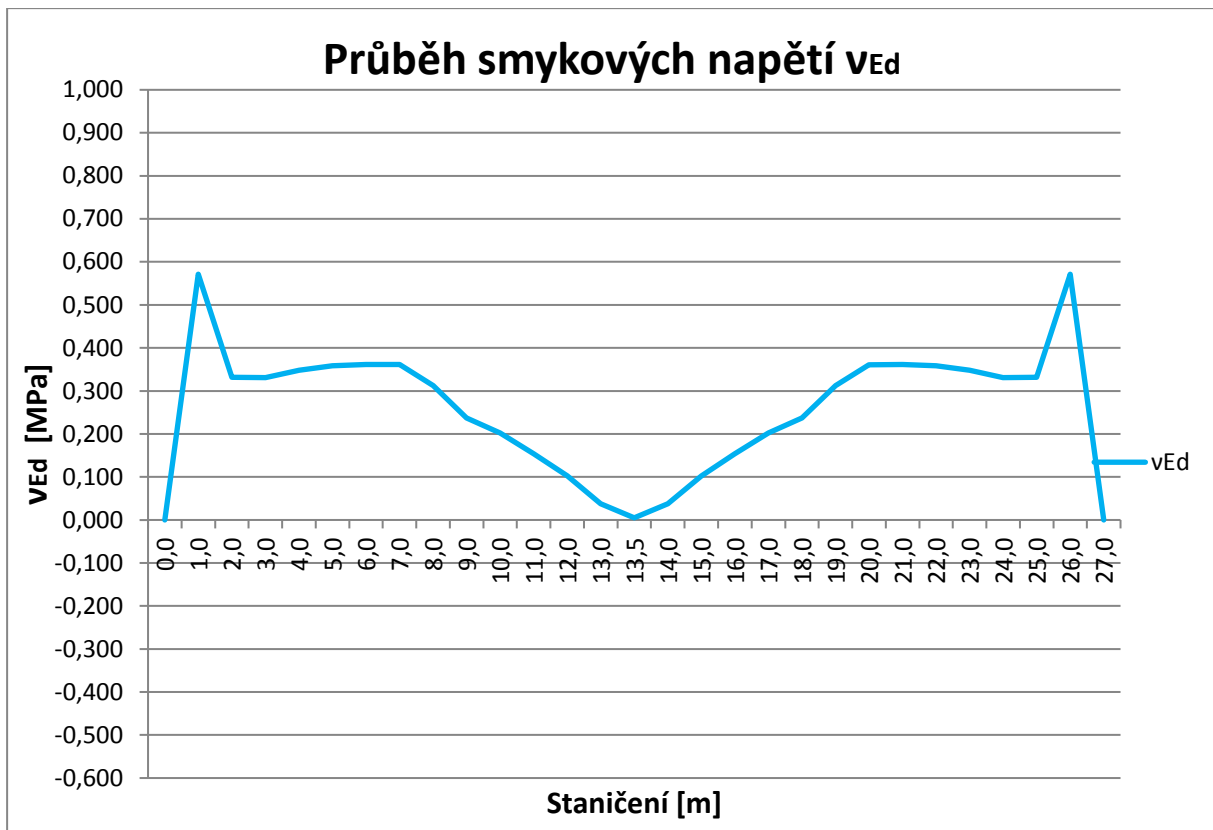
$$v_{Rd} \geq v_{Ed,max}$$

$$\mathbf{5,712 \geq 0,416 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

2) Posouzení pro max. záporné účinky zatížení

Tab. 69: Hodnoty podélných smykových napětí v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku

x	M_{Ed}	h	z	F_{sm}	ΔF_{sm}	h_D	β	v_{Ed}
[m]	[Nmm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[-]	[MPa]
0,0	-2 407 708 960,61	1 450,00	1 305,00	-1 844 987,71	0,00	250,00	0,50	0,000
1,0	-2 034 949 576,61	1 450,00	1 305,00	-1 559 348,33	285 639,37	250,00	0,50	0,571
2,0	-1 693 067 363,38	1 350,00	1 215,00	-1 393 471,08	165 877,25	250,00	0,50	0,332
3,0	-1 381 468 014,50	1 250,00	1 125,00	-1 227 971,57	165 499,51	250,00	0,50	0,331
4,0	-1 100 367 979,05	1 160,00	1 044,00	-1 053 992,32	173 979,25	250,00	0,50	0,348
5,0	-850 198 868,58	1 080,00	972,00	-874 690,19	179 302,12	250,00	0,50	0,359
6,0	-630 881 988,20	1 010,00	909,00	-694 039,59	180 650,60	250,00	0,50	0,361
7,0	-441 347 838,46	955,00	859,50	-513 493,70	180 545,89	250,00	0,50	0,361
8,0	-295 726 015,37	920,00	828,00	-357 157,02	156 336,68	250,00	0,50	0,313
9,0	-193 153 207,19	900,00	810,00	-238 460,75	118 696,27	250,00	0,50	0,237
10,0	-111 219 533,87	900,00	810,00	-137 308,07	101 152,68	250,00	0,50	0,202
11,0	-48 863 018,17	900,00	810,00	-60 324,71	76 983,35	250,00	0,50	0,154
12,0	-7 422 060,80	900,00	810,00	-9 163,04	51 161,68	250,00	0,50	0,102
13,0	7 868 182,36	900,00	810,00	9 713,81	18 876,84	250,00	0,50	0,038
13,5	8 875 867,00	900,00	810,00	10 957,86	2 488,11	250,00	0,50	0,005
14,0	7 868 182,36	900,00	810,00	9 713,81	-18 876,84	250,00	0,50	0,038
15,0	-7 422 060,80	900,00	810,00	-9 163,04	-51 161,68	250,00	0,50	0,102
16,0	-48 863 018,17	900,00	810,00	-60 324,71	-76 983,35	250,00	0,50	0,154
17,0	-111 219 533,87	900,00	810,00	-137 308,07	-101 152,68	250,00	0,50	0,202
18,0	-193 153 207,19	900,00	810,00	-238 460,75	-118 696,27	250,00	0,50	0,237
19,0	-295 726 015,37	920,00	828,00	-357 157,02	-156 235,24	250,00	0,50	0,312
20,0	-441 260 654,45	955,00	859,50	-513 392,27	-180 481,42	250,00	0,50	0,361
21,0	-630 731 178,31	1 010,00	909,00	-693 873,68	-180 821,66	250,00	0,50	0,362
22,0	-850 203 874,67	1 080,00	972,00	-874 695,34	-179 299,67	250,00	0,50	0,359
23,0	-1 100 370 795,04	1 160,00	1 044,00	-1 053 995,01	-173 981,00	250,00	0,50	0,348
24,0	-1 381 473 020,60	1 250,00	1 125,00	-1 227 976,02	-165 496,87	250,00	0,50	0,331
25,0	-1 693 069 553,48	1 350,00	1 215,00	-1 393 472,88	-165 875,45	250,00	0,50	0,332
26,0	-2 034 949 576,61	1 450,00	1 305,00	-1 559 348,33	-285 643,21	250,00	0,50	0,571
27,0	-2 407 713 966,71	1 450,00	1 305,00	-1 844 991,55	0,00	250,00	0,50	0,000



Obr. 107: Průběh podélných smykových napětí v_{Ed} po délce nosné konstrukce

$$v_{Rd} = 0,504 * 22,67 * \sin 45^\circ * \cos 45^\circ = \mathbf{5,712 \text{ MPa}}$$

$$v_{Rd} \geq v_{Ed,max}$$

$$\mathbf{5,712 \geq 0,571 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

Návrh výztuže

Návrh výztuže se provede dle 6.2.4 ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Při posouzení smykového napětí mezi stěnou a přilehlými deskami průřezu tvaru T, průřez vyhověl jak při posuzování na max. kladné účinky zatížení, tak na max. záporné účinky zatížení. Bude proto navržena pouze výztuž konstrukční.

Množství výztuže na jednotku délky připojení desky k nosníku se stanoví dle vztahu:

$$A_{sf,min} = \frac{v_{Ed} * h_f * s_f}{\cot \theta_f * f_{yd}} [mm^2]$$

s_f – podélná vzdálenost výztuže

$$A_{sf,min} = \frac{0,591 * 250,0 * 200,0}{\cot 45^\circ * 434,78} = 83,65 \text{ mm}^2$$

→ **s ohledem na minimální stupeň vyztužení průřezu je navržena výztuž**

4Ø12/1 000 mm

8.3.3 Smyk mezi betony různého stáří

Smyk mezi betony různého stáří je nutno posoudit mezi na styku mezi prefabrikovaným nosníkem a spřaženou deskou. Smykové napětí na styku mezi prefabrikovaným nosníkem a spřaženou deskou je určeno pro max. smykové namáhání od ostatního stálého zatížení a zatížení proměnného. Výpočet se provede dle 6.2.5 ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Návrhová hodnota smykového napětí ve styčné ploše se stanoví ze vztahu:

$$v_{Ed,i} = \frac{V_{Ed} * \beta}{z * b_i} [MPa]$$

V_{Ed} – posouvající síla

β – poměr podélné síly v ploše dobetonovaného průřezu k celkové podélné síle,

bud' v tlačené nebo v tažené oblasti průřezu, obě síly jsou počítány pro uvažovaný průřez
 z – rameno vnitřních sil spřaženého průřezu

b_i – šířka styčné plochy

Návrhová únosnost ve smyku styčné plochy je dána vztahem:

$$v_{Rd,i} = c * f_{ctd} + \mu * \sigma_n + \rho * f_{yd} * (\mu * \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 * v * f_{cd} [MPa]$$

c – součinitel soudržnosti ve spáře (= 0,45)

f_{ctd} – návrhová pevnost betonu v dostředném tahu

μ – součinitel drsnosti povrchu spáry (= 0,70)

