

OBJEDNATEL



POVODÍ MORAVY, s. p.

Dřevařská 11, 601 75, Brno

ZÁVOD HORNÍ MORAVA

U Dětského domova 263, 772 11, Olomouc

ZHOTOVITEL



DOPRAVOPROJEKT BRNO a.s.

Kounicova 271/13, 602 00 BRNO

SDRUŽENÍ DPB + VALBEK

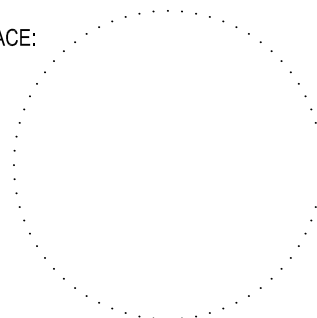
VALBEK, spol. s r.o.

Děčínská 717/21, 400 03 Ústí n. L.




AUTORIZACE:

D.1.4



DSP 2016

ŘEDITEL ATELIÉRU	ING. VLADIMÍR NAVRÁTIL	 Děčínská 717/21, 400 03 Ústí n. L.	
HLAVNÍ INŽENÝR PROJEKTU	ING. PETR HUSÁK		
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT	ING. RADEK NAVRÁTIL		
VYPRACOVAL	ING. RADEK NAVRÁTIL		
KONTROLOVAL	ING. JAROMÍR DRAŠAR		
NÁZEV AKCE		DATUM	07/2016
BEČVA, HRANICE - PPO MĚSTA BEČVA, JEZ HRANICE - ZKAPACITNĚNÍ JEZU A RYBÍ PŘECHOD		FORMÁT	-
		MĚŘÍTKO	-
		Č. ZAKÁZKY	14-041-A1-DSP
		ÚČEL	DSP
		NÁZEV ČÁSTI	STATICKÝ VÝPOČET VLIV TEPLoty PO ROZŠÍŘENÍ JEZU

**Valbek, spol. s r.o.,
středisko Ústí nad Labem
Děčínská 717/21
400 03 Ústí nad Labem**

**Bečva, jez Hranice - zkapacitnění jezu
a rybí přechod
Dokumentace pro stavební povolení**

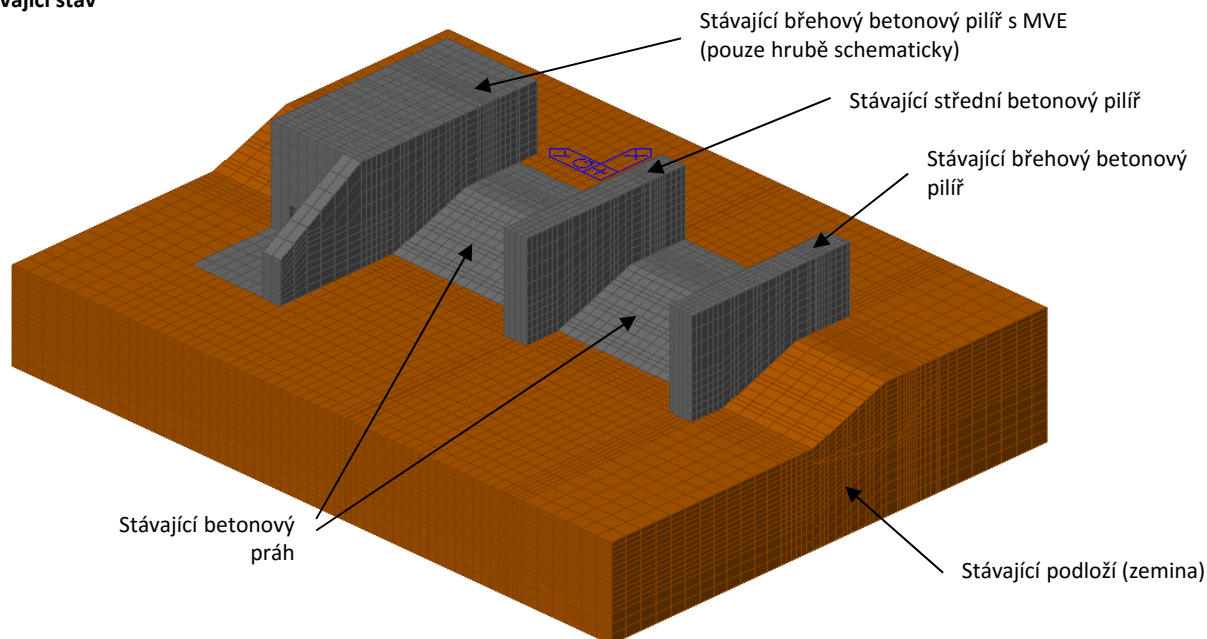


OBSAH

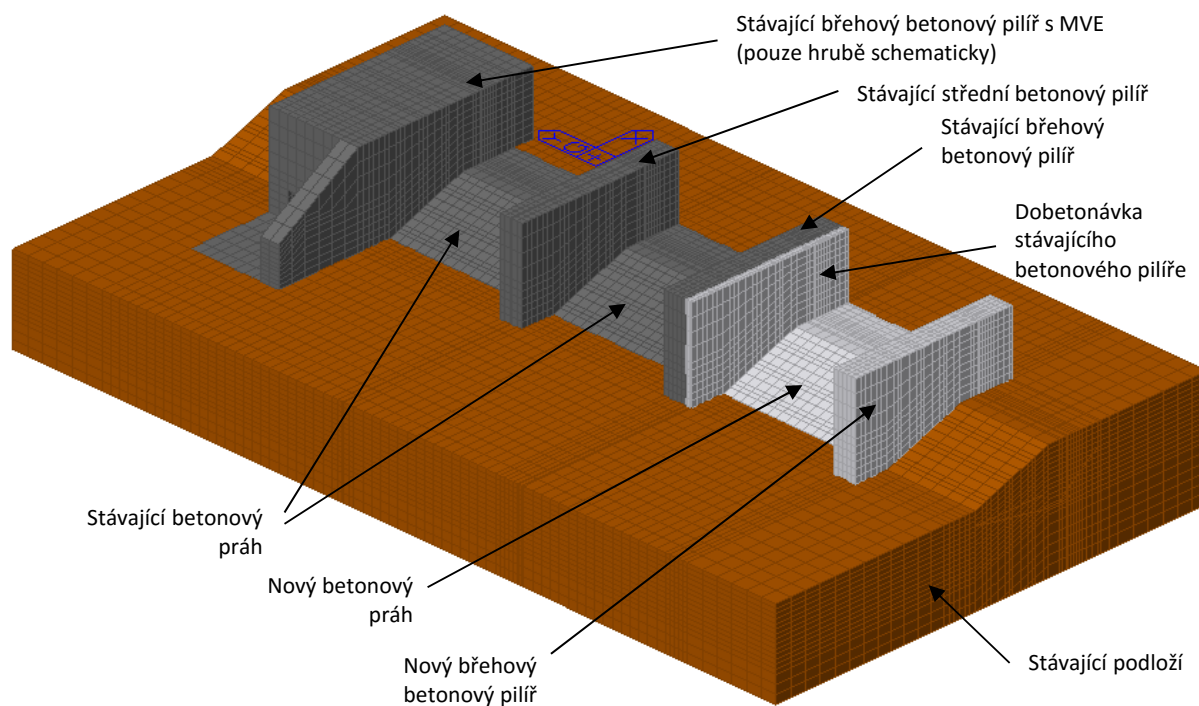
1. Výpočetní model	3
2. Materiálové vlastnosti.....	4
3. Okrajové podmínky podloží a na rubu břehových pilířů.....	5
4. Teplota půdy a betonu v různé hloubce	5
5. Zatížení teplotou	9
6. Vyhodnocení napětí	11
7. Posouzení spáry nové konstrukce "práh-pilíř"	16
8. Závěr.....	19

