



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí**

## **Návrh opravy skořepinové konstrukce zastřešení**

### **Design of shell roof repair**

#### **Příloha č. 1: Statický výpočet**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

**Bc. Tomáš Malecký**

---

**Praha 2016**



## OBSAH

1	PRŮVODNÍ ZPRÁVA.....	4
1.1	ÚVOD .....	4
1.2	POUŽITÉ PROGRAMY .....	4
1.3	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....	5
2	KONSTRUKCE.....	6
2.1	POPIS STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE.....	6
2.2	STAV STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE .....	10
2.3	NOVÁ KONSTRUKCE .....	10
2.3.1	OCELOVÁ ŽEBRA .....	10
2.3.2	KONOID.....	11
2.3.3	„IDEÁLNÍ“ TVAR.....	11
3	MATERIÁLY .....	14
3.1	MATERIÁLY STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE .....	14
3.2	BETON .....	14
3.3	BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ.....	14
4	ZATÍŽENÍ.....	15
4.1	ÚVOD .....	15
4.2	ZATÍŽENÍ STÁLÉ .....	15
4.2.1	VLASTNÍ TÍHA NOSNÉ KONSTRUKCE.....	15
4.2.2	OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	15
4.3	ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ.....	15
4.3.1	ZATÍŽENÍ SNĚHEM.....	15
4.3.2	ZATÍŽENÍ TEPLOTOU.....	16
4.4	PŘEHLED ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ.....	16
4.5	KOMBINACE ZATÍŽENÍ .....	16
4.5.1	KOMBINACE PRO TRVALÉ A DOČASNÉ NÁVRHOVÉ SITUACE .....	16
4.5.2	KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI ..	17
4.5.3	PŘEHLED KOMBINACÍ .....	17
5	MODEL KONSTRUKCE .....	18



5.1	ÚVOD .....	18
5.2	POPIS MODELU .....	18
5.3	NELINEÁRNÍ VÝPOČET .....	20
6	VNITŘNÍ SÍLY .....	21
6.1	ÚVOD .....	21
6.2	PŘEHLED VNITŘNÍCH SIL .....	21
7	POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	34
7.1	ÚVOD .....	34
7.2	POSOUZENÍ.....	34
7.3	PŘEHLED NAVRŽENÉ VÝZTUŽE.....	36
8	POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI .....	38
8.1	ÚVOD .....	38
8.2	DEFORMACE KONSTRUKCE .....	38
9	ZÁVĚR .....	40
9.1	NAVRŽENÁ KONSTRUKCE.....	40
9.2	ZHODNOCENÍ KONSTRUKCE.....	40
9.3	SCHÉMATA NAVRŽENÉ KONSTRUKCE .....	41



# 1 PRŮVODNÍ ZPRÁVA

## 1.1 ÚVOD

Předmětem tohoto výpočtu je návrh a posouzení vhodné opravy střešních konstrukcí na hale Vozovny Hloubětín. Hala slouží jako tramvajové depo. Stávající konstrukce byla postavena na začátku 50. let 20. století. Jedná se o skořepinové konstrukce tvaru konoidu (přesnější popis geometrie viz kapitola 2.1).

Na stávající konstrukci se začaly po cca 50 letech provozu objevovat nadměrné deformace, proto bylo v roce 2013 provedeno její podrobné zaměření, diagnostický průzkum a statický přepočet. Výsledkem těchto prací byl návrh série opatření, která zajistí, že se stav konstrukce nebude zhoršovat, popř. nedojde k jejímu zřícení a ohrožení zaparkovaných tramvají nebo lidského zdraví.

V rámci tohoto výpočtu bylo uvažováno se zachováním stávajících podpůrných konstrukcí skořepin a zachováním stávajícího architektonického rázu celé haly.

V rámci práce bylo uvažováno několik variant řešení (viz kapitola 2.3), nejvhodnější varianta pak byla detailně posouzena v tomto statickém výpočtu.