σ_n – normálové napětí působící kolmo na styčnou spáru

(vzhledem k minimálním hodnotám je uvažováno 0 MPa)

ρ – stupeň smykového vyztužení spáry definovaný podílem

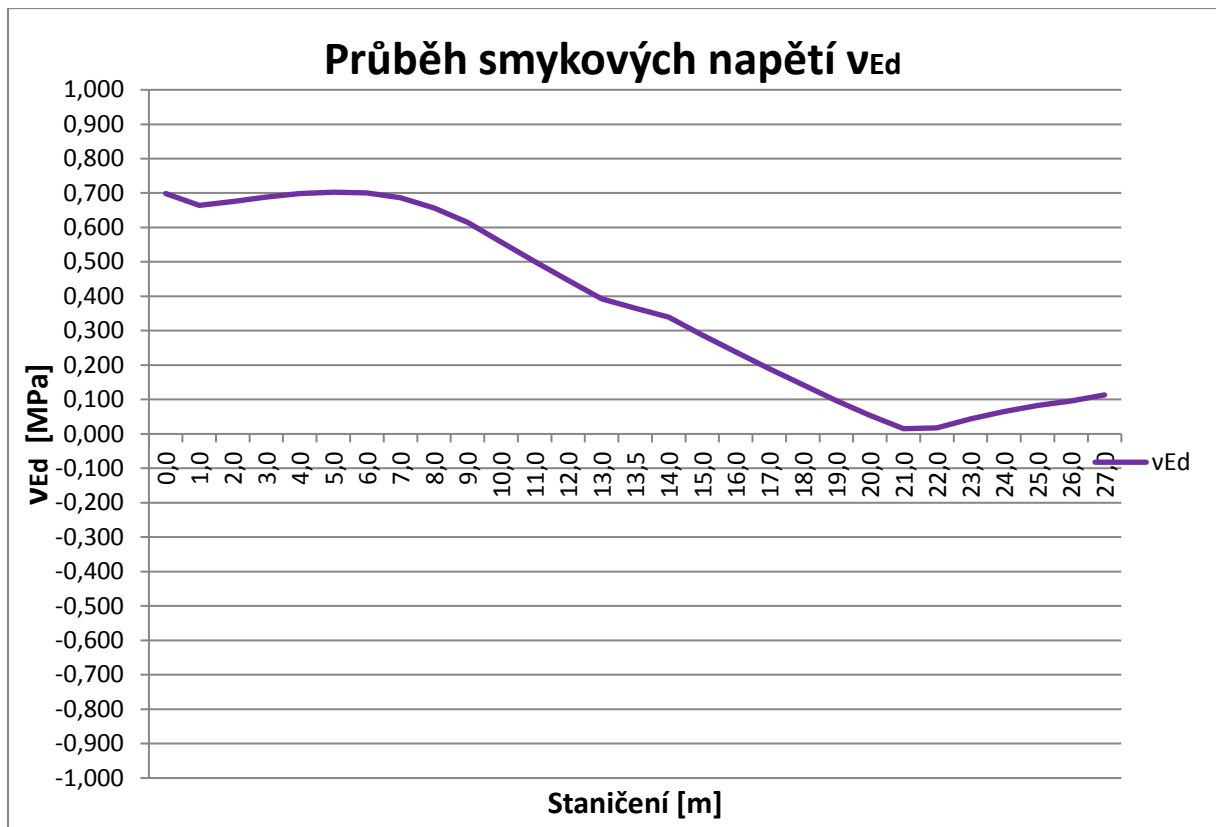
celkové plochy smykové výztuže $A_{s,celkem}$ a plochou spáry ($= \frac{A_s}{A_i}$)

α – úhel osazení smykové výztuže ve styčné spáře (pro svislé třmínky $\alpha = 90^\circ$)

1) Posouzení pro max. kladné účinky zatížení

Tab. 70: Hodnoty smykových napětí ve styčné ploše v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku

x	V_{Ed}	h	z	b_{N,pásnice}	F_{sm}	β	v_{Ed}
[m]	[Nmm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]	[-]	[MPa]
0,0	547 111,30	1 450,00	1 305,00	600,00	419,24	1,00	0,699
1,0	519 733,38	1 450,00	1 305,00	600,00	398,26	1,00	0,664
2,0	492 321,12	1 350,00	1 215,00	600,00	405,20	1,00	0,675
3,0	464 848,18	1 250,00	1 125,00	600,00	413,20	1,00	0,689
4,0	437 321,10	1 160,00	1 044,00	600,00	418,89	1,00	0,698
5,0	409 680,18	1 080,00	972,00	600,00	421,48	1,00	0,702
6,0	381 975,34	1 010,00	909,00	600,00	420,21	1,00	0,700
7,0	354 187,11	955,00	859,50	600,00	412,09	1,00	0,687
8,0	326 377,72	920,00	828,00	600,00	394,18	1,00	0,657
9,0	298 668,22	900,00	810,00	600,00	368,73	1,00	0,615
10,0	271 133,33	900,00	810,00	600,00	334,73	1,00	0,558
11,0	243 893,08	900,00	810,00	600,00	301,10	1,00	0,502
12,0	217 051,94	900,00	810,00	600,00	267,97	1,00	0,447
13,0	190 705,95	900,00	810,00	600,00	235,44	1,00	0,392
13,5	177 742,74	900,00	810,00	600,00	219,44	1,00	0,366
14,0	164 938,84	900,00	810,00	600,00	203,63	1,00	0,339
15,0	139 880,06	900,00	810,00	600,00	172,69	1,00	0,288
16,0	115 594,59	900,00	810,00	600,00	142,71	1,00	0,238
17,0	92 167,23	900,00	810,00	600,00	113,79	1,00	0,190
18,0	69 673,75	900,00	810,00	600,00	86,02	1,00	0,143
19,0	48 194,46	920,00	828,00	600,00	58,21	1,00	0,097
20,0	27 723,77	955,00	859,50	600,00	32,26	1,00	0,054
21,0	8 299,62	1 010,00	909,00	600,00	9,13	1,00	0,015
22,0	-10 114,89	1 080,00	972,00	600,00	-10,41	1,00	0,017
23,0	-27 605,77	1 160,00	1 044,00	600,00	-26,44	1,00	0,044
24,0	-44 195,88	1 250,00	1 125,00	600,00	-39,29	1,00	0,065
25,0	-59 996,16	1 350,00	1 215,00	600,00	-49,38	1,00	0,082
26,0	-75 037,26	1 450,00	1 305,00	600,00	-57,50	1,00	0,096
27,0	-88 718,37	1 450,00	1 305,00	600,00	-67,98	1,00	0,113



Obr. 108: Průběh smykových napětí ve styčné spáře v_{Ed} po délce nosné konstrukce

$$v_{Rd,i} = 0,45 * 1,98 + 0,70 * 0,0 + 0,012 * 434,78 * (0,70 * \sin 90^\circ + \cos 90^\circ)$$

$$v_{Rd,i} = 4,516 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd} \leq v_{Rd,max} = 0,5 * 0,504 * 22,67$$

$$4,516 \leq 5,712 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

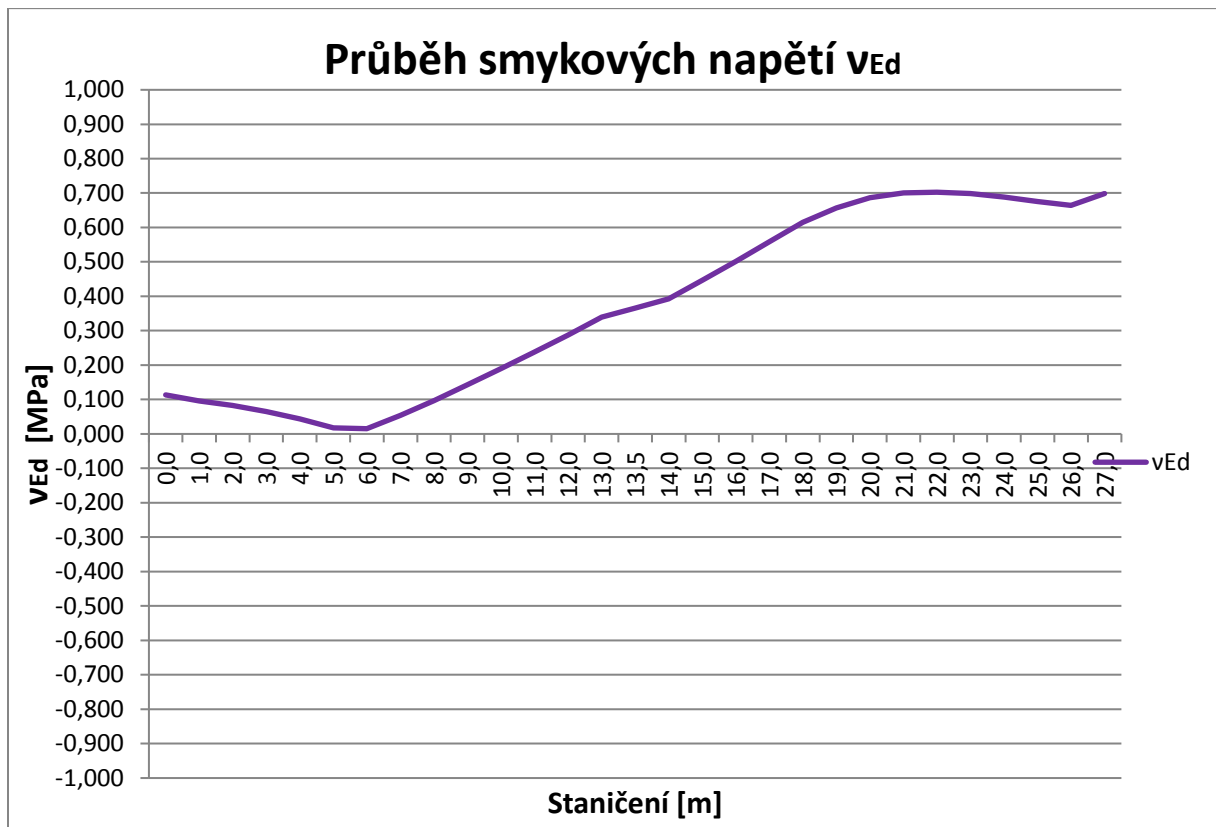
$$v_{Rd} \leq v_{Ed,max} = 0,5 * 0,504 * 22,67$$