1. VÝPOČETNÍ MODEL

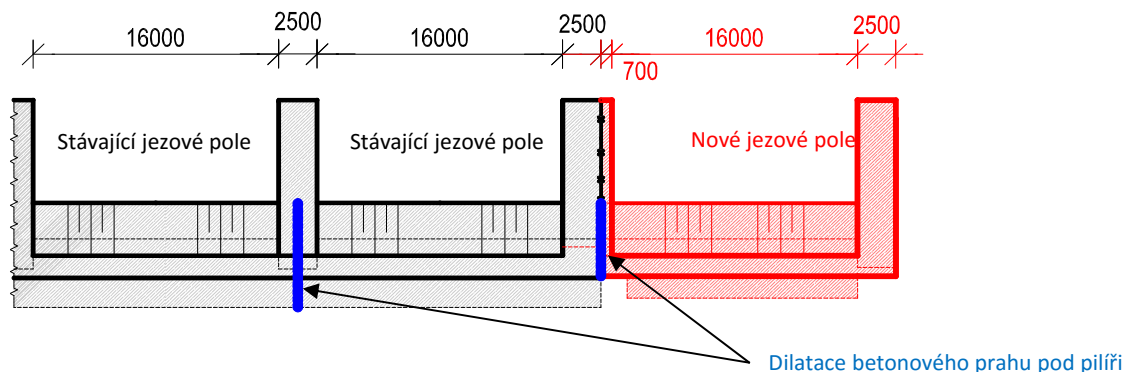
Stávající stav



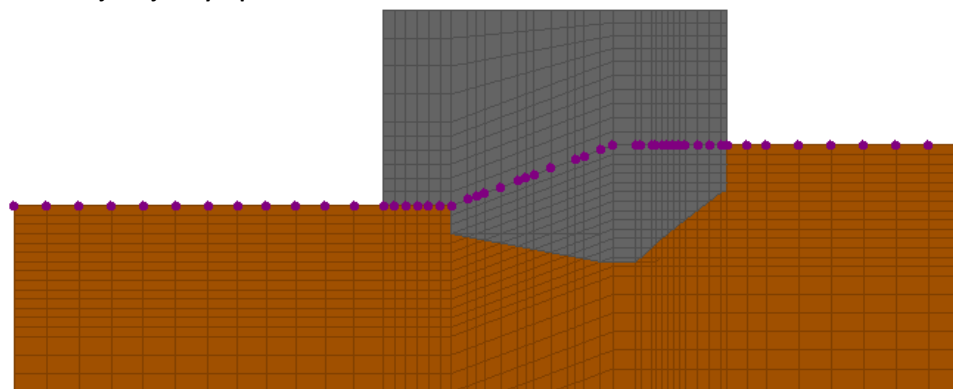
Nový stav po rozšíření na tři pole



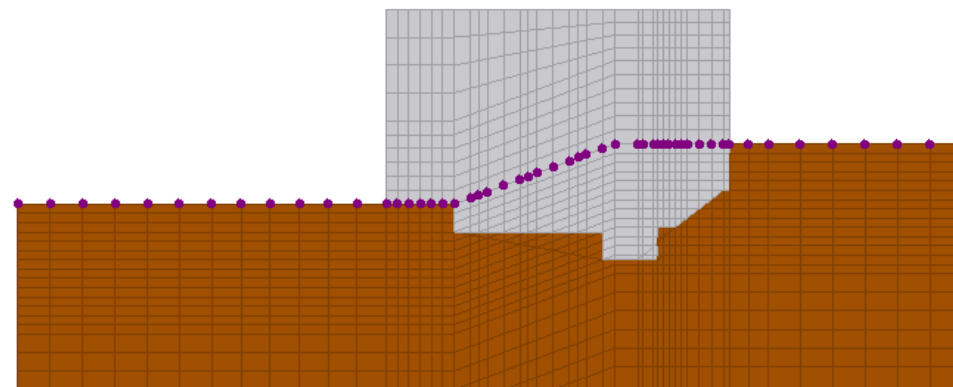
Schema délek jezových polí



Řez stávajícím jezovým polem



Řez novým jezovým polem



2. Materiálové vlastnosti

	Concrete OLD	Concrete NEW	Soil CLAY
pevnost v tlaku	$f_c = 25$	30	- MPa
modul pružnosti	$E(t) = 31000$	32000	12000 MPa
koefficient teplotní roztažnosti	$\alpha = 1.0E-05$	1.0E-05	6.0E-06 1/°C
Poissonovo číslo	$\nu = 0.20$	0.20	0.35
objemová hmotnost	$\rho = 25$	25	19.7 kN/m ³

3. Okrajové podmínky podloží a na rubu břehových pilířů

Vertikální tuhost základové spáry

deformační modul zeminy

poissonův součinitel

smykový modul zeminy

vertikální tuhost na 1m^2

linear spring (compress only)

 $E_s = 12000 \text{ kN/m}^2$ $\nu = 0.35$ $G = E_s / (2 \cdot (1 - \nu)) = 9230.8 \text{ kN/m}^2$ $K_{\text{mid}} = 0.73 \cdot G / (1 - \nu) = 10366.9 \text{ kN/m}^2$ **POZN: Modelováno jako ve svislém směru dokonale tuhé podepření.**

Horizontální tuhost základové spáry (pro celý blok)

uvažovaná šířka modelovaného bloku

uvažovaná délka modelovaného bloku

linear spring

 $B = 48.7 \text{ m}$ $L = 86.2 \text{ m}$ $K_{y,\text{sur}} = G \cdot B / (2 - \nu) \cdot [3.4 \cdot (L/B)^{0.65} + 1.2] = 1669540.41 \text{ kN/m}^3$ $K_{x,\text{sur}} = G \cdot B / (2 - \nu) \cdot [3.4 \cdot (L/B)^{0.65} + 0.4 \cdot L/B + 0.8] = 1753456.49 \text{ kN/m}^3$ **POZN: Modelováno plošné pružné podepření podepření.**

Horizontální tuhost zásypu pilíře (v hlavě pilíře = 0)

parametr zeminy podle Bowlese

šířka pilíře

výška pilíře

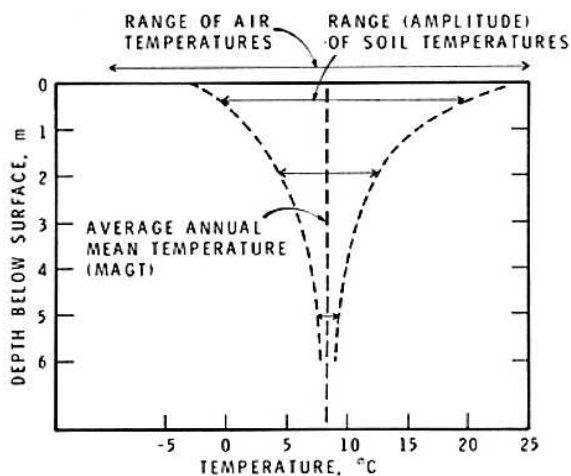
horizontální tuhost v patě pilíře

linear spring (compress only)

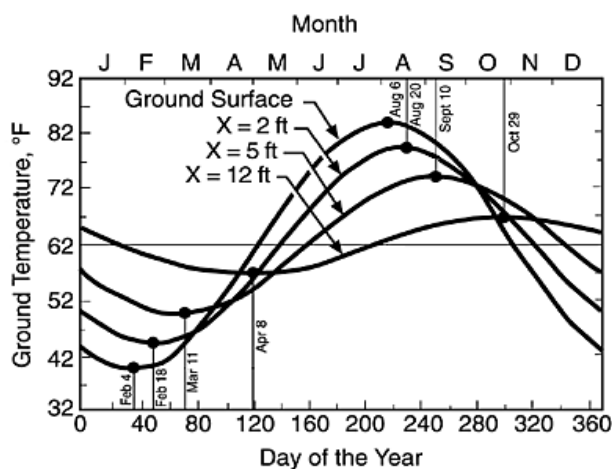
 $k_{\text{bow}} = 150000 \text{ kN/m}^3$ $d = 17.7 \text{ m}$ $l = 12 \text{ m}$ $K_n = k \cdot (0.308 + 1.584 \cdot d/l) \cdot z / (d \cdot l) = 22410.2 \text{ kN/m}^3$ **POZN: Uvažováno v maximální hodnotě, působí při kladné teplotě - pasivní zemní tlak.**

4. Teplota půdy a betonu v různé hloubce

Teoretické schéma změny teploty dle hloubky



Teoretické schéma změny teploty dle hloubky v čase



Průměrné hodnoty vybraných meteorologických prvků, Olomouc a okolí

Stanice	Období	Prvek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
OL	1946–2009	Tv_avg (°C)	-2,2	-0,4	3,6	9,2	14,3	17,4	19,0	18,4	14,3	9,0	3,9	-0,2	8,9
OL05	1961–1990	Tv_avg_min (°C)	0,2	3,0	8,2	14,3	19,6	22,5	24,2	19,9	19,9	14,1	6,5	1,9	13,2
OL05	1961–1990	Tv_avg_max (°C)	-5,5	-3,6	-0,5	3,2	7,7	10,8	12,2	11,8	8,8	4,6	0,8	-2,8	4,0
OL05	1961–1990	Tp_avg (°C)	-0,4	0,3	3,0	-	-	-	-	-	-	-	4,9	1,1	-
DDHL	2008	Tp_avg (°C)	-	-	-	-	13,9	19,5	20,3	19,8	15,1	10,8	7,9	3,2	-

SO 01.3 – Jezové těleso

		Zemina	Beton
čas při minimální teplotě	$t =$	30	30 dnů
hloubka	$z =$	viz. tabulka	viz. tabulka m
časové zpoždění	přelom ledna a února	$t_0 =$	30 dnů
průměrná teplota povrchu	průměrná roční teplota venkovního vzduchu	$T_a =$	8.2 °C
nejnižší průměrná teplota venkovního vzduchu		$T_{\min, \text{prům}} =$	-5.5 °C
nejvyšší průměrná teplota venkovního vzduchu		$T_{\max, \text{prům}} =$	24.2 °C
roční (střední) amplituda teploty povrchu	$A_0 = (T_{\max, \text{prům}} - T_{\min, \text{prům}})/2 =$	14.85	14.85 °C
hustota	$\rho =$	1970	2500 kg/m ³
měrná tepelná kapacita	$c =$	920	900 J/kg*°C
objemová tepelná kapacita	$\rho * c =$	1812400	2250000 J/m ³ *°C
rychlost vedení tepla	$k = 0.04 * e^{0.0017 * \rho} =$	1.139	2.804 W/m*°C
tepelná vodivost	$D_h = k/(\rho * c) =$	6.28E-07	1.25E-06 m ² /s
	$=$	0.054	0.108 m ² /den
frekvence kolísání teplot	$\omega = 2 * \pi / 365 =$	0.017	0.017 1/den
penetrační hloubka	$d = \sqrt{(2 * D_h / \omega)} =$	2.512	3.537 m
teplota v čase (t) a hloubce (z)	$T(t, z) = T_a + A_0 * e^{-z/d} * \sin[2 * \pi * (t - t_0) / 365 - z / d - \pi / 2] =$	viz. tabulka	viz. tabulka °C
teplotav čase (t) a hloubce (z = 0 m)	$T(t, z=0) = T_a + A_0 * \sin[2 * \pi * (t - t_0) / 365 - \pi / 2] =$	-6.7	-6.7 °C

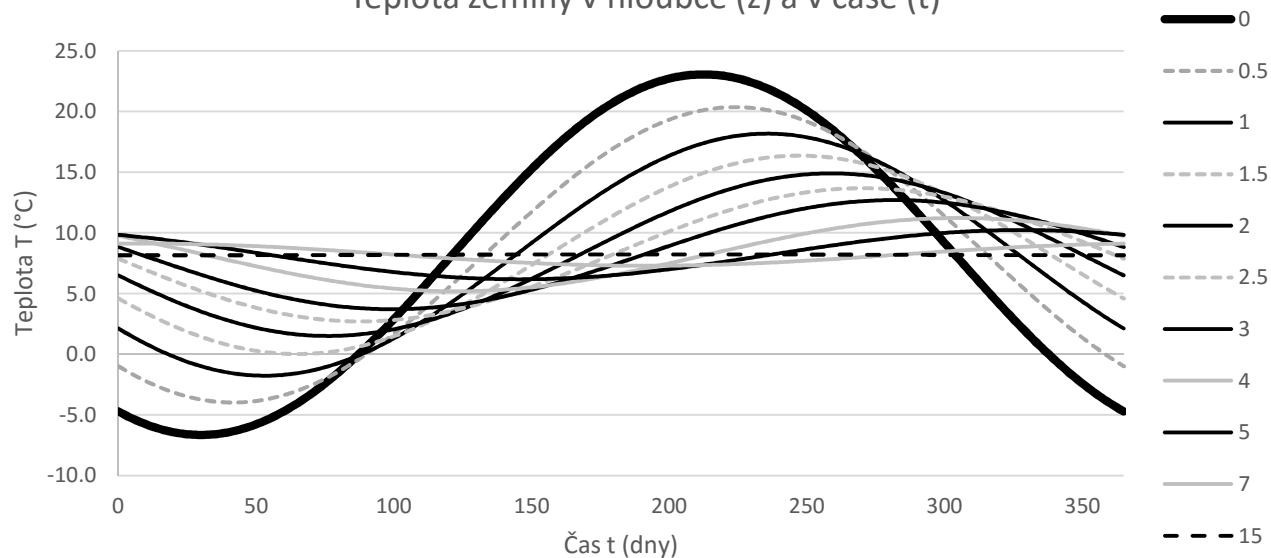
Pro vykreslení grafu zeminy:

z =	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5	7	15
Tmax	23.0	20.4	18.2	16.4	14.9	13.7	12.7	11.2	10.2	9.1	8.2
Tmin	-6.7	-4.0	-1.8	0.0	1.5	2.7	3.7	5.2	6.2	7.3	8.2
ΔTmax	0.0	2.9	5.7	8.1	10.2	11.9	13.2	14.9	15.7	15.7	14.8
Δtmin	0.0	-2.9	-5.7	-8.1	-10.2	-11.9	-13.2	-14.9	-15.7	-15.7	-14.8