## 1.2 POUŽITÉ PROGRAMY

Pro zpracování výpočtu byly použity následující programy:

SCIA Engineer 17.1

Autodesk AutoCAD 2016

Microsoft Excel 2013

Microsoft Word 2013



## 1.3 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Tabulka 1-1 Seznam použitých zkratek

Značka	Definice
$a_s$	Plocha výztuže
$c$	Krycí vrstva
$d$	Účinná výška průřezu
$E$	Youngův modul pružnosti
$f_c$	Pevnost betonu v tlaku
$f_{ct}$	Pevnost betonu v tahu
$f_y$	Mez kluzu oceli
$G$	Stálé zatížení
$h$	Výška průřezu
$m$	Deskový ohybový moment
$n$	Počet
$Q$	Proměnné zatížení
$T$	Teplota
$tl.$	Tloušťka
$z$	Rameno vnitřních sil
$z'$	Odhad $z$
$\gamma$	Dílčí součinitel zatížení
$\pi$	Ludolfovo číslo
$\Psi$	Kombinační součinitel
$\emptyset$	Průměr



## 2 KONSTRUKCE

### 2.1 POPIS STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE

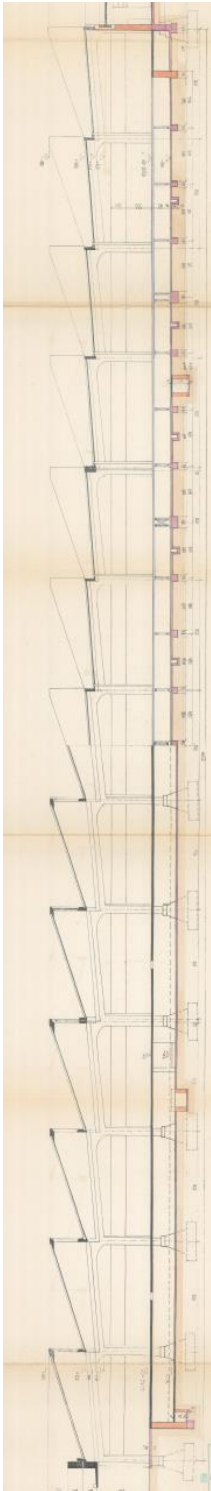
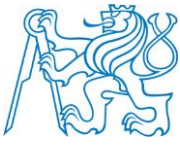
Vozovna Hloubětín je provedena jako pětilodní hala, jejíž zastřešení je tvořeno skořepinovými konstrukcemi z monolitického betonu tloušťky 50 mm. Skořepiny mají tvar konoidu, řídicí křivky jsou pravděpodobně paraboly (tvar pro výpočet byl aproximován z dobových výkresů). V příčném směru má konstrukce vždy pět skořepinových segmentů (jeden nad každou lodí) v podélném směru je konstrukce rozdělena do tří dilatačních celků po čtyřech, pěti a čtyřech segmentech ( $4 + 5 + 4 =$  celkem 13 segmentů). Celkový půdorysný rozměr konstrukce je 114,25 x 94,0 m. Svislé konstrukce jsou monolitické železobetonové, založení je plošné.

Rozměry jedné skořepiny jsou příčně **18 800 mm** a **8 750 mm** podélně. Uprostřed příčného rozpětí je provedeno zesilující žebro šířky 300 mm, v místě žebra je konstrukce zesílena z 50 mm na 120 mm, zesílení je provedeno s lineárním náběhem na délce 300 mm.

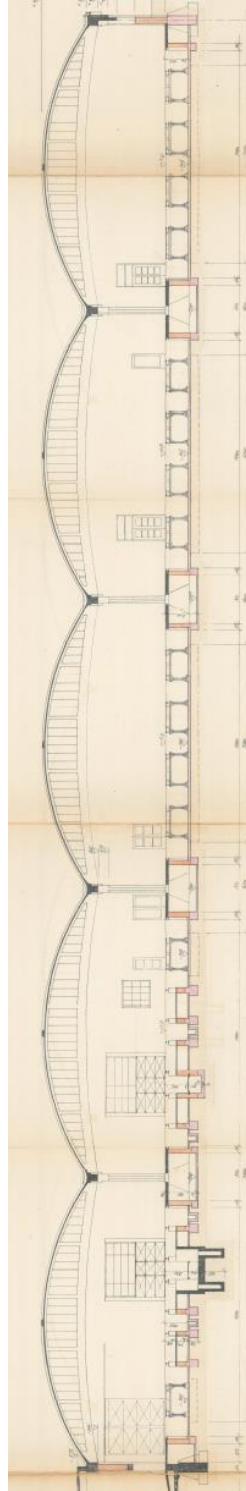
Podél kratších stran je skořepina vetknuta do železobetonových průvlaků šířky 600 mm a konstantní výšky **780 mm**, s náběhem na výšku **1650 mm** na posledních **1500 mm** (průvlak vytváří spád v úžlabí jednotlivých segmentů pro zajištění odtoku srážkové vody). U obvodu haly jsou pak průvlaky s výškou proměnnou po celé délce, výška je **750 – 1450 mm**. Ve spodní části je skořepina vetknuta do spodní hrany železobetonového zakřiveného trámu šířky **270 mm** a výšky **600 mm**. V horní části je skořepina vetknuta do zakřiveného železobetonového trámu zhruba čtvercového tvaru o hraně **280 mm**. Horní a spodní trám jsou spojeny čtyřmi stojkami T průřezu. Spodní a horní trám jsou v koncích tuze spojeny. V okrajových částech skořepiny jsou provedeny následující náběhy:

- U bočních průvlaků – zesílení na 150 mm na délce 720 mm
- U spodního trámu – zesílení na 150 mm na délce 750 mm
- U horního trámu – zesílení na 200 mm na délce 500 mm

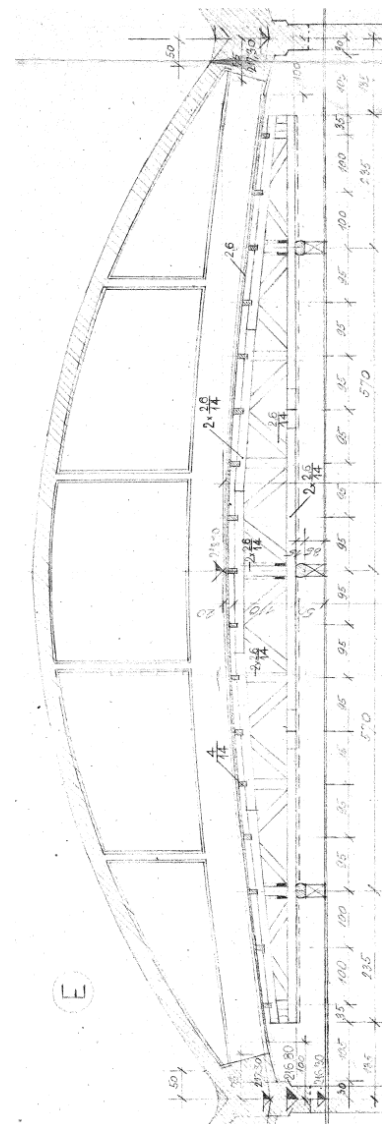
Boční trámy jsou na koncích uloženy na čtvercové sloupy hrany **600 mm** a výšky **3 750 mm**. Vnitřní trámy jsou uloženy na obdélníkové sloupy **450 mm x 600 mm**, s delší stranou v podélném směru haly. Sloupy jsou vetknuty do základových konstrukcí.