$$4,516 \leq 0,702 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

2) Posouzení pro max. záporné účinky zatížení

Tab. 71: Hodnoty smykových napětí ve styčné ploše v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku

x	V_{Ed}	h	z	b_{N,pásnice}	F_{sm}	β	v_{Ed}
[m]	[Nmm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]	[-]	[MPa]
0,0	88 718,37	1 450,00	1 305,00	600,00	67,98	1,00	0,113
1,0	75 037,26	1 450,00	1 305,00	600,00	57,50	1,00	0,096
2,0	59 996,16	1 350,00	1 215,00	600,00	49,38	1,00	0,082
3,0	44 195,88	1 250,00	1 125,00	600,00	39,29	1,00	0,065
4,0	27 605,77	1 160,00	1 044,00	600,00	26,44	1,00	0,044
5,0	10 114,89	1 080,00	972,00	600,00	10,41	1,00	0,017
6,0	-8 299,62	1 010,00	909,00	600,00	-9,13	1,00	0,015
7,0	-27 723,77	955,00	859,50	600,00	-32,26	1,00	0,054
8,0	-48 194,46	920,00	828,00	600,00	-58,21	1,00	0,097
9,0	-69 673,75	900,00	810,00	600,00	-86,02	1,00	0,143
10,0	-92 167,23	900,00	810,00	600,00	-113,79	1,00	0,190
11,0	-115 594,59	900,00	810,00	600,00	-142,71	1,00	0,238
12,0	-139 880,06	900,00	810,00	600,00	-172,69	1,00	0,288
13,0	-164 938,84	900,00	810,00	600,00	-203,63	1,00	0,339
13,5	-177 742,74	900,00	810,00	600,00	-219,44	1,00	0,366
14,0	-190 708,14	900,00	810,00	600,00	-235,44	1,00	0,392
15,0	-217 051,94	900,00	810,00	600,00	-267,97	1,00	0,447
16,0	-243 893,08	900,00	810,00	600,00	-301,10	1,00	0,502
17,0	-271 133,33	900,00	810,00	600,00	-334,73	1,00	0,558
18,0	-298 668,22	900,00	810,00	600,00	-368,73	1,00	0,615
19,0	-326 377,72	920,00	828,00	600,00	-394,18	1,00	0,657
20,0	-354 187,11	955,00	859,50	600,00	-412,09	1,00	0,687
21,0	-381 975,34	1 010,00	909,00	600,00	-420,21	1,00	0,700
22,0	-409 683,00	1 080,00	972,00	600,00	-421,48	1,00	0,702
23,0	-437 321,10	1 160,00	1 044,00	600,00	-418,89	1,00	0,698
24,0	-464 848,18	1 250,00	1 125,00	600,00	-413,20	1,00	0,689
25,0	-492 321,12	1 350,00	1 215,00	600,00	-405,20	1,00	0,675
26,0	-519 733,38	1 450,00	1 305,00	600,00	-398,26	1,00	0,664
27,0	-547 111,30	1 450,00	1 305,00	600,00	-419,24	1,00	0,699



Obr. 109: Průběh smykových napětí ve styčné spáře v_{Ed} po délce nosné konstrukce

$$v_{Rd,i} = 0,45 * 1,98 + 0,70 * 0,0 + 0,012 * 434,78 * (0,70 * \sin 90^\circ + \cos 90^\circ)$$

$$v_{Rd,i} = 4,516 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd} \leq v_{Rd,max} = 0,5 * 0,504 * 22,67$$

$$4,516 \leq 5,712 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$v_{Rd} \leq v_{Ed,max} = 0,5 * 0,504 * 22,67$$

$$4,516 \leq 0,702 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

8.4 Únava

8.4.1 Zatížení a kombinace zatížení na únavu

Pro posouzení na únavu byla přidána zatížení dopravními schémata model zatížení na únavu 1 a model zatížení na únavu 3 dle ČSN EN 1992-1-1 Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou. Ohybové momenty od těchto zatěžovacích modelů jsou v tabulce na další straně.

Kombinace zatížení pro stanovení rozkmitu zatížení se stanoví dle 6.8.3 ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Pro výpočet rozkmitu napětí musí být zatížení rozděleno na zatížení necyklická a zatížení cyklická vyvolávající únavu.

Základní kombinace necyklického zatížení se stanoví podle vztahu:

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

$Q_{k,1}; Q_{k,1}$ – *necyklická, ne – stálá zatížení*

Cyklické zatížení musí být kombinované s nejnepříznivější hodnotou základní kombinace:

$$\left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + "P" + "\psi_{1,1} * Q_{k,1} " + " \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \right) " + "Q_{fat}$$

Q_{fat} – *příslušné únavové zatížení*

8.4.1.1 Ohybové momenty

Tab. 72: Hodnoty ohybových momentů od zatížení dopravními schématy na únavu FLM1 a FLM 3 – část I

	M_y [kNm]														
x [m]	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5
Únava - FLM1 - Q_{MAX}	25,19	67,01	109,90	149,25	185,31	218,35	248,63	276,37	301,53	323,93	342,94	357,88	368,10	373,13	373,60
Únava - FLM1 - Q_{MIN}	-570,96	-492,53	-419,20	-351,24	-288,96	-232,69	-182,50	-138,30	-99,84	-67,03	-40,17	-18,96	-4,42	-0,01	0,00
Únava - FLM1 - q_{MAX}	0,65	2,46	5,24	8,82	13,09	17,94	23,33	29,14	35,14	41,04	46,46	51,06	54,61	56,92	57,23
Únava - FLM1 - q_{MIN}	-167,10	-137,24	-110,78	-87,49	-67,28	-50,05	-35,76	-24,29	-15,44	-8,93	-4,43	-1,58	-0,17	0,00	0,00
Únava - LM3 Q_{MAX}	8,71	23,43	39,07	53,99	68,26	81,91	94,95	114,50	134,97	152,87	167,60	178,68	185,73	188,47	188,15
Únava - LM3 Q_{MIN}	-450,30	-383,53	-321,00	-263,02	-210,06	-162,53	-120,72	-85,14	-55,63	-32,17	-15,12	-7,17	-1,70	0,00	0,00

Tab. 73: Hodnoty ohybových momentů od zatížení dopravními schématy na únavu FLM1 a FLM 3 – část II

	M_y [kNm]														
x [m]	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	
Únava - FLM1 - Q_{MAX}	373,13	368,10	357,88	342,94	323,93	301,53	276,37	248,63	218,35	185,31	149,25	109,90	67,01	25,19	
Únava - FLM1 - Q_{MIN}	-0,01	-4,42	-18,96	-40,17	-67,03	-99,84	-138,30	-182,50	-232,69	-288,96	-351,24	-419,20	-492,53	-570,97	
Únava - FLM1 - q_{MAX}	56,92	54,61	51,06	46,46	41,04	35,14	29,14	23,33	17,94	13,09	8,82	5,24	2,46	0,65	
Únava - FLM1 - q_{MIN}	0,00	-0,17	-1,58	-4,43	-8,93	-15,44	-24,29	-35,76	-50,05	-67,28	-87,49	-110,78	-137,24	-167,10	
Únava - LM3 Q_{MAX}	188,47	185,73	178,68	167,60	152,87	134,97	114,50	94,95	81,91	68,26	53,99	39,07	23,43	8,71	
Únava - LM3 Q_{MIN}	0,00	-1,70	-7,17	-15,12	-32,17	-55,63	-85,14	-120,72	-162,53	-210,06	-263,02	-321,00	-383,53	-450,30	