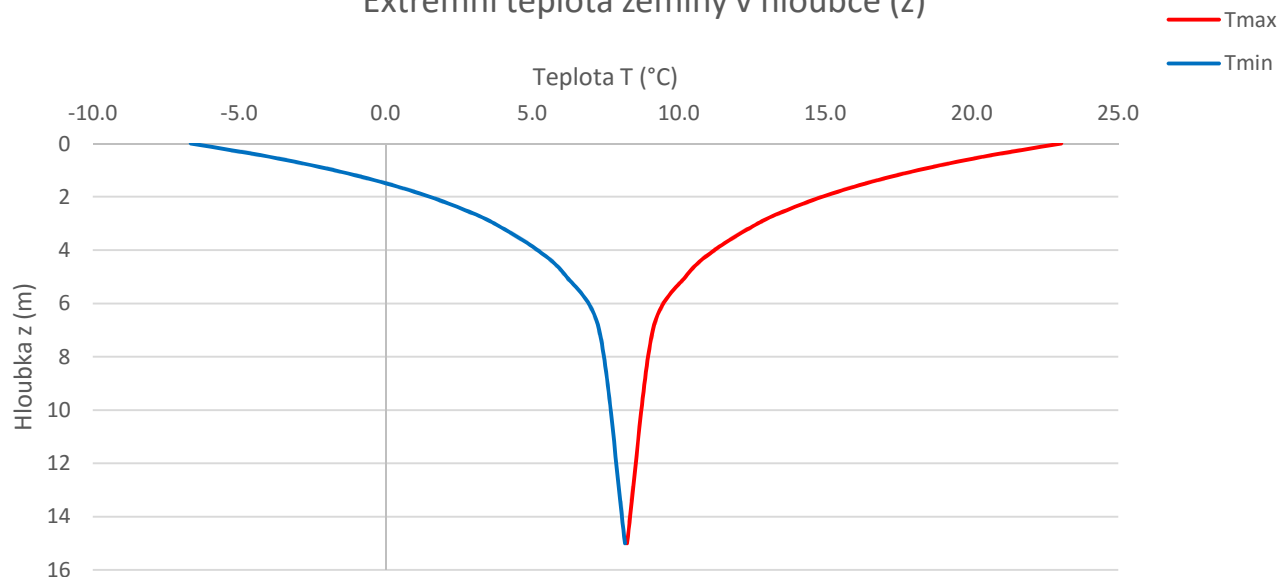
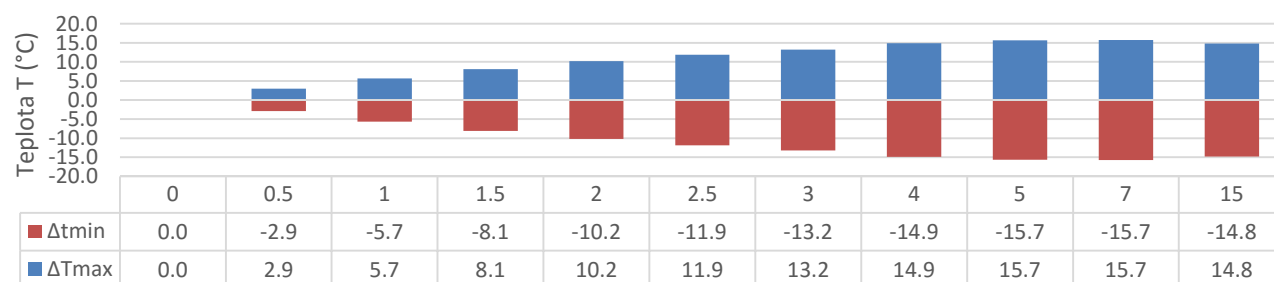
Pro vykreslení grafu betonu:

z =	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5	7	21
Tmax	23.0	21.1	19.4	17.9	16.6	15.5	14.6	13.0	11.8	10.3	8.2
Tmin	-6.7	-4.7	-3.0	-1.5	-0.2	0.9	1.8	3.4	4.6	6.1	8.2
ΔTmax	0.0	2.1	4.1	6.0	7.8	9.3	10.7	12.8	14.3	15.7	14.8
Δtmin	0.0	-2.1	-4.1	-6.0	-7.7	-9.3	-10.6	-12.8	-14.3	-15.7	-14.8

Teplota zeminy v hloubce (z) a v čase (t)

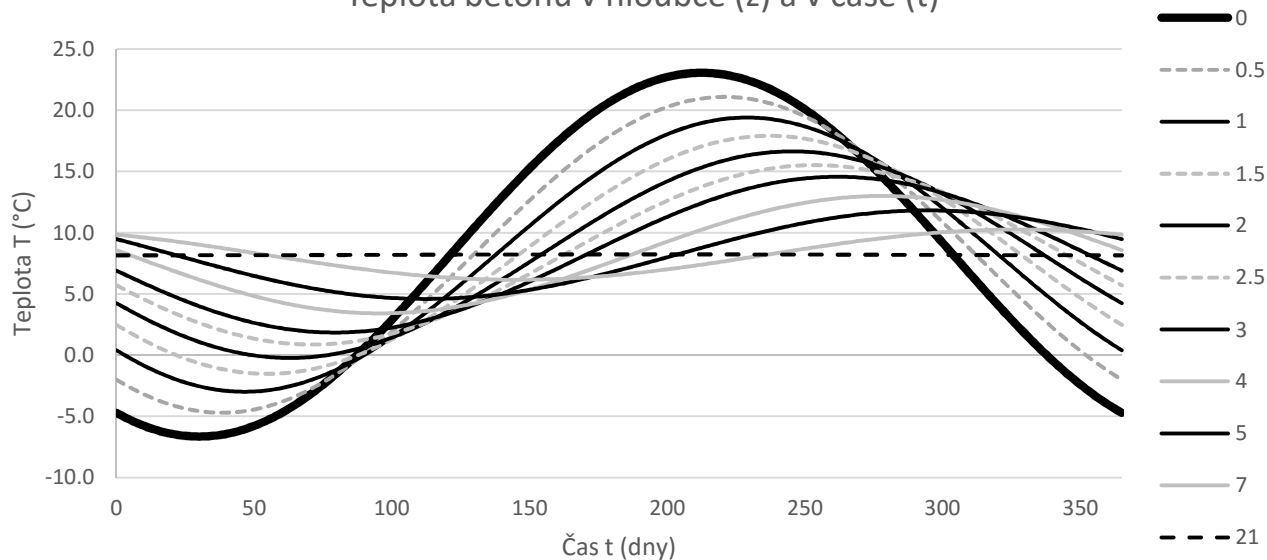


Extrémní teplota zeminy v hloubce (z)

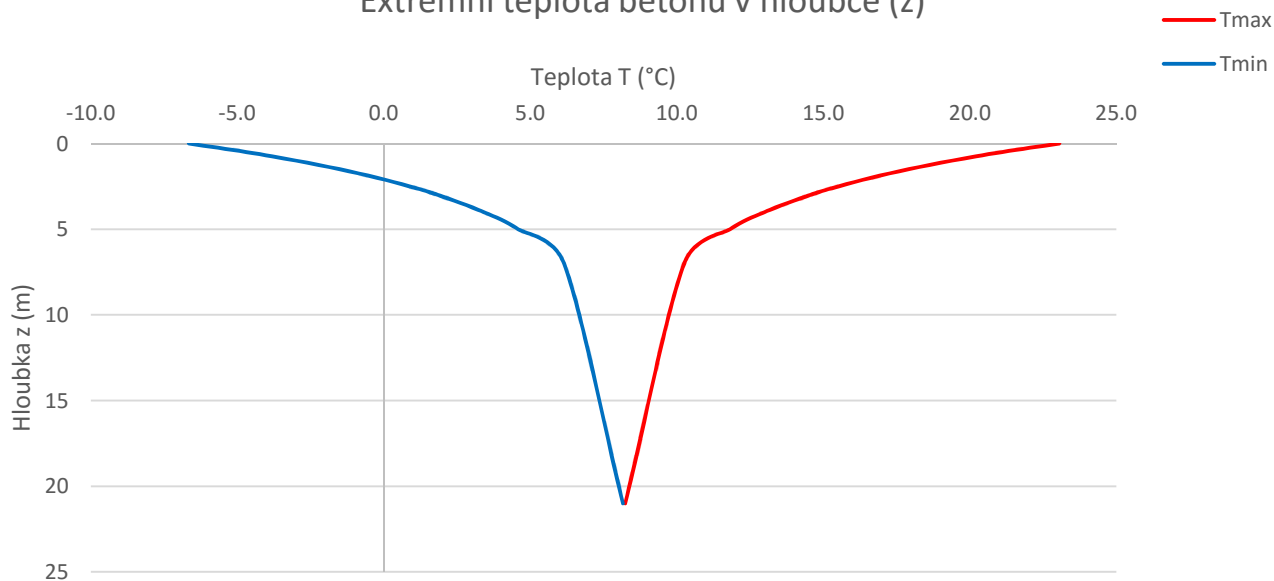
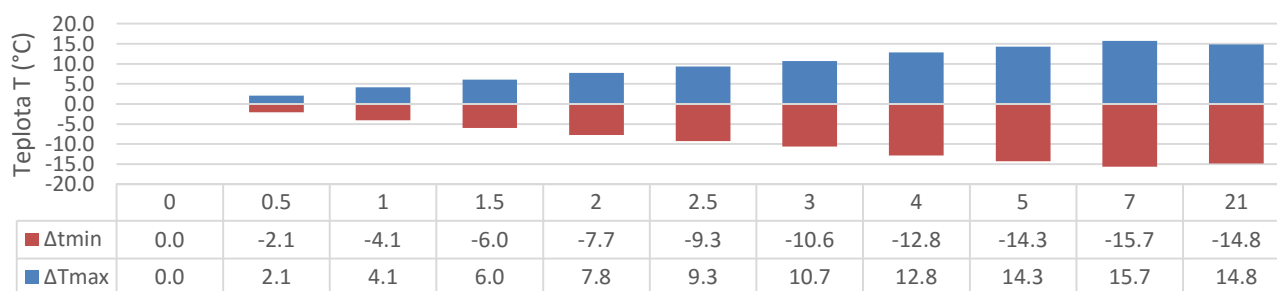
Rozdíl teploty zeminy na povrchu a v hloubce (z)
pro Tmax a Tmin