Obr. 2-1 Příkladný řez



Obr. 2-2 Podélný řez

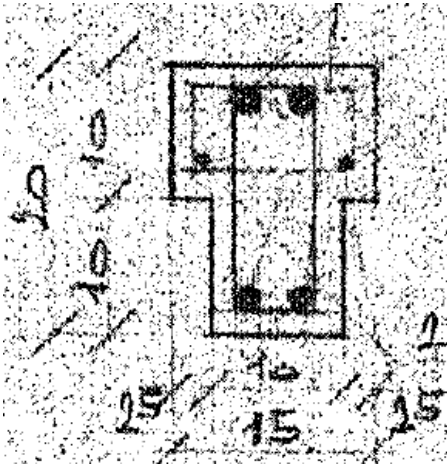


Obr. 2-3 Tvar zakřivených trámů

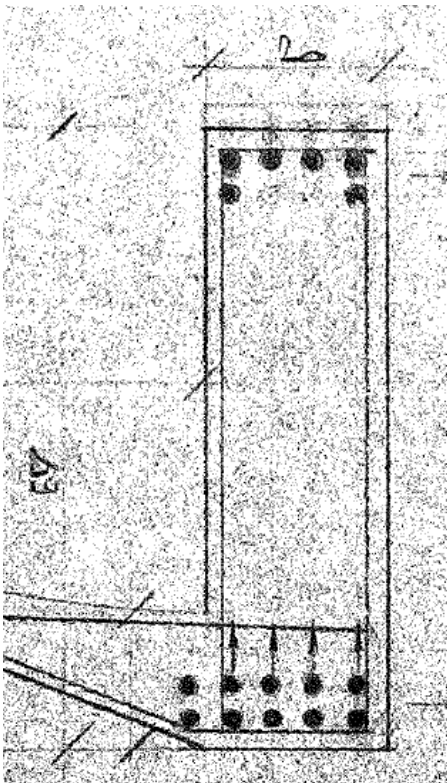




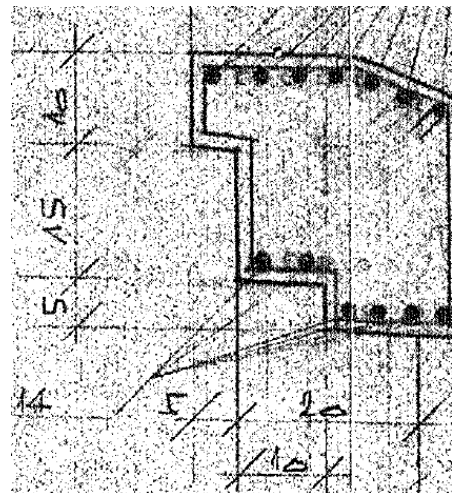




Obr. 2-6 Průřez stojky



Obrázek 2-1 Průřez spodního trámu



Obrázek 2-8 Průřez horního trámu



## 2.2 STAV STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE

Stávající skořepinové konstrukce vykazují v několika místech významné svislé deformace (až 150 mm). Deformace jsou doprovázeny vznikem sítě trhlin, jejich tvar naznačuje ztrátu stability konstrukce vlivem svislého zatížení.



Obr. 2-7 Deformovaná skořepina

V roce 2013 bylo provedeno podrobné zaměření stávající konstrukce. Výsledky tohoto měření byly použity k ověření přesnosti výpočetního modelu.

## 2.3 NOVÁ KONSTRUKCE

V rámci práce byly posouzeny tyto varianty sanace skořepinových konstrukcí:

### 2.3.1 OCELOVÁ ŽEBRA

Tato varianta uvažovala s ponecháním stávající skořepiny, která byla vyrovnána do ideálního tvaru a podepřena válcovanými ocelovými profily (IPE, ...). Předběžné výpočty naznačovaly rastr žebel cca po 1 m.

Od této varianty bylo upuštěno z důvodu velké pracnosti stavebního provedení. Bylo by třeba vyrovnávat lokální nerovnosti mezi ocelovým nosníkem a skořepinou. Nejsložitější by pravděpodobně bylo připojení ocelových nosníků



ke stávajícím železobetonovým obloukovým trámům podél delších hran skořepinové konstrukce.

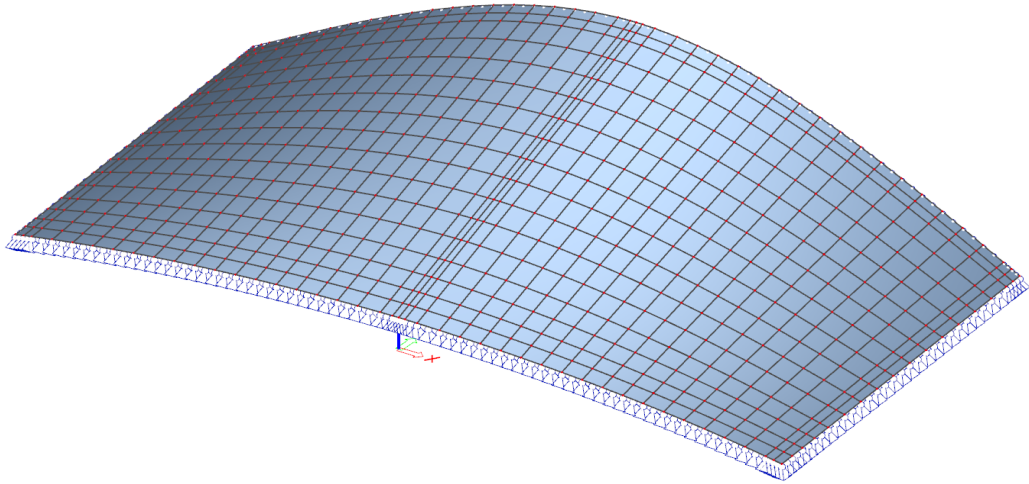
### **2.3.2 KONOID**

Tato varianta uvažuje zachování původní geometrie, pouze by byla upravena tloušťka konstrukce (popř. náběhy) a navržena výztuž. Případně je možnost změny geometrie u spodního okraje skořepiny, kde může být křivka libovolně vedena po stávajícím trámu. Je nutno dodat že stávající tvar není ze statického hlediska zcela ideální, ve spodní části je velmi malá křivost, díky čemuž je většina zatížení přenášena pouze v podélném směru haly (ve směru kratšího rozpětí).