8.4.1.2 Kombinace zatížení

Vlastní tíha + předpětí

Tab. 74: Hodnoty normálových napětí od zatížení vlastní tíhou + předpětím

x	Uvedení do provozu				Konec životnosti			
	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,0	-8,246	-8,769	-8,769	-11,278	-6,051	-6,598	-6,598	-9,222
1,0	-8,120	-8,680	-8,680	-11,371	-6,021	-6,568	-6,568	-9,195
2,0	-8,130	-8,882	-8,882	-12,192	-6,034	-6,725	-6,725	-9,762
3,0	-8,120	-9,114	-9,114	-13,092	-6,034	-6,903	-6,903	-10,378
4,0	-8,078	-9,354	-9,354	-13,997	-6,017	-7,088	-7,088	-10,983
5,0	-8,009	-9,600	-9,600	-14,881	-5,989	-7,278	-7,278	-11,556
6,0	-7,987	-9,877	-9,877	-15,623	-5,998	-7,483	-7,483	-11,998
7,0	-8,081	-10,131	-10,131	-15,914	-6,090	-7,625	-7,625	-11,953
8,0	-8,553	-10,429	-9,453	-19,249	-6,534	-7,818	-6,849	-15,052
9,0	-9,094	-10,710	-9,510	-18,956	-6,941	-7,975	-6,782	-14,704
10,0	-9,536	-10,861	-9,660	-18,348	-7,270	-8,049	-6,856	-14,117
11,0	-9,868	-10,977	-9,776	-17,903	-7,517	-8,107	-6,915	-13,685
12,0	-10,088	-11,058	-9,857	-17,623	-7,680	-8,149	-6,956	-13,410
13,0	-10,195	-11,104	-9,903	-17,508	-7,760	-8,174	-6,981	-13,292
13,5	-10,217	-11,115	-9,915	-17,494	-7,776	-8,180	-6,988	-13,275
14,0	-10,191	-11,113	-9,913	-17,553	-7,758	-8,181	-6,989	-13,324
15,0	-10,080	-11,090	-9,890	-17,758	-7,677	-8,174	-6,982	-13,508
16,0	-9,859	-11,033	-9,832	-18,126	-7,515	-8,151	-6,958	-13,846
17,0	-9,528	-10,941	-9,741	-18,656	-7,270	-8,111	-6,918	-14,338
18,0	-9,098	-10,813	-9,612	-19,313	-6,950	-8,052	-6,859	-14,959
19,0	-8,587	-10,547	-9,571	-19,589	-6,561	-7,903	-6,934	-15,291
20,0	-8,129	-10,257	-10,257	-16,258	-6,123	-7,714	-7,714	-12,198
21,0	-8,101	-10,029	-10,029	-15,891	-6,074	-7,585	-7,585	-12,177
22,0	-8,161	-9,769	-9,769	-15,107	-6,089	-7,388	-7,388	-11,703
23,0	-8,266	-9,541	-9,541	-14,181	-6,139	-7,208	-7,208	-11,097
24,0	-8,340	-9,320	-9,320	-13,238	-6,176	-7,033	-7,033	-10,462
25,0	-8,379	-9,105	-9,105	-12,302	-6,193	-6,865	-6,865	-9,819
26,0	-8,395	-8,922	-8,922	-11,448	-6,196	-6,719	-6,719	-9,228
27,0	-8,563	-9,038	-9,038	-11,319	-6,250	-6,763	-6,763	-9,227

1. Max kladné účinky zatížení

Vlastní tíha + předpětí + FLM 1

Tab. 75: Hodnoty normálových napětí od max. kladných účinků zatížení vlastní tíhou + předpětím + FLM 1

x	Uvedení do provozu				Konec životnosti			
	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,0	-8,352	-8,829	-8,829	-11,116	-6,157	-6,658	-6,658	-9,060
1,0	-8,405	-8,841	-8,841	-10,936	-6,306	-6,729	-6,729	-8,760
2,0	-8,660	-9,164	-9,164	-11,381	-6,565	-7,007	-7,007	-8,950
3,0	-8,948	-9,523	-9,523	-11,826	-6,862	-7,312	-7,312	-9,112
4,0	-9,257	-9,891	-9,891	-12,197	-7,197	-7,625	-7,625	-9,183
5,0	-9,599	-10,262	-10,262	-12,466	-7,578	-7,940	-7,940	-9,141
6,0	-10,046	-10,657	-10,657	-12,515	-8,056	-8,263	-8,263	-8,890
7,0	-10,637	-11,015	-11,015	-12,083	-8,646	-8,509	-8,509	-8,121
8,0	-11,567	-11,403	-10,427	-14,757	-9,548	-8,792	-7,824	-10,559
9,0	-12,495	-11,764	-10,564	-13,905	-10,343	-9,029	-7,836	-9,653
10,0	-13,165	-11,985	-10,784	-12,959	-10,899	-9,173	-7,981	-8,728
11,0	-13,679	-12,158	-10,957	-12,243	-11,328	-9,288	-8,095	-8,025
12,0	-14,027	-12,278	-11,078	-11,773	-11,619	-9,369	-8,177	-7,561
13,0	-14,203	-12,345	-11,145	-11,557	-11,768	-9,415	-8,223	-7,340
13,5	-14,232	-12,359	-11,158	-11,531	-11,791	-9,424	-8,232	-7,312
14,0	-14,199	-12,355	-11,154	-11,601	-11,766	-9,423	-8,230	-7,373
15,0	-14,020	-12,311	-11,110	-11,908	-11,617	-9,395	-8,202	-7,658
16,0	-13,671	-12,214	-11,013	-12,467	-11,326	-9,331	-8,139	-8,186
17,0	-13,158	-12,065	-10,865	-13,267	-10,900	-9,235	-8,042	-8,949
18,0	-12,500	-11,867	-10,666	-14,262	-10,352	-9,106	-7,913	-9,908
19,0	-11,602	-11,521	-10,545	-15,097	-9,575	-8,877	-7,909	-10,798
20,0	-10,686	-11,141	-11,141	-12,426	-8,680	-8,598	-8,598	-8,366
21,0	-10,159	-10,808	-10,808	-12,783	-8,133	-8,364	-8,364	-9,069
22,0	-9,750	-10,431	-10,431	-12,692	-7,678	-8,050	-8,050	-9,288
23,0	-9,445	-10,078	-10,078	-12,381	-7,318	-7,745	-7,745	-9,297
24,0	-9,168	-9,729	-9,729	-11,971	-7,003	-7,442	-7,442	-9,196
25,0	-8,909	-9,387	-9,387	-11,491	-6,724	-7,147	-7,147	-9,008
26,0	-8,680	-9,082	-9,082	-11,014	-6,481	-6,880	-6,880	-8,793
27,0	-8,669	-9,098	-9,098	-11,158	-6,356	-6,823	-6,823	-9,065

2. Max záporné účinky zatížení

Vlastní tíha + předpětí + FLM 1

Tab. 76: Hodnoty normálových napětí od max. záporných účinků zatížení vlastní tíhou + předpětím + FLM 1

x	Uvedení do provozu				Konec životnosti			
	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,0	-5,222	-7,062	-7,062	-15,895	-3,027	-4,891	-4,891	-13,839
1,0	-5,539	-7,224	-7,224	-15,310	-3,441	-5,112	-5,112	-13,134
2,0	-5,689	-7,584	-7,584	-15,926	-3,593	-5,427	-5,427	-13,496
3,0	-5,823	-7,980	-7,980	-16,606	-3,737	-5,768	-5,768	-13,892
4,0	-5,961	-8,389	-8,389	-17,229	-3,900	-6,123	-6,123	-14,215
5,0	-6,108	-8,808	-8,808	-17,770	-4,087	-6,485	-6,485	-14,446
6,0	-6,335	-9,252	-9,252	-18,118	-4,346	-6,857	-6,857	-14,492
7,0	-6,720	-9,661	-9,661	-17,954	-4,730	-7,155	-7,155	-13,992
8,0	-7,521	-10,095	-9,119	-20,788	-5,602	-7,585	-6,609	-16,691
9,0	-8,386	-10,491	-9,291	-20,007	-6,335	-7,857	-6,656	-15,857
10,0	-9,120	-10,732	-9,531	-18,965	-6,956	-8,022	-6,821	-14,836
11,0	-9,677	-10,918	-9,717	-18,187	-7,427	-8,149	-6,949	-14,071
12,0	-10,045	-11,045	-9,844	-17,687	-7,738	-8,237	-7,036	-13,575
13,0	-10,195	-11,104	-9,903	-17,509	-7,861	-8,275	-7,075	-13,394
13,5	-10,217	-11,115	-9,915	-17,494	-7,877	-8,282	-7,081	-13,376
14,0	-10,191	-11,113	-9,913	-17,553	-7,860	-8,283	-7,082	-13,426
15,0	-10,038	-11,077	-9,877	-17,822	-7,736	-8,263	-7,062	-13,673
16,0	-9,668	-10,974	-9,773	-18,411	-7,425	-8,193	-6,992	-14,232
17,0	-9,113	-10,812	-9,612	-19,274	-6,956	-8,084	-6,883	-15,057
18,0	-8,390	-10,594	-9,393	-20,364	-6,343	-7,934	-6,733	-16,112
19,0	-7,555	-10,213	-9,237	-21,128	-5,630	-7,670	-6,694	-16,930
20,0	-6,769	-9,787	-9,787	-18,297	-4,763	-7,243	-7,243	-14,237
21,0	-6,449	-9,403	-9,403	-18,385	-4,422	-6,959	-6,959	-14,671
22,0	-6,260	-8,976	-8,976	-17,996	-4,187	-6,596	-6,596	-14,592
23,0	-6,149	-8,576	-8,576	-17,413	-4,022	-6,243	-6,243	-14,329
24,0	-6,043	-8,185	-8,185	-16,752	-3,879	-5,898	-5,898	-13,977
25,0	-5,938	-7,808	-7,808	-16,036	-3,752	-5,567	-5,567	-13,553
26,0	-5,815	-7,465	-7,465	-15,388	-3,615	-5,262	-5,262	-13,168
27,0	-5,538	-7,331	-7,331	-15,936	-3,225	-5,056	-5,056	-13,844

8.4.2 Ověření tláčeného betonu na únavu

Ověření tláčeného betonu na únavu se provede dle dle 6.8.7 ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Při ověření únavové životnosti musí být splněna podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 * \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}}$$