Tabulka rozdílu teplot dle hloubky z (m)

Teplota betonu v hloubce (z) a v čase (t)



Extrémní teplota betonu v hloubce (z)

Rozdíl teploty betonu na povrchu a v hloubce (z)
pro Tmax a Tmin

Tabulka rozdílu teplot dle hloubky z (m)

5. Zatížení teplotou

Povrchy	hloubka	Zemina	
		T+	T-
1	0	23.0	-6.7
2	0.5	20.1	-3.7
3	1	17.4	-1.0
4	1.5	14.9	1.4
5	2	12.8	3.5
6	2.5	11.1	5.2
7	3	9.8	6.5
8	3.5	8.8	7.5
9	4	8.1	8.3
10	4.5	7.6	8.7
11	5	7.4	9.0
12	5.5	7.2	9.2
13	6	7.2	9.2
14	6.5	7.2	9.2
15	7	7.2	9.2
16	8	7.2	9.2
17	9	7.2	9.2
18	10	7.2	9.2
19	11	7.2	9.2
20	12	7.2	9.2
21	13	7.2	9.2

Povrchy	hloubka	beton	
		T+	T-
1	0	23	-6.7
2	0.5	20.9	-4.6
3	1	18.9	-2.5
4	1.5	17.0	-0.7
5	2	15.2	1.1
6	2.5	13.7	2.6
7	3	12.3	4.0
8	3.5	11.1	5.2
9	4	10.2	6.2
10	4.5	9.3	7.0
11	5	8.7	7.6
12	5.5	8.2	8.2
13	6	7.8	8.5
14	6.5	7.5	8.8
15	7	7.3	9.0
16	8	7.2	9.2
17	9	7.2	9.2
18	10	7.3	9.0
19	11	7.5	8.9
20	12	7.7	8.7
21	13	7.8	8.5

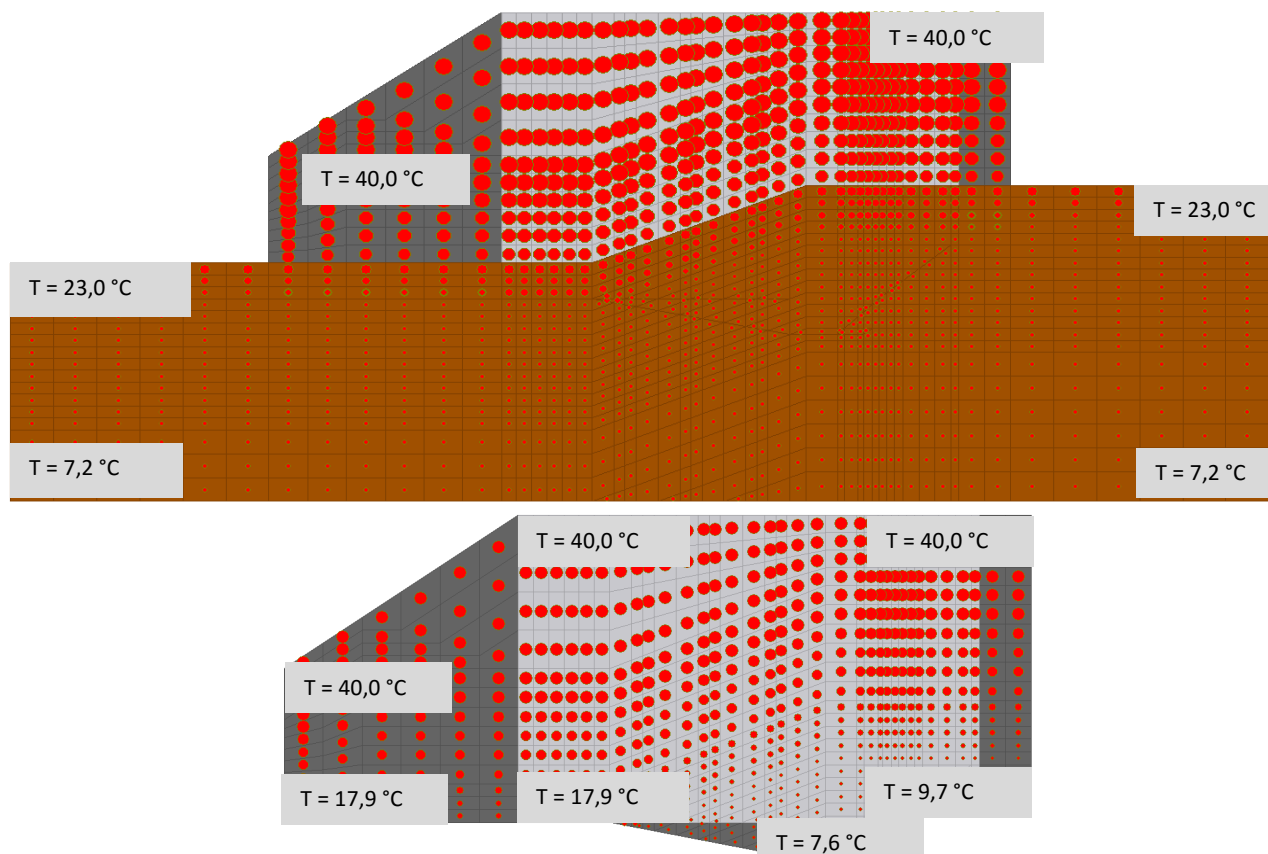
Výchozí (referenční) teplota pro výpočet

 $T_0 = 10.0 \text{ } ^\circ\text{C}$

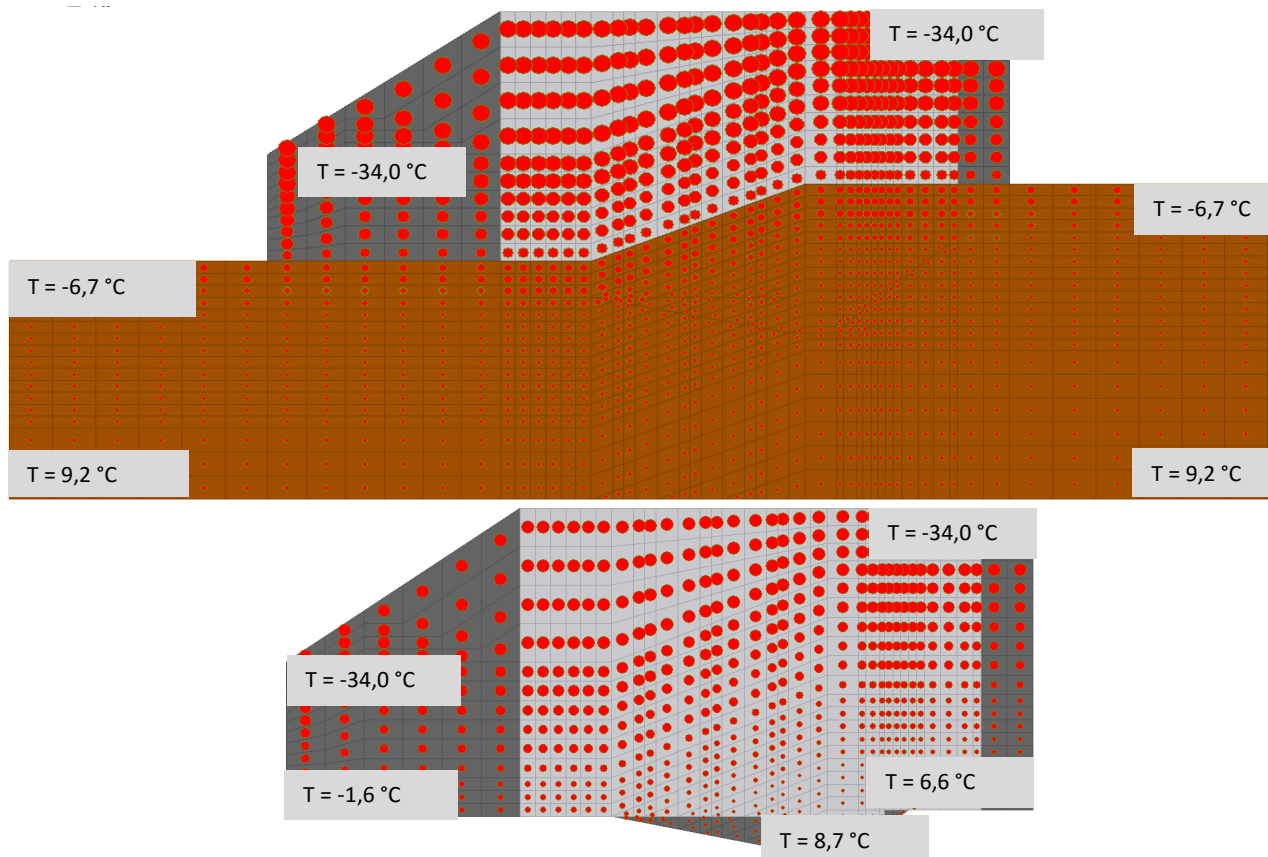
Vrstvička	Zemina			
	T+	T-	(T+)- T_0	(T-)- T_0
P-Z-1	21.6	-5.2	11.6	-15.2
P-Z-2	18.7	-2.4	8.7	-12.4
P-Z-3	16.1	0.2	6.1	-9.8
P-Z-4	13.9	2.5	3.9	-7.5
P-Z-5	12.0	4.4	2.0	-5.6
P-Z-6	10.5	5.9	0.5	-4.1
P-Z-7	9.3	7.0	-0.7	-3.0
P-Z-8	8.5	7.9	-1.5	-2.1
P-Z-9	7.9	8.5	-2.1	-1.5
P-Z-10	7.5	8.9	-2.5	-1.1
P-Z-11	7.3	9.1	-2.7	-0.9
P-Z-12	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-13	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-14	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-15	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-16	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-17	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-18	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-19	7.2	9.2	-2.8	-0.8
P-Z-20	7.2	9.2	-2.8	-0.8

Vrstvička	beton			
	T+	T-	(T+)- T_0	(T-)- T_0
P-B-1	21.9	-5.6	11.9	-15.6
P-B-2	19.9	-3.6	9.9	-13.6
P-B-3	17.9	-1.6	7.9	-11.6
P-B-4	16.1	0.2	6.1	-9.8
P-B-5	14.5	1.9	4.5	-8.1
P-B-6	13.0	3.3	3.0	-6.7
P-B-7	11.7	4.6	1.7	-5.4
P-B-8	10.6	5.7	0.6	-4.3
P-B-9	9.7	6.6	-0.3	-3.4
P-B-10	9.0	7.3	-1.0	-2.7
P-B-11	8.4	7.9	-1.6	-2.1
P-B-12	8.0	8.3	-2.0	-1.7
P-B-13	7.6	8.7	-2.4	-1.3
N-B-1	25.5	-9.2	15.5	-19.2
N-B-2	29.3	-13.0	19.3	-23.0
N-B-3	33.6	-17.3	23.6	-27.3
N-B-4	38.3	-22.0	28.3	-32.0
N-B-5	40.0	-26.9	30.0	-36.9
N-B-6	40.0	-31.8	30.0	-41.8
N-B-7	40.0	-34.0	30.0	-44.0
N-B-8	40.0	-34.0	30.0	-44.0
N-B-9	40.0	-34.0	30.0	-44.0
N-B-10	40.0	-34.0	30.0	-44.0

Schema zatížení kladnou teplotou - letní období:



Schema zatížení zápornou teplotou - zimní období:

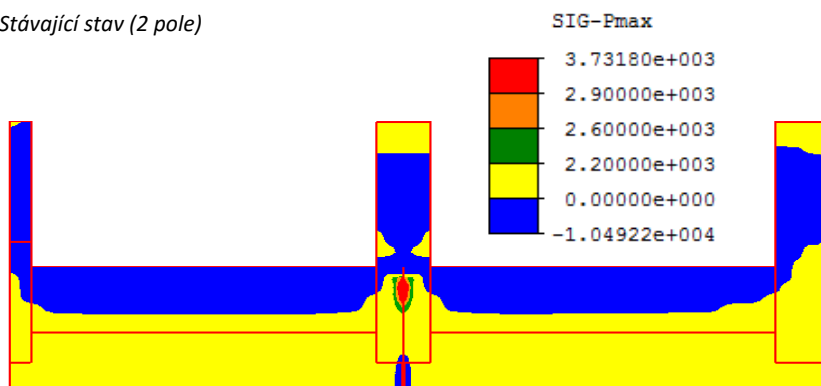


6. Vyhodnocení napětí

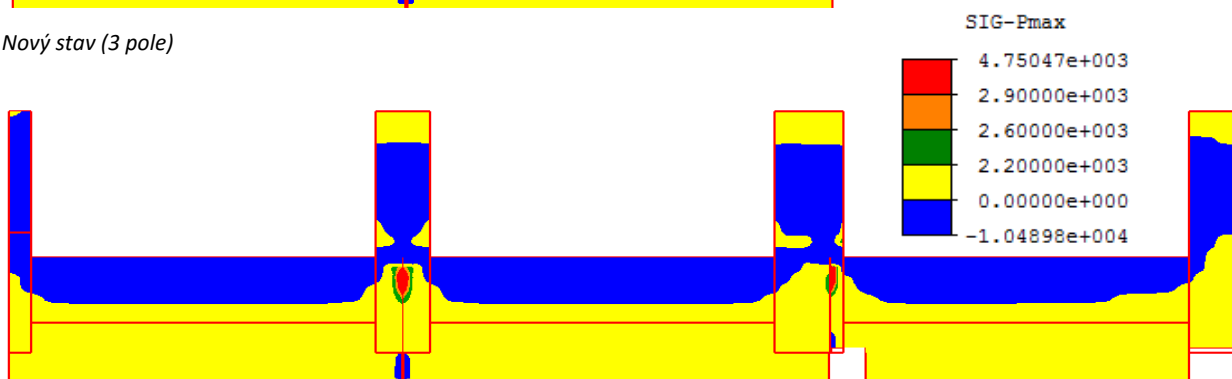
6.1. ŘEZ - Vlastní tíha + kladná teplota (letní období):

Hlavní napětí $\sigma_{p,max}$ (kPa)

Stávající stav (2 pole)



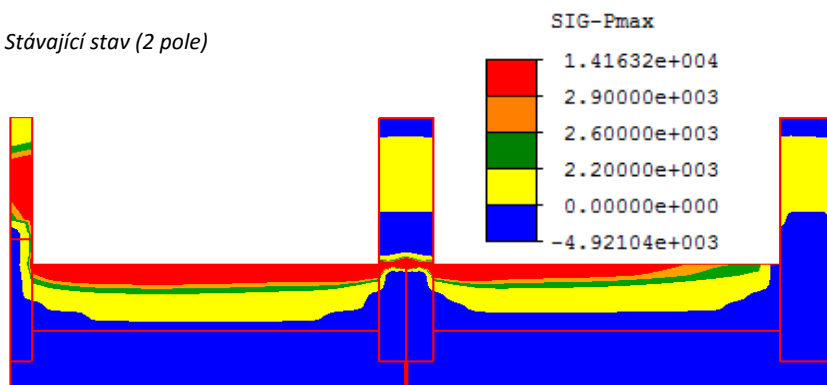
Nový stav (3 pole)



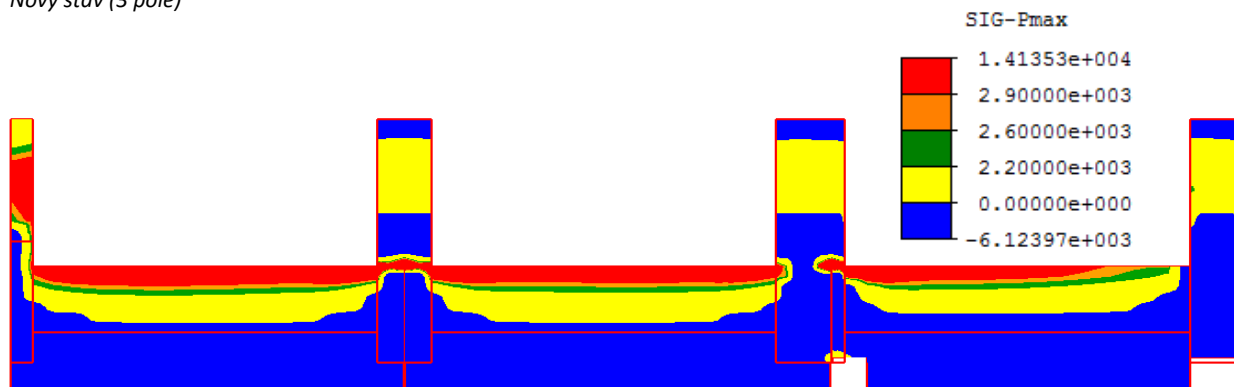
ŘEZ - Vlastní tíha + záporná teplota (zimní období):

Hlavní napětí $\sigma_{p,max}$ (kPa)

Stávající stav (2 pole)



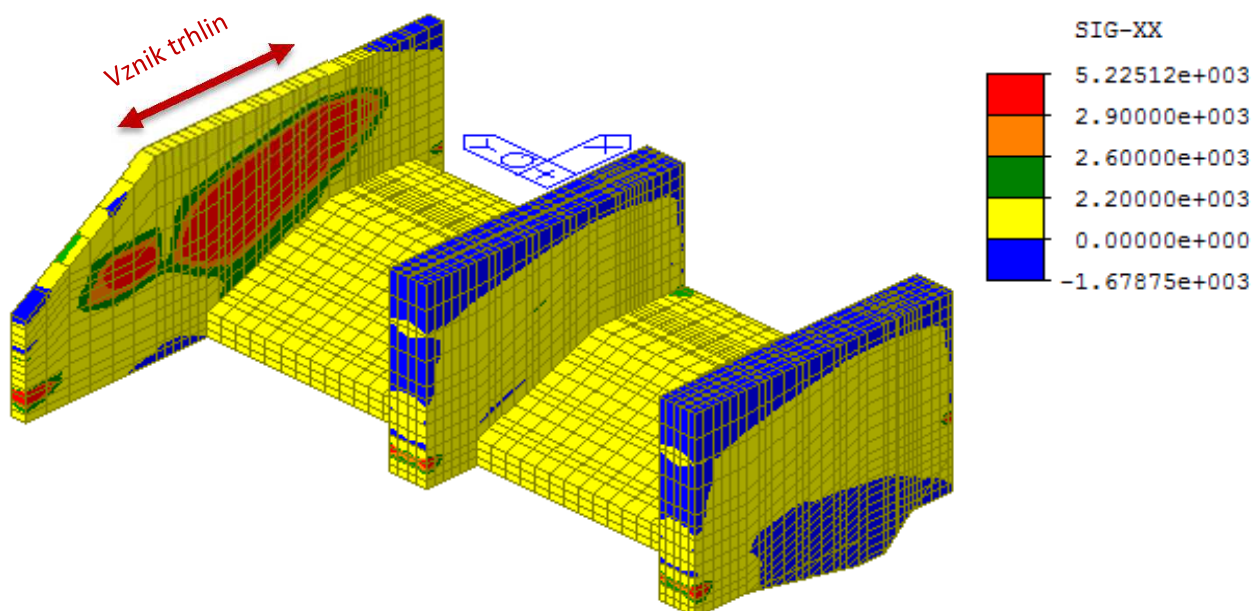
Nový stav (3 pole)