$\sigma_{c,max}$ – největší tlakové napětí v nějakém vláknu při časté kombinaci zatížení
(tlak se uvažuje kladným znaménkem)

$\sigma_{c,min}$ – nejmenší tlakové napětí ve stejné vláknu, kde se vyskytuje $\sigma_{c,max}$

Pokud je $\sigma_{c,min}$ tahové napětí, má se uvažovat rovné 0

$f_{cd,fat}$ – návrhová hodnota únavové pevnosti betonu v tlaku

$$f_{cd,fat} = k_1 * \beta_{cc}(t_0) * f_{cd} * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

k_1 – redukční součinitel (= 0,85)

$\beta_{cc}(t_0)$ – součinitel pro pevnost betonu v okamžiku prvního cyklického zatížení

Návrhové hodnoty únavové pevnosti betonu v tlaku $f_{cd,fat}$ pro prefabrikované nosníky a spřaženou desku:

Nosník:

$$f_{cd,fat} = 0,85 * 1,138 * 28,33 * \left(1 - \frac{50}{250}\right) = \mathbf{21,93 MPa}$$

Spřažená deska:

$$f_{cd,fat} = 0,85 * 1,065 * 22,67 * \left(1 - \frac{50}{250}\right) = \mathbf{17,24 MPa}$$

1. Max kladné účinky zatížení

Uvedení do provozu

Tab. 77: Hodnoty normálových napětí od max. kladných účinků zatížení při ověření tlačného betonu na únavu ve fázi uvedení do provozu

x	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,0	0,229	0,241	0,189	0,234
1,0	0,234	0,243	0,191	0,226
2,0	0,247	0,255	0,200	0,229
3,0	0,261	0,267	0,210	0,230
4,0	0,277	0,280	0,220	0,229
5,0	0,296	0,293	0,230	0,224
6,0	0,318	0,306	0,241	0,213
7,0	0,345	0,318	0,250	0,191
8,0	0,381	0,331	0,239	0,236
9,0	0,414	0,342	0,244	0,208
10,0	0,438	0,350	0,250	0,182
11,0	0,456	0,356	0,254	0,162
12,0	0,468	0,360	0,257	0,149
13,0	0,474	0,362	0,259	0,143
13,5	0,475	0,363	0,260	0,142
14,0	0,474	0,363	0,259	0,144
15,0	0,468	0,361	0,258	0,152
16,0	0,455	0,357	0,255	0,167
17,0	0,437	0,352	0,251	0,189
18,0	0,415	0,345	0,246	0,216
19,0	0,382	0,334	0,242	0,244
20,0	0,347	0,322	0,253	0,198
21,0	0,321	0,310	0,244	0,218
22,0	0,300	0,298	0,234	0,228
23,0	0,282	0,285	0,224	0,233
24,0	0,267	0,273	0,215	0,233
25,0	0,253	0,261	0,205	0,231
26,0	0,242	0,250	0,196	0,227
27,0	0,237	0,248	0,195	0,235

Konec životnosti

Tab. 78: Hodnoty normálových napětí od max. kladných účinků zatížení při ověření tlačného betonu na únavu na konci životnosti

x	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,0	0,169	0,182	0,143	0,190
1,0	0,177	0,186	0,146	0,179
2,0	0,190	0,196	0,154	0,177
3,0	0,204	0,207	0,163	0,172
4,0	0,221	0,219	0,172	0,164
5,0	0,241	0,230	0,181	0,153
6,0	0,264	0,241	0,190	0,135
7,0	0,291	0,250	0,197	0,106
8,0	0,326	0,260	0,184	0,147
9,0	0,356	0,268	0,185	0,118
10,0	0,376	0,274	0,190	0,092
11,0	0,392	0,278	0,193	0,072
12,0	0,403	0,281	0,196	0,059
13,0	0,408	0,283	0,197	0,053
13,5	0,409	0,283	0,197	0,052
14,0	0,408	0,283	0,197	0,053
15,0	0,403	0,282	0,196	0,061
16,0	0,392	0,279	0,194	0,076
17,0	0,376	0,275	0,191	0,097
18,0	0,356	0,270	0,187	0,123
19,0	0,327	0,262	0,186	0,152
20,0	0,292	0,253	0,199	0,112
21,0	0,266	0,244	0,192	0,139
22,0	0,244	0,233	0,183	0,156
23,0	0,225	0,222	0,175	0,167
24,0	0,208	0,211	0,166	0,174
25,0	0,194	0,200	0,157	0,178
26,0	0,182	0,190	0,149	0,180
27,0	0,175	0,186	0,147	0,190

2. Max záporné účinky zatížení

Uvedení do provozu

Tab. 79: Hodnoty normálových napětí od max. záporných účinků zatížení při ověření tlačeného betonu na únavu ve fázi uvedení do provozu

x	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,0	0,075	0,154	0,121	0,419
1,0	0,093	0,164	0,129	0,395
2,0	0,100	0,177	0,139	0,405
3,0	0,107	0,191	0,150	0,415
4,0	0,115	0,206	0,162	0,424
5,0	0,123	0,221	0,174	0,429
6,0	0,135	0,237	0,186	0,430
7,0	0,152	0,252	0,198	0,418
8,0	0,181	0,266	0,189	0,470
9,0	0,212	0,280	0,194	0,445
10,0	0,238	0,288	0,201	0,415
11,0	0,258	0,295	0,206	0,393
12,0	0,272	0,299	0,210	0,378
13,0	0,277	0,301	0,211	0,373
13,5	0,277	0,301	0,211	0,373
14,0	0,276	0,301	0,211	0,374
15,0	0,271	0,300	0,210	0,381
16,0	0,258	0,296	0,207	0,398
17,0	0,238	0,290	0,203	0,422
18,0	0,212	0,282	0,196	0,453
19,0	0,182	0,270	0,191	0,477
20,0	0,153	0,255	0,200	0,426
21,0	0,138	0,241	0,190	0,436
22,0	0,128	0,226	0,178	0,434
23,0	0,120	0,211	0,166	0,428
24,0	0,113	0,197	0,155	0,418
25,0	0,107	0,183	0,144	0,407
26,0	0,100	0,170	0,134	0,397
27,0	0,083	0,161	0,127	0,420

Konec životnosti

Tab. 80: Hodnoty normálových napětí od max. záporných účinků zatížení při ověření
tlačeného betonu na únavu na konci životnosti

x	$\sigma_{h,D}$	$\sigma_{d,D}$	$\sigma_{h,N}$	$\sigma_{d,N}$
[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,0	0,015	0,095	0,075	0,376
1,0	0,036	0,106	0,084	0,349
2,0	0,043	0,118	0,093	0,353
3,0	0,050	0,131	0,103	0,358
4,0	0,059	0,145	0,114	0,359
5,0	0,069	0,158	0,124	0,358
6,0	0,081	0,172	0,135	0,353
7,0	0,098	0,184	0,144	0,334
8,0	0,131	0,201	0,137	0,384
9,0	0,158	0,210	0,140	0,358
10,0	0,182	0,217	0,145	0,329
11,0	0,199	0,222	0,149	0,307
12,0	0,211	0,225	0,151	0,292
13,0	0,215	0,227	0,152	0,287
13,5	0,216	0,227	0,153	0,287
14,0	0,215	0,227	0,153	0,288
15,0	0,211	0,226	0,152	0,294
16,0	0,199	0,223	0,150	0,310
17,0	0,182	0,219	0,146	0,334
18,0	0,159	0,213	0,141	0,364
19,0	0,132	0,203	0,139	0,390
20,0	0,099	0,186	0,146	0,339
21,0	0,083	0,175	0,137	0,356
22,0	0,071	0,161	0,127	0,362
23,0	0,062	0,148	0,116	0,362
24,0	0,054	0,135	0,106	0,359
25,0	0,048	0,122	0,096	0,354
26,0	0,041	0,110	0,087	0,349
27,0	0,020	0,099	0,078	0,376

8.4.3 Ověření betonářské a předpínací výztuže na únavu

Ověření betonářské a předpínací výztuže na únavu se provede dle metody poškozujícího ekvivalentního napětí dle přílohy NN ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady.

Povolené rozkmity napětí pro betonářskou a předpínací výztuž jsou dle 6.8.4 ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Tab. 81: Parametry S-N křivky pro betonářskou ocel – převzato z ČSN EN 1992-1-1

Typ výztuže	N*	exponent napětí		$\Delta\sigma_{\text{Rsk}}$ (MPa) při N* cyklů
		k ₁	k ₂	
přímé a ohýbané pruty ¹	10 ⁶	5	9	162,5
svařované pruty a svařované sítě	10 ⁷	3	5	58,5
spojky	10 ⁷	3	5	35

POZNÁMKA 1 Hodnoty $\Delta\sigma_{\text{Rsk}}$ jsou pro přímé pruty. Hodnoty pro ohýbané pruty se stanoví s použitím redukčního součinitele $\zeta = 0,35 + 0,026 D / \phi$,
kde D je vnitřní průměr zakřivení výztuže,
 ϕ průměr prutu.