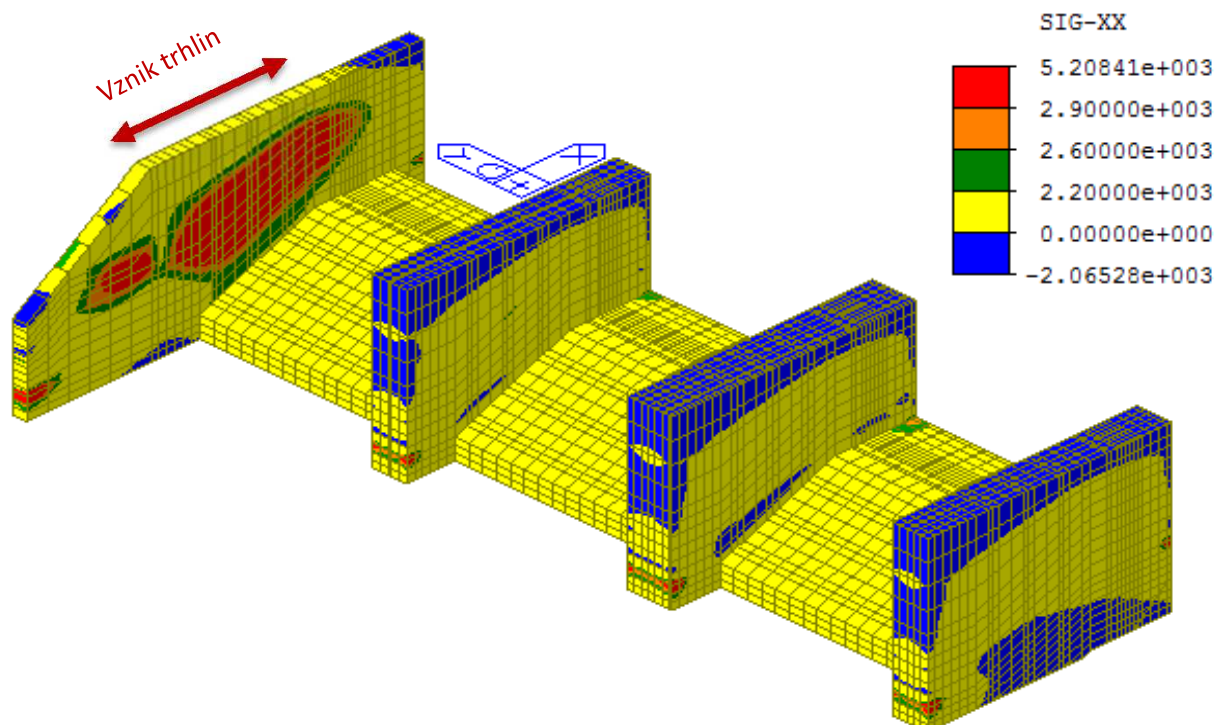
6.2. 3D - Vlastní tíha + záporná teplota (zimní období):

Složka napětí σ_{xx} (kPa)

Stávající stav (2 pole)



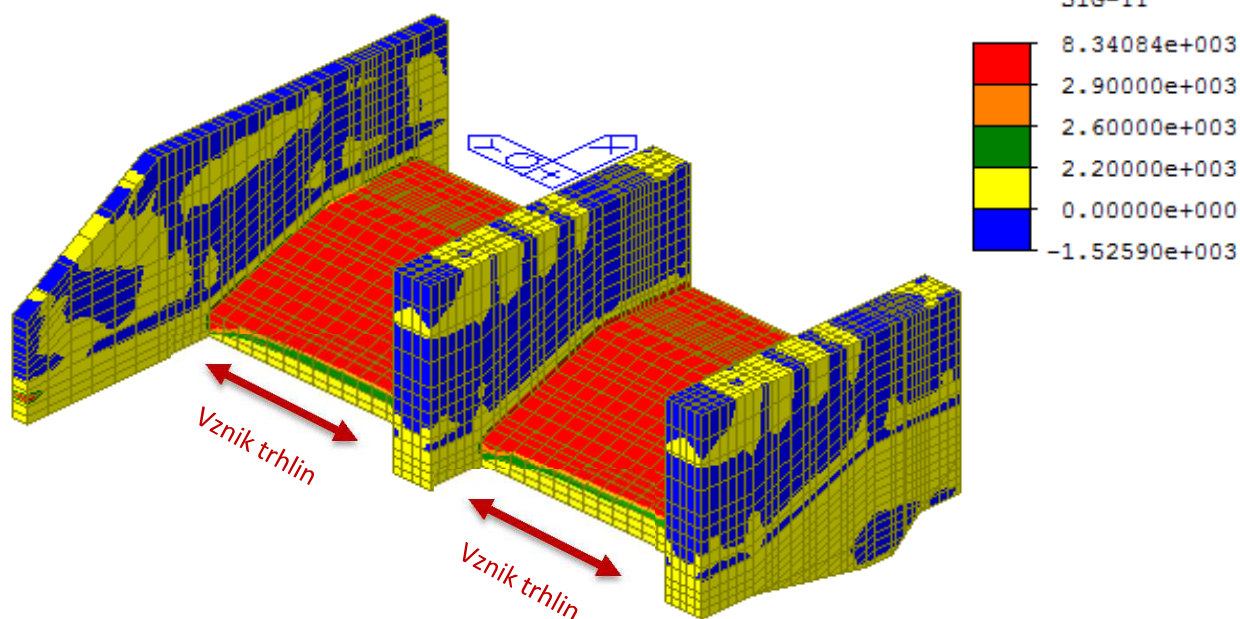
Nový stav (3 pole)



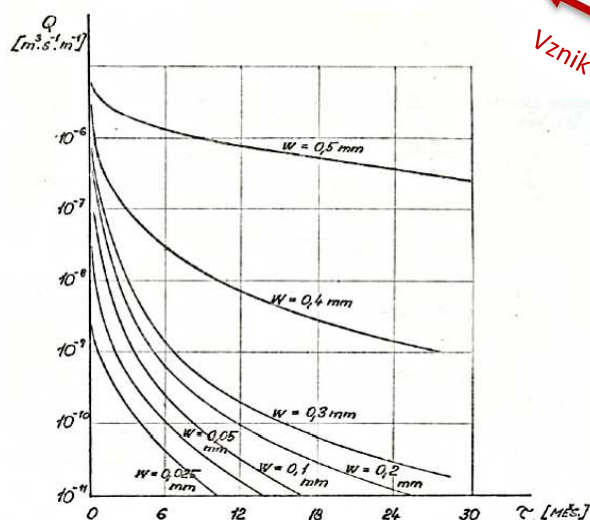
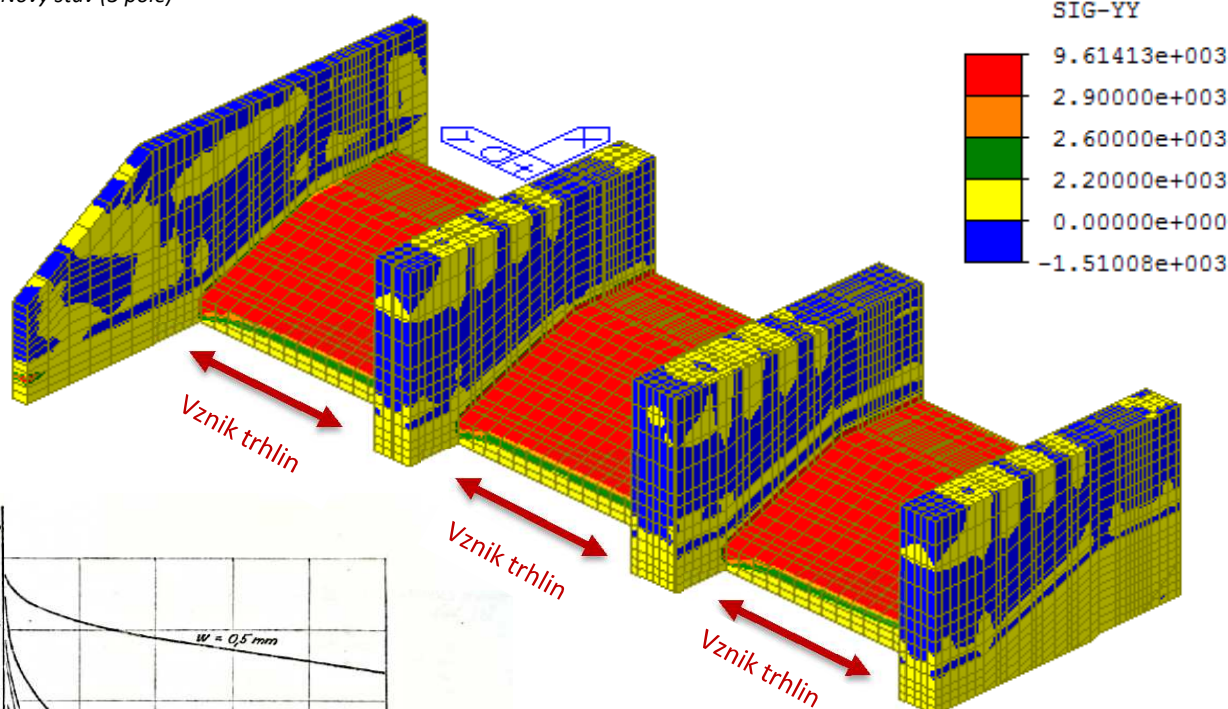
Vznik trhlin na pravém břehovém pilíři je omezen stávající výztuží, pracovními sparami a trhlinami, další rozvoj trhlin po výstavbě třetího pole se nepředpokládá.

Složka napětí σ_{yy} (kPa)

Stávající stav (2 pole)



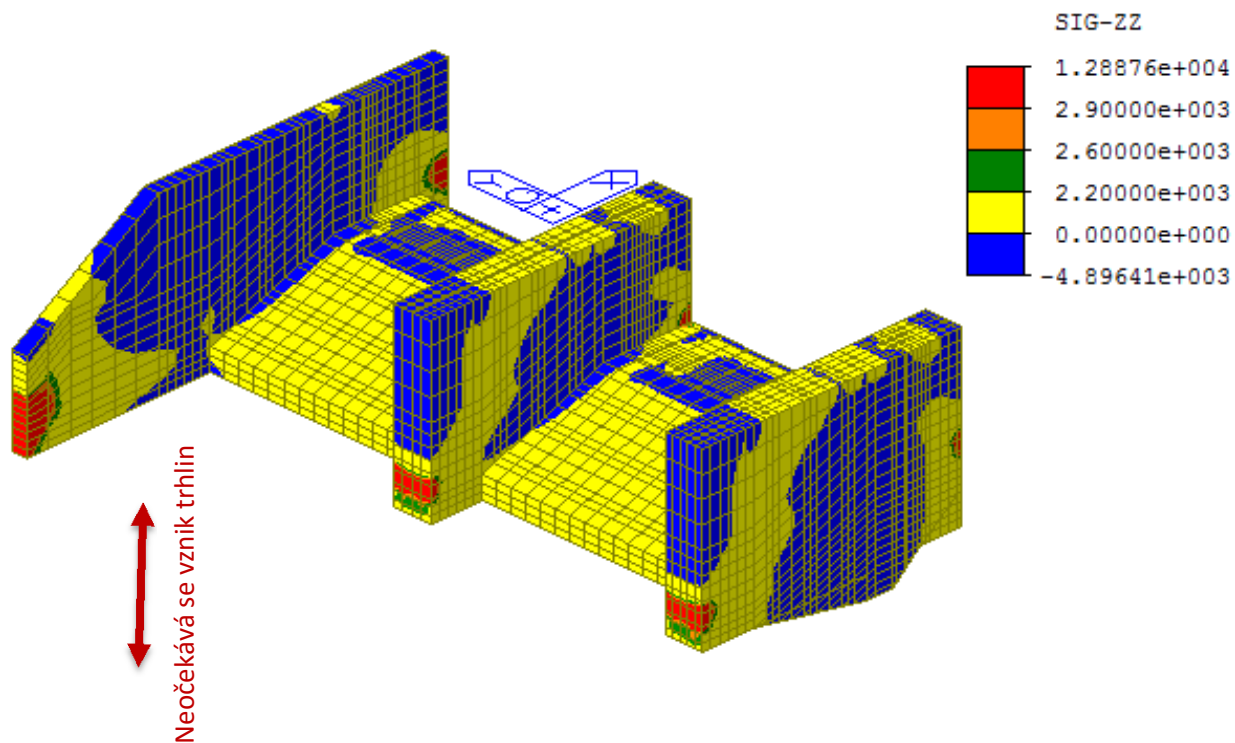
Nový stav (3 pole)



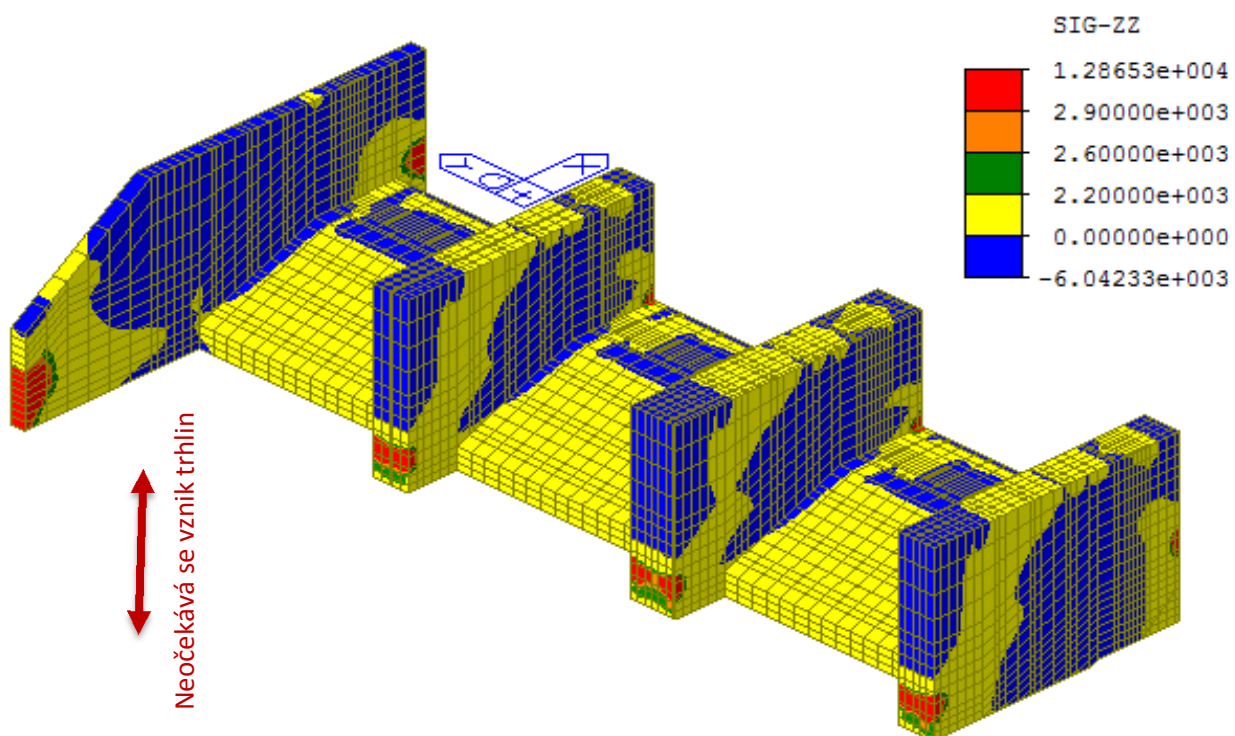
Vznik trhlin v novém betonovém prahu a patě pilíře bude omezen betonářskou výztuží, současně je betonový povrch v místě vzniku trhlin je odlážděn kamennou nepropustnou dlažbou. Při řádném provedení dlažby tedy nedochází k zatékání do trhlin, promrzání a degradaci betonového povrchu. Pokud v místě poruchy dojde k lokálním průsakům do betonové konstrukce, trhliny budou utěsněny kolmatací betonu (samoutěsnění trhlin - vyluhování a dodatečná hydratace vápna v trhlíně). Další rozvoj trhlin ve stávajících betonových konstrukcích se předpokládá v minimálním rozsahu.

Složka napětí σ_{zz} (kPa)

Stávající stav (2 pole)



Nový stav (3 pole)

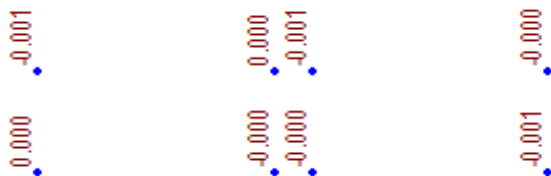


6.3. Vyhodnocení deformací s ohledem na tuhost konstrukce a gradientu zatížení

ŘEZ - Vlastní tíha + kladná teplota (letní období):

deformace pilířů (m)

Stávající stav (2 pole)

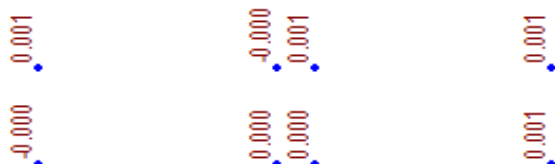


Nový stav (3 pole)

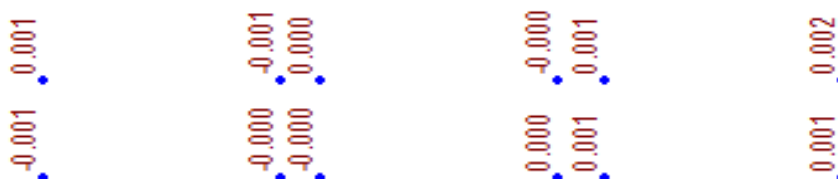
ŘEZ - Vlastní tíha + záporná teplota (zimní období):

deformace pilířů (m)

Stávající stav (2 pole)



Nový stav (3 pole)

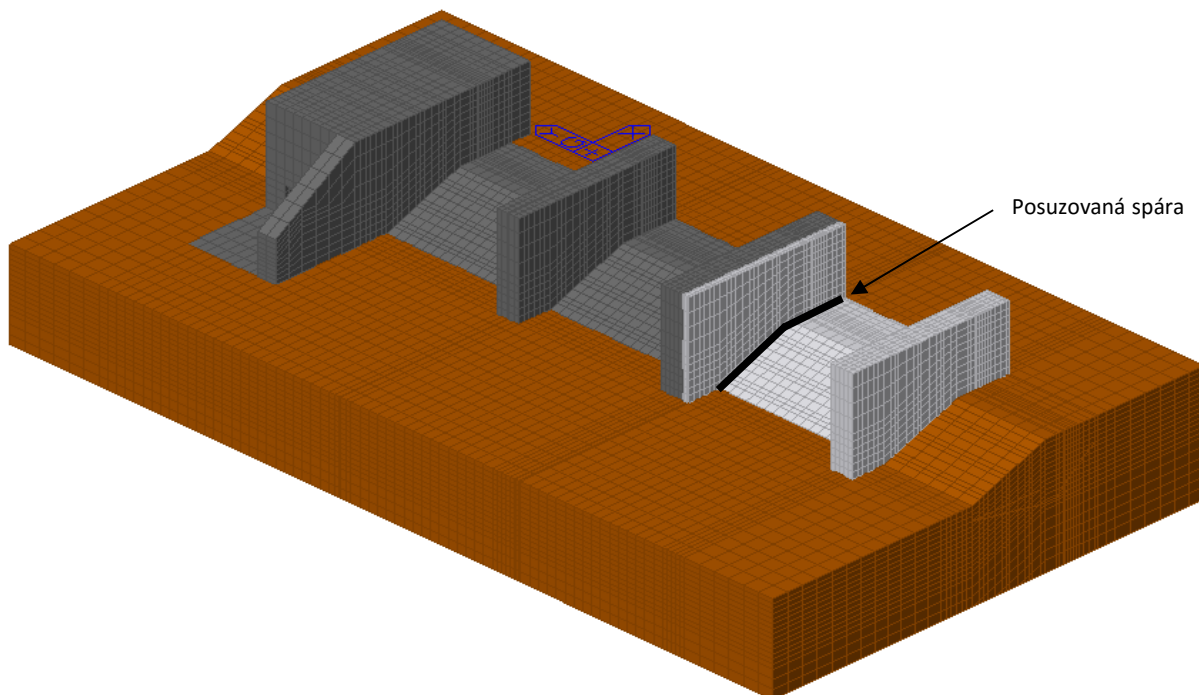


Deformace konstrukce od teploty jsou omezeny minimálním teplotním rozdílem (pohybem) v základové spáře a konstrukce je tak zatížena zejména gradientem teploty, tedy ohybovým namáháním betonových prahů.