Tab. 82: Parametry S-N křivky pro předpínací ocel – převzato z ČSN EN 1992-1-1

S-N křivka předpínací oceli pro	N*	exponent napětí		$\Delta\sigma_{\text{Rsk}}$ (MPa) při N* cyklů
		k ₁	k ₂	
napínání předem	10 ⁶	5	9	185
napínání dodatečné				
- jednotlivá lana v plastových hadicích	10 ⁶	5	9	185
- přímé kabely nebo zakřivené kabely v plastových hadicích	10 ⁶	5	10	150
- zakřivené kabely v ocelových hadicích	10 ⁶	5	7	120
- spojky	10 ⁶	5	5	80

Postup výpočtu při posouzení předpínací výztuže na únavu je shodný s ověřením nosné konstrukce v mezních stavech použitelnosti. Ověření betonářské výztuže na únavu je dle stejného postupu, ovšem musí se zvětšit napětí ve výztuži s ohledem na rozdílné chování

betonářské a předpínací výztuže. Musí být uvažován zvýšený rozkmit napětí v betonářské výztuži, stanovený za předpokladu dokonalé soudržnosti, pomocí součinitele η dle vztahu:

$$\eta = \frac{A_s + A_p}{A_s + A_p * \sqrt{\xi * \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_p}\right)}}$$

A_s – plocha betonářské výztuže

A_p – plocha předpínací výztuže

σ_s – největší průměr betonářské výztuže

σ_p – průměr nebo ekvivalentní průměr předpínací výztuže

pro svazek drátů (kabel) – $\sigma_p = 1,6 * \sqrt{A_p} = 1,6 * \sqrt{150,0} = 19\,596\text{ mm}$

ξ – poměr pevnosti v soudržnosti mezi soudržnou předpínací výztuž

a žebírkovou výztuží v betonu (pro dodat. předpjatou výztuž, beton = 0,5)

V nosné konstrukci se nachází dodatečně předpjaté kabely v nosnících a dodatečně předpjaté kabely ve spřažené desce. Posouzení bude provedeno v podélném směru po 1,0 bm. Budou vybrány buď kabely v nosnících nebo kabely ve spřažené desce dle větší vzdálenosti od neutrálné osy. Kabely, které mají větší vzdálenost od neutrálné osy jsou vystaveny většímu rozkmitu napětí $\Delta\sigma_{s,eq}$ (N*).

Tab. 83: Hodnoty součinitele η

x	A_{p,1}	počet	A_p	ϕ_p	ϕ_s	A_{s,1}	počet	A_s	ξ	η
[m]	[mm ²]	[ks]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[ks]	[mm ²]	[-]	[-]
0,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
1,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
2,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
3,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
4,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
5,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
6,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
7,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
8,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
9,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
10,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
11,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
12,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
13,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
13,5	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
14,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
15,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
16,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
17,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
18,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
19,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
20,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
21,0	150,00	12	1 800,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,276
22,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
23,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
24,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
25,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
26,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307
27,0	150,00	15	2 250,00	19,60	16,00	201,06	6	1 206,372	0,500	1,307

Pro betonářskou nebo předpínací ocel a spojky může být předpokládána dostatečná únavová odolnost, pokud je splněn vztah:

$$\gamma_{F,fat} * \Delta\sigma_{S,Equ}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}}$$

$\gamma_{F,fat}$ – součinitel únavového zatížení (= 1,0)

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ – rozkmit napětí při N^* cyklech z příslušné $S - N$ křivky

$\Delta\sigma_{S,Equ}(N^*)$ – poškozující ekvivalentní rozkmit napětí pro různé druhy výztuže
a pro uvažovaný počet zatěžovacích cyklů N^*

$\gamma_{S,fat}$ – součinitel materiálu pro posouzení únavy betonářské a předpínací výztuže
uvažovaný hodnotou $\gamma_{S,fat} = 1,15$

Pro mosty pozemních komunikací se $\Delta\sigma_{S,Equ}$ stanoví dle přílohy NN2 ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady.

Pro stanovení ekvivalentního poškozujícího rozkmitu napětí se použije modifikovaný model na únavu FLM 3. Pro výpočet napětí při ověření únavové únosnosti oceli se nápravové síly modelu na únavu FLM 3 násobí hodnotami:

1,75 pro posouzení u mezilehlých podpor spojitých mostů

1,40 pro posouzení v jiných oblastech

Poškozující ekvivalentní rozkmit napětí pro ověření oceli se stanoví ze vztahu:

$$\Delta\sigma_{S,Equ}(N^*) = \Delta\sigma_{S,Ec} * \lambda_s = \Delta\sigma_{S,Ec} * \varphi_{fat} * \lambda_{s,1} * \lambda_{s,2} * \lambda_{s,3} * \lambda_{s,4}$$

$\Delta\sigma_{S,Ec}$ – rozkmit napětí vyvolaný modelem zatížení FLM 3 se zvětšenými nápravovými silami

λ_s – součinitel ekvivalentního poškození únavou zahrnující místní podmínky stavby

φ_{fat} – dynamický součinitel dle přílohy B ČSN EN 1991 – 2 závislý na drsnosti vozovky uvažovaný pro povrchy s dobrou kvalitou hodnotou $\varphi_{fat} = 1,2$

$\lambda_{s,1}$ – součinitel druhu konstrukčního prvku a rozhodující délky příčinkové čáry podle obrázků NN.1 a NN.2 v ČSN EN 1992 – 2
– pro prosté nosníky má hodnotu $\lambda_{s,1} = 1,18$

$\lambda_{s,2}$ – součinitel intenzity dopravy (= 1,0)

$\lambda_{s,3}$ – součinitel návrhové životnosti (= 1,0)

$\lambda_{s,4}$ – součinitel vyjadřující vliv současného zatížení ve více pruzích (= 1,0)

8.4.3.1 Rozkmit napětí v předpínací výztuži

1. Max kladné účinky zatížení

Tab. 84: Hodnoty poškozujícího ekvivalentního napětí $\Delta\sigma_{s,Equ}$ od max. kladných účinků zatížení

x	e_p	$\Delta\sigma_{p,FLM3}$	k	$\Delta\sigma_{s,EC}$	$\lambda_{s,1}$	$\lambda_{s,2}$	$\lambda_{s,3}$	$\lambda_{s,4}$	φ_{fat}		$\Delta\sigma_{s,EQU}$
[m]	[mm]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]
0,0	362,00	0,10	1,40	0,14	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,282
1,0	362,00	0,27	1,40	0,38	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,758
2,0	327,00	0,50	1,40	0,70	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,380
3,0	293,00	0,76	1,40	1,06	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	2,098
4,0	264,00	1,05	1,40	1,47	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	2,917
5,0	238,00	1,38	1,40	1,93	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	3,821
6,0	316,00	2,54	1,40	3,55	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	7,040
7,0	359,00	4,04	1,40	5,66	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	11,213
8,0	394,00	5,78	1,40	8,09	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	16,041
9,0	419,00	7,39	1,40	10,34	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	20,500
10,0	434,00	8,39	1,40	11,74	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	23,280
11,0	440,00	9,07	1,40	12,69	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	25,163
12,0	450,00	9,64	1,40	13,49	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	26,750
13,0	452,00	9,82	1,40	13,75	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	27,265
13,5	452,00	9,81	1,40	13,73	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	27,219
14,0	452,00	9,82	1,40	13,75	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	27,265
15,0	450,00	9,64	1,40	13,49	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	26,750
16,0	440,00	9,07	1,40	12,69	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	25,163
17,0	434,00	8,39	1,40	11,74	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	23,280
18,0	419,00	7,39	1,40	10,34	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	20,500
19,0	394,00	5,78	1,40	8,09	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	16,041
20,0	359,00	4,04	1,40	5,66	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	11,213
21,0	316,00	2,54	1,40	3,55	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	7,040
22,0	238,00	1,38	1,40	1,93	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	3,821
23,0	264,00	1,05	1,40	1,47	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	2,917
24,0	293,00	0,76	1,40	1,06	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	2,098
25,0	327,00	0,50	1,40	0,70	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,380
26,0	362,00	0,27	1,40	0,38	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,758
27,0	362,00	0,10	1,40	0,14	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,282

2. Max záporné účinky zatížení

Tab. 85: Hodnoty poškozujícího ekvivalentního napětí $\Delta\sigma_{S,Equ}$ od max. záporných účinků zatížení

x	e _p	$\Delta\sigma_{p,FLM3}$	k	$\Delta\sigma_{s,EC}$	$\lambda_{s,1}$	$\lambda_{s,2}$	$\lambda_{s,3}$	$\lambda_{s,4}$	φ_{fat}		$\Delta\sigma_{s,EQU}$
[m]	[mm]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]
0,0	89,00	-1,29	1,40	-1,81	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	3,583
1,0	35,00	-0,43	1,40	-0,61	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,200
2,0	50,00	-0,62	1,40	-0,87	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,734
3,0	129,00	-1,62	1,40	-2,27	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	4,499
4,0	199,00	-2,44	1,40	-3,41	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	6,766
5,0	261,00	-3,00	1,40	-4,19	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	8,315
6,0	316,00	-3,23	1,40	-4,52	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	8,951
7,0	359,00	-3,00	1,40	-4,21	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	8,338
8,0	394,00	-2,38	1,40	-3,34	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	6,612
9,0	419,00	-1,55	1,40	-2,18	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	4,315
10,0	434,00	-0,76	1,40	-1,06	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	2,101
11,0	440,00	-0,36	1,40	-0,51	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,009
12,0	450,00	-0,09	1,40	-0,12	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,244
13,0	452,00	0,00	1,40	0,00	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,000
13,5	452,00	0,00	1,40	0,00	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,000
14,0	452,00	0,00	1,40	0,00	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,000
15,0	450,00	-0,09	1,40	-0,12	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	0,244
16,0	440,00	-0,36	1,40	-0,51	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,009
17,0	434,00	-0,76	1,40	-1,06	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	2,101
18,0	419,00	-1,55	1,40	-2,18	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	4,315
19,0	394,00	-2,38	1,40	-3,34	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	6,612
20,0	359,00	-3,00	1,40	-4,21	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	8,338
21,0	316,00	-3,23	1,40	-4,52	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	8,951
22,0	261,00	-3,00	1,40	-4,19	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	8,315
23,0	199,00	-2,44	1,40	-3,41	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	6,766
24,0	129,00	-1,62	1,40	-2,27	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	4,499
25,0	50,00	-0,62	1,40	-0,87	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,734
26,0	35,00	-0,43	1,40	-0,61	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	1,200
27,0	89,00	-1,29	1,40	-1,81	1,18	1,00	1,00	1,00	1,20	1,400	3,583