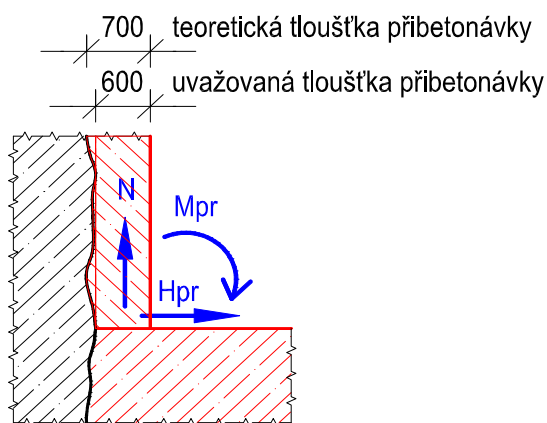
7. Posouzení spáry nové konstrukce "práh-pilíř"

7.1. Geometrie spáry

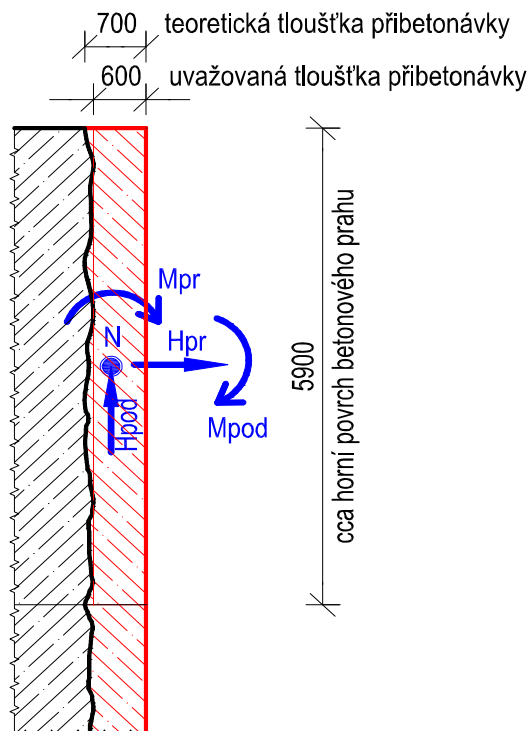
Poloha spáry



Svislý řez sparou - detail



Půdorysný řez sparou - detail



7.2. Vnitřní síly ve spáře práh-pilíř

Charakteristické hodnoty vnitřních sil:

	Vlastní tíha	Teplota T+	Teplota T-
Normálová síla	$N = -930.16$	-323.13	1010.3 kN
Posouvající síla v hlavním směru	$H_{pr} = 85.13$	3344.6	-3570.9 kN
Posouvající síla ve vedlejším směru	$H_{pod} = -25.3$	-4758.5	5147.7 kN
Moment síla v hlavním směru	$M_{pr} = -105.2$	-1054.7	1098.6 kNm
Moment síla ve vedlejším směru	$M_{pod} = -20.99$	-9385.8	1390.3 kNm
Kroutící moment	$M_{kr} = 31.13$	-1147.9	1972.3 kNm

Kvazistálé kombinace zatížení:

Kombinační součinitel	$\psi_0 = 1$	0.6	0.6
-----------------------	--------------	-----	-----

Kombinace CHAR-01:

	Vlastní tíha + T+	Vlastní tíha + T-
Normálová síla	$N = -1124.038$	-323.98 kN
Moment síla v hlavním směru	$M_{pr} = -738.02$	553.96 kNm
Moment síla ve vedlejším směru	$M_{pod} = -5652.47$	813.19 kNm

Charakteristické kombinace zatížení:

Kombinační součinitel	$\psi_0 = 1$	1	1
-----------------------	--------------	---	---

Kombinace CHAR-01:

	Vlastní tíha + T+	Vlastní tíha + T-
Normálová síla	$N = -1253.29$	80.14 kN
Moment síla v hlavním směru	$M_{pr} = -1159.9$	993.4 kNm
Moment síla ve vedlejším směru	$M_{pod} = -9406.79$	1369.31 kNm

Kombinace zatížení MSÚ:

Součinitel zatížení sup.	$\gamma_F = 1.35$	1.5	1.5
Součinitel zatížení inf.	$\gamma_F = 1$	1.5	1.5

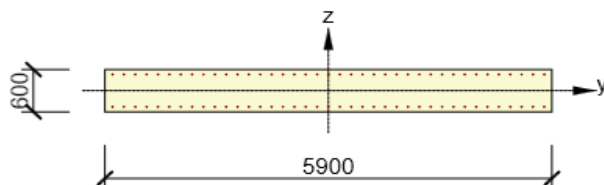
Kombinace MSU-01:

	Vlastní tíha + T+	Vlastní tíha + T-
Normálová síla	$N = -1740.411$	259.734 kN
Moment síla v hlavním směru	$M_{pr} = -1724.07$	1505.88 kNm
Moment síla ve vedlejším směru	$M_{pod} = -14107.04$	2057.114 kNm

Kombinace MSU-02:

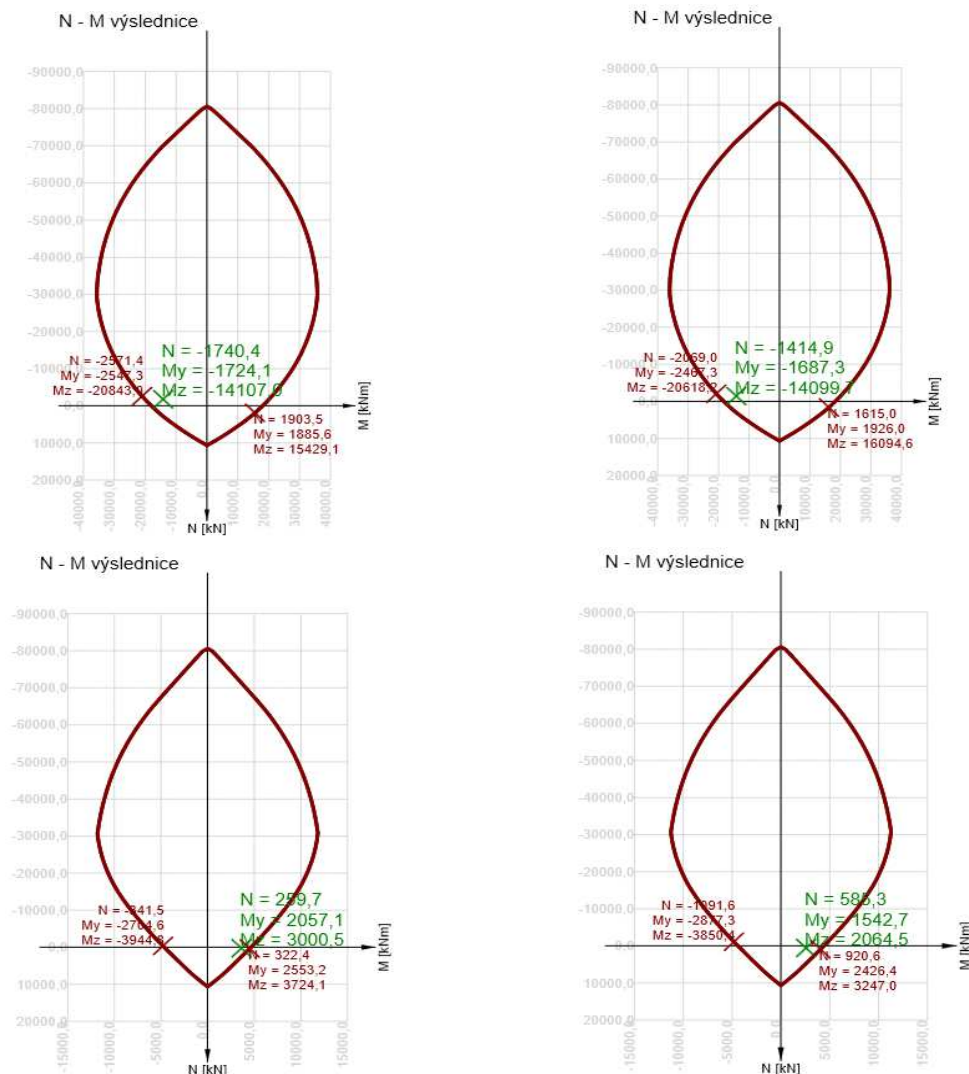
	Vlastní tíha + T+	Vlastní tíha + T-
Normálová síla	$N = -1414.855$	585.29 kN
Moment síla v hlavním směru	$M_{pr} = -1687.25$	1542.7 kNm
Moment síla ve vedlejším směru	$M_{pod} = -14099.69$	2064.46 kNm

7.3. Dimenzace výztuže



Beton: C30/37
Stáří: 28,0 d
Výztuž: (B 500B)
39 \varnothing 20 (12252mm²), z = 230 mm
39 \varnothing 20 (12252mm²), z = -230 mm

7.3.1. Mezní stav únosnosti M+N



Rozhodující typ posudku	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Hodnota [%]	Posudek
Únosnost N-M-M	585,3	1542,7	2064,5			63,6	OK

7.3.2. Mezní stav použitelnosti

Omezení napětí v betonu a výztuži:

Typ posudku	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Hodnota [%]	Posudek
Omezení napětí	80,1	993,4	1369,3			44,8	OK

Šířka trhliny:

pro krátkodobé účinky

$w_k = 0.293 \text{ mm}$

$< w_{k,lim} = 0.3 \text{ mm}$

vyhoví

8. Závěr

Na prostorovém modelu byl ověřen vliv teploty na konstrukci jezu, před a po zhotovení nového jezového pole. Vzhledem ke konstrukci malé vodní elektrárny působí již stávající konstrukce jako spojitý nosník o třech polích, přidáním dalšího pole se tedy způsob jejího namáhání nemění. Zatížení teplotou bylo modelováno s uvážením konkrétních teplotních podmínek v dané oblasti. Vznik trhlin na stěně jezové elektrárny je dán zejména rozmístěním dilatačních spar, které nebyly ve výpočtu zohledněny. Přidáním třetího jezového pole však nedojde ani ke vzniku nových trhlin, ani k dalšímu rozvoji trhlin stávajících. Vznik nových trhlin se očekává pouze na horním povrchu přepadové hrany nového pole a v patě dotčených pilířů, zde je však kamenná dlažba, která by měla být (při kvalitním provedení) vodotěsná. Pokud dojde k průsaku vody skrze dlažbu do potrhaného betonu, trhliny budou utěsněny kolmatací (samoutěsněním). Šířka trhlin byla prověřena v nové kotvené přibetonávce pilíře, kde je napětí od teploty největší, pro vykrytí tohoto napětí a omezení šířky trhlin byla navržena betonářská výztuž. Přidáním nového jezového pole, bez průběžné dilatační spáry, nedojde ke změně statického schématu konstrukce pro zatížení teplotou.

Doporučení pro další údržbu betonových konstrukcí jezu

- 1) Opravovat poškozenou dlažbu a zajistit její maximální nepropustnost (vodotěsnost), tj. zejména kvalitní spárování.
- 2) Případné trhliny od teplotních účinků injektovat výplňovými hmotami na bázi polymerů, které jsou pružné a umožňují pohyb v trhlíně. Možný vznik trhlin se předpokládá v místě styku betonového prahu a pilíře, pravděpodobně pod nebo v úrovni konstrukci dlažby.

Vypracoval: Ing. Radek Navrátil