POSOUZENÍ

1. Max kladné účinky zatížení

$$\gamma_{F,fat} * \Delta\sigma_{S,Equ}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{S,fat}}$$

$$1,0 * 27,265 \leq \frac{150,0}{1,15}$$

$$27,265 \leq 130,435 [MPa] \rightarrow \text{vyhovuje}$$

2. Max záporné účinky zatížení

$$\gamma_{F,fat} * \Delta\sigma_{S,Equ}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{S,fat}}$$

$$8,951 \leq \frac{150,0}{1,15}$$

$$8,951 \leq 130,435 [MPa] \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9 Seznam literatury

9.1 Normy, předpisy, vzorové listy, skripta

1. ČSN 73 6200 Mostní názvosloví
2. ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů
3. ČSN EN 206-1 Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
4. ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
5. ČSN EN 1990 změna A1, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
6. ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
7. ČSN EN 1991-1-5, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
8. ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
9. ČSN EN 1991-2, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou
10. ČSN EN 1992-2, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Navrhování a konstrukční zásady
11. VZOROVÉ LISTY staveb pozemních komunikací, VL 4 – MOSTY, Ministerstvo dopravy ČR odbor pozemních komunikací
12. TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací – všeobecná část, katalog, návrhová metoda, 1. prosince 2004
13. ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
14. Technická specifikace VSL SYSTÉMY (CZ) s.r.o., Předpínací systémy VSL 0,5“, 0,6“
15. **Ing. Marek Foglar Ph.D. a kolektiv, 2012**, skriptum Betonové konstrukce 3, Navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu
16. **Ing. Roman Šafář Ph.D. a kolektiv, 2010**, skriptum Betonové mosty 2, Návrh předpjatého mostu podle Eurokódů
17. **Doc. Ing. Vladislav Hrdoušek CSc. a kolektiv, 2005**, skriptum Betonové mosty 2

9.2 Seznam obrázků

Obr. 1: Příčný řez uprostřed rozpětí	4
Obr. 2: Příčný řez nad podporou	5
Obr. 3: Statické schéma nosné konstrukce	5
Obr. 4: Rozdělení vozovky na jednotlivé dopravní pruhy a zbývající plochu	8
Obr. 5: Umístění nápravových sil do nejneprůzračnější polohy	8
Obr. 6: Umístění rovnoměrného zatížení od dopravy do jednotlivých zatěžovacích pruhů podle polohy nápravových sil	9
Obr. 7: Geometrické uspořádání modelu na únavu 3	10
Obr. 8: 3D model nosné konstrukce - pohled AXO	13
Obr. 9: 3D model nosné konstrukce – pohled v ose X	14
Obr. 10: 3D model nosné konstrukce – pohled v ose Y	14
Obr. 11: 3D model nosné konstrukce – pohled v ose Z	14
Obr. 12: Modelování kyvných prutů v programu Scia engineer 2009	17
Obr. 13: 2D model nosné konstrukce - pohled AXO	19
Obr. 14: 2D model nosné konstrukce – pohled v ose X	20
Obr. 15: 2D model nosné konstrukce – pohled v ose Y	20
Obr. 16: 2D model nosné konstrukce – pohled v ose Z	21
Obr. 17: Zatížení 2D modelu vlastní tíhou prefabrikovaných nosníků	22
Obr. 18: Zatížení 2D modelu vlastní tíhou spřažené desky	22
Obr. 19: Zatížení 2D modelu vozovkou	23
Obr. 20: Zatížení 2D modelu římsami	23
Obr. 21: Zatížení 2D modelu zábradlím	24
Obr. 22: Zatížení 2D modelu nerovnoměrným oteplením	25
Obr. 23: Zatížení 2D modelu nerovnoměrným ochlazením	25
Obr. 24: Ohybové momentu na 2D modelu od vlastní tíhy prefabrikovaných nosníků	26
Obr. 25: Ohybové momentu na 2D modelu od vlastní tíhy spřažené desky	26
Obr. 26: Ohybové momentu na 2D modelu od vozovky	27
Obr. 27: Ohybové momentu na 2D modelu od říms	27
Obr. 28: Ohybové momentu na 2D modelu od zábradlí	28
Obr. 29: Ohybové momentu na 2D modelu od nápravových zatížení TS MAX	28
Obr. 30: Ohybové momentu na 2D modelu od nápravových zatížení TS MIN	29
Obr. 31: Ohybové momentu na 2D modelu od rovnoměrného zatížení UDL MAX	29

Obr. 32: Ohybové momentu na 2D modelu od rovnoměrného zatížení UDL MIN.....	30
Obr. 33: Ohybové momentu na 2D modelu od nerovnoměrného oteplení	30
Obr. 34: Ohybové momentu na 2D modelu od nerovnoměrného ochlazení	30
Obr. 35: Fázovaný průřez nosníku se spřaženou deskou – podporový průřez.....	35
Obr. 36: 1. Fáze výstavby – betonáž pilot, čas 0. den	36
Obr. 37: 2. Fáze výstavby – betonáž opěry, čas 15. den	36
Obr. 38: 3. Fáze výstavby – osazení nosníků, čas 20. den	37
Obr. 39: 3. Fáze výstavby – detail umístění montážních podpor	37
Obr. 40: 4. Fáze výstavby – betonáž spřažené desky, čas 23. den	38
Obr. 41: 5. Fáze výstavby – odpaření vody, čas 25. den.....	38
Obr. 42: 6. Fáze výstavby – 2. fáze průřezu, čas 40. den	39
Obr. 43: 7. Fáze výstavby – betonáž příčnicku, čas 45. den	39
Obr. 44: 8. Fáze výstavby – odpaření vody, čas 45. den.....	40
Obr. 45: 9. Fáze výstavby – ods kružení, čas 62. den	40
Obr. 46: 10. Fáze výstavby – předepnutí desky, čas 65. den.....	41
Obr. 47: 11. Fáze výstavby – betonáž říms, čas 70. den	41
Obr. 48: 12. Fáze výstavby – vozovka, čas 80. den	42
Obr. 49: 13. Fáze výstavby – montáž zábradlí, čas 85. den	42
Obr. 50: 14. Fáze výstavby – uvedení do provozu, čas 100. den	43
Obr. 51: 15. Fáze výstavby – konec životnosti, čas 36 500. den.....	43
Obr. 52: Ohybové momenty ve 3. fázi výstavby.....	44
Obr. 53: Normálové síly ve 3. fázi výstavby.....	44
Obr. 54: Ohybové momenty ve 4. fázi výstavby.....	45
Obr. 55: Normálové síly ve 4. fázi výstavby.....	45
Obr. 56: Ohybové momenty v 6. fázi výstavby.....	46
Obr. 57: Normálové síly v 6. fázi výstavby.....	46
Obr. 58: Ohybové momenty v 10. fázi výstavby.....	47
Obr. 59: Normálové síly v 10. fázi výstavby.....	47
Obr. 60: Ohybové momenty ve 14. fázi výstavby.....	48
Obr. 61: Normálové síly ve 14. fázi výstavby.....	48
Obr. 62: Ohybové momenty v 15. fázi výstavby.....	49
Obr. 63: Normálové síly v 15. fázi výstavby.....	49
Obr. 64: Graf průběhu napínání.....	62
Obr. 65: Průběh vedení dodatečně předpjatých kabelů	62

Obr. 66: Umístění předem předpjatých lan ve středním nosníkovém dílu v průřezu uprostřed rozpětí.....	62
Obr. 67: Výsledná napětí MSP ve fázi osazení nosníků.....	63
Obr. 68: Výsledná napětí MSP ve fázi betonáž desky	64
Obr. 69: Výsledná napětí MSP ve fázi předepnutí nosníků	65
Obr. 70: Výsledná napětí MSP ve fázi předepnutí desky.....	66
Obr. 71: Výsledná napětí MSP ve fázi uvedení do provozu od max. kladných účinků zatížení	67
Obr. 72: Výsledná napětí MSP ve fázi uvedení do provozu od max. záporných účinků zatížení	68
Obr. 73: Výsledná napětí MSP ve fázi konec životnosti od max. kladných účinků zatížení	69
Obr. 74: Výsledná napětí MSP ve fázi konec životnosti od max. záporných účinků zatížení	70
Obr. 75: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi osazení nosníků	74
Obr. 76: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi osazení nosníků	75
Obr. 77: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi betonáž desky.....	77
Obr. 78: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi betonáž desky	78
Obr. 79: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi předepnutí nosníků.....	80
Obr. 80: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi předepnutí nosníků	81
Obr. 81: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi předepnutí desky	83
Obr. 82: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi předepnutí desky	84
Obr. 83: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi uvedení do provozu MAX.....	86
Obr. 84: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi předepnutí uvedení do provozu MAX.....	87
Obr. 85: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi uvedení do provozu MIN	89
Obr. 86: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi uvedení do provozu MIN	90
Obr. 87: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi konec životnosti MAX.....	92
Obr. 88: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi konec životnosti MAX	93
Obr. 89: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve fázi konec životnosti MIN.....	95
Obr. 90: Hodnoty smykových napětí v rovině xz ve fázi konec životnosti MIN.....	96
Obr. 91: 3D model příčnicku - pohled AXO.....	98
Obr. 92: 3D model příčnicku – pohled v ose X	98
Obr. 93: 3D model příčnicku – pohled v ose Y	99

Obr. 94: 3D model příčnicku – pohled v ose Z.....	99
Obr. 95: Průběh napětí na příčnicku.....	100
Obr. 96: Geometrie průřezu piloty vč. polohy výztužných prutů v průřezu	104
Obr. 97: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro krátkodobé účinky	105
Obr. 98: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro dlouhodobé účinky	105
Obr. 99: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro krátkodobé účinky	106
Obr. 100: Průběh napětí a poměrného přetvoření v průřezu pro dlouhodobé účinky	106
Obr. 101: Pracovní diagram betonu v tlaku, betonářské výztuže B500B v tahu a předpínací výztuže v tahu.....	115
Obr. 102: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP,KZ.....	116
Obr. 103: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP,KZ.....	122
Obr. 104: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP,KZ.....	128
Obr. 105: Schéma působení zatížení pro ověření smykové únosnosti mezi stěnou a přilehlými deskou průřezu tvaru T – převzato z ČSN EN 1992-2	140
Obr. 106: Průběh podélných smykových napětí v_{Ed} po délce nosné konstrukce	142
Obr. 107: Průběh podélných smykových napětí v_{Ed} po délce nosné konstrukce	144
Obr. 108: Průběh smykových napětí ve styčné spáře v_{Ed} po délce nosné konstrukce.....	148
Obr. 109: Průběh smykových napětí ve styčné spáře v_{Ed} po délce nosné konstrukce.....	150

9.3 Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnoty zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce.....	6
Tab. 2: Hodnoty zatížení ostatního stálého zatížení	6
Tab. 3: Hodnoty součinitele α pro nápravové síly/rovnoměrné zatížení pro jednotlivé pruhy	7
Tab. 4: Hodnoty nápravových sil a rovnoměrného zatížení pro jednotlivé pruhy	7
Tab. 5: Výsledné roznosy ze 3D modelu na jednotlivé nosníky uprostřed pole	15
Tab. 6: Výsledné roznosy ze 3D modelu na jednotlivé nosníky nad podporou	16
Tab. 7: Jednotlivé zeminy a horniny a jejich parametry.....	17
Tab. 8: Parametry kyvných prutů	19
Tab. 9: Hodnoty zatížení 2D modelu od vlastní tíhy nosné konstrukce.....	21
Tab. 10: Hodnoty zatížení 2D modelu od modelu LM1.....	24
Tab. 11: Hodnoty zatížení 2D od chodců	24
Tab. 12: Hodnoty ohybových momentů z 2D modelu – část I.....	31
Tab. 13: Hodnoty ohybových momentů z 2D modelu – část II	32
Tab. 14: Hodnoty posouvajících sil z 2D modelu – část I.....	33
Tab. 15: Hodnoty posouvajících sil z 2D modelu – část II	34
Tab. 16: Geometrie průřezů ve fázi Osazení nosníků	52
Tab. 17: Geometrie průřezů ve fázi Betonáž desky.....	53
Tab. 18: Geometrie průřezů ve fázi Předepnutí nosníků	54
Tab. 19: Geometrie průřezů ve fázi Předepnutí desky	55
Tab. 20: Geometrie průřezů ve fázi Uvedení do provozu	56
Tab. 21: Geometrie průřezů ve fázi Konec životnosti.....	57
Tab. 22: Hodnoty kombinačních součinitelů pro mosty pozemních komunikací	58
Tab. 23: Hodnoty součinitelů spolehlivosti.....	58
Tab. 24: Hodnoty ohybových momentů od proměnného zatížení v charakteristické kombinaci – část I	59
Tab. 25: Hodnoty ohybových momentů od proměnného zatížení v charakteristické kombinaci – část I	60
Tab. 26: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze osazení nosníků. 73	
Tab. 27: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze betonáž desky ... 76	
Tab. 28: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze předepnutí nosníků	79

Tab. 29: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze předepnutí desky	82
Tab. 30: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fázi uvedení do provozu MAX.....	85
Tab. 31: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze uvedení do provozu MIN	88
Tab. 32: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze konec životnosti MAX.....	91
Tab. 33: Hodnoty hlavních napětí v betonu ve vybraných bodech - fáze konec životnosti MIN	94
Tab. 34: Max. vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin – převzato z normy ČSN EN 1992-1-1.....	101
Tab. 35: Hodnoty potřebných ploch výztuže na příčniku	101
Tab. 36: Hodnoty navržených ploch výztuže na příčniku	102
Tab. 37: Hodnoty kombinačních součinitelů pro mosty pozemních komunikací	103
Tab. 38: Hodnoty součinitelů spolehlivosti.....	103
Tab. 39: Hodnoty ohybových momentů a normálových sil v hlavě piloty od stálého zatížení a pro charakteristickou kombinaci zatížení	103
Tab. 40: Hodnoty součinitelů zatížení γ a redukčního součinitele ξ	108
Tab. 41: Hodnoty kombinačních součinitelů pro mosty pozemních komunikací	109
Tab. 42: Hodnoty max. kladných hodnot ohybových momentů při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b	110
Tab. 43: Hodnoty max. záporných hodnot ohybových momentů při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b	111
Tab. 44: Hodnoty max. kladných hodnot posouvajících sil při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b.....	112
Tab. 45: Hodnoty max. záporných hodnot posouvajících sil při kombinacích zatížení 6.10a a 6.10b	113
Tab. 46: Charakteristiky použitých materiálů	115
Tab. 47: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ.....	116
Tab. 48: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započítáním ztrát	117
Tab. 49: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí UP, KZ	117
Tab. 50: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti uprostřed rozpětí při uvedení do provozu	118
Tab. 51: Posouzení MSÚ uprostřed rozpětí při uvedení do provozu	119

Tab. 52: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti uprostřed rozpětí na konci životnosti	120
Tab. 53: Posouzení MSÚ uprostřed rozpětí na konci životnosti	121
Tab. 54: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ.....	122
Tab. 55: Napětí v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí.....	122
Tab. 56: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí UP, KZ	123
Tab. 57: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti ve spáře mezi nosníky při uvedení do provozu.....	124
Tab. 58: Posouzení MSÚ ve spáře mezi nosníky při uvedení do provozu.....	125
Tab. 59: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti ve spáře mezi nosníky na konci životnosti	126
Tab. 60: Posouzení MSÚ ve spáře mezi nosníky na konci životnosti.....	127
Tab. 61: Počáteční přetvoření průřezu od stálého zatížení a předpětí UP, KZ.....	128
Tab. 62: Napětí v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí.....	128
Tab. 63: Počáteční přetvoření v předpínací výztuži se započtením ztrát předpětí UP, KZ	129
Tab. 64: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti nad podporou při uvedení do provozu	130
Tab. 65: Posouzení MSÚ nad podporou při uvedení do provozu	131
Tab. 66: Hodnoty pro výpočet momentu únosnosti nad podporou na konci životnosti....	132
Tab. 67: Posouzení MSÚ nad podporou na konci životnosti	133
Tab. 68: Hodnoty podélných smykových napětí v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku	141
Tab. 69: Hodnoty podélných smykových napětí v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku	143
Tab. 70: Hodnoty smykových napětí ve styčné ploše v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku	147
Tab. 71: Hodnoty smykových napětí ve styčné ploše v_{Ed} v jednotlivých řezech nosníku	149
Tab. 72: Hodnoty ohybových momentů od zatížení dopravními schémata na únavu FLM1 a FLM 3 – část I.....	152
Tab. 73: Hodnoty ohybových momentů od zatížení dopravními schémata na únavu FLM1 a FLM 3 – část II.....	152
Tab. 74: Hodnoty normálových napětí od zatížení vlastní tíhou + předpětím	153
Tab. 75: Hodnoty normálových napětí od max. kladných účinků zatížení vlastní tíhou + předpětím + FLM 1	154
Tab. 76: Hodnoty normálových napětí od max. záporných účinků zatížení vlastní tíhou + předpětím + FLM 1	155
Tab. 77: Hodnoty normálových napětí od max. kladných účinků zatížení při ověření tlačeného betonu na únavu ve fázi uvedení do provozu.....	157

Tab. 78: Hodnoty normálových napětí od max. kladných účinků zatížení při ověření tlačeného betonu na únavu na konci životnosti.....	158
Tab. 79: Hodnoty normálových napětí od max. záporných účinků zatížení při ověření tlačeného betonu na únavu ve fázi uvedení do provozu.....	159
Tab. 80: Hodnoty normálových napětí od max. záporných účinků zatížení při ověření tlačeného betonu na únavu na konci životnosti.....	160
Tab. 81: Parametry S-N křivky pro betonářskou ocel – převzato z ČSN EN 1992-1-1....	161
Tab. 82: Parametry S-N křivky pro předpínací ocel – převzato z ČSN EN 1992-1-1	161
Tab. 83: Hodnoty součinitele η	163
Tab. 84: Hodnoty poškozujícího ekvivalentního napětí $\Delta\sigma_{S,Equ}$ od max. kladných účinků zatížení	165
Tab. 85: Hodnoty poškozujícího ekvivalentního napětí $\Delta\sigma_{S,Equ}$ od max. záporných účinků zatížení	166