I přes svá omezení se tato varianta nakonec jeví jako nejvhodnější řešení. Konstrukce vyhověla při posouzení pro tloušťku 110 mm. Současně bylo odstraněno prostřední žebro, které nemělo zásadní vliv na chování konstrukce. Na všech okrajích byly zároveň navrženy náběhy, na kratších okrajích skořepiny na tloušťku 300 mm na vzdálenost 1000 mm od osy podpůrné konstrukce a na delších okrajích skořepiny na tloušťku 250 mm na vzdálenost 500 mm od okraje podpůrné konstrukce. Nová konstrukce skořepiny je také relativně jednoduše připojitelná ke stávajícím svislým a vodorovným konstrukcím (díky shodě okrajové geometrie).

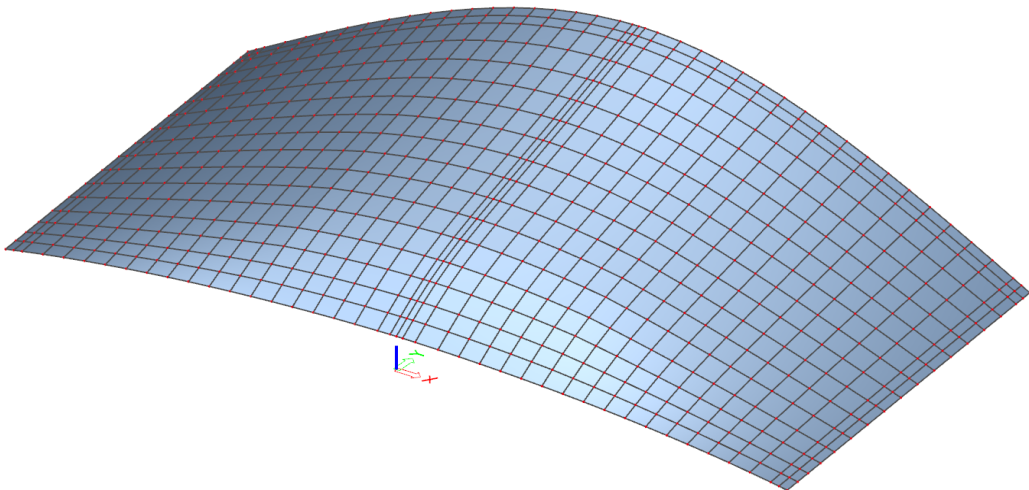
### **2.3.3 „IDEÁLNÍ“ TVAR**

Pro dané okrajové podmínky byla proveden analýza pro zjištění ideálního statického tvaru. Výpočet je založen na teorii obrácené řetězovky (viz hlavní část práce, kapitola 3.4.4). Podpůrné konstrukce byly nahrazeny liniovým klubovým podepřením.



Obr. 2-8 Model pro výpočet „ideálního“ tvaru

Výsledný tvar byl lehce upraven za účelem proveditelnosti (vyhlazení lokálních nerovností) a přepočítán pro skutečné zatížení.



Obr. 2-9 „Ideální“ tvar



Výsledky byly sice lehce příznivější než pro konoid, ale složitost tvaru výztuže by zajisté vedla ke značnému navýšení nákladů na provedení, proto bylo od této varianty nakonec ustoupeno.



## 3 MATERIÁLY

Materiály dle ČSN EN 1992-1-1.

### 3.1 MATERIÁLY STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE

V roce 2013 byl proveden diagnostický průzkum. Jádrové vrty betonu byly provedeny na podélných průvlacích. Z výsledků byla patrná velká nehomogenita betonu, přitom se dá očekávat větší kvalita zpracování v průvlacích oproti skořepinám. Průzkum stanovil následující předpokládané charakteristiky použitých materiálů:

Beton:	Třída C12/15	( $f_{ck} = 12 \text{ MPa}$ )
Betonářská výztuž:	Hladká výztuž 11 452	( $f_{yk} = 270 \text{ MPa}$ )

### 3.2 BETON

C40/50 – XC3 + XD1 –  $D_{\max} 8 \text{ mm}$

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

$f_{cm} = 48,0 \text{ MPa}$

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,0 \cdot 40,0 / 1,5 = 26,67 \text{ MPa}$

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

$f_{ctk,0,95} = 4,6 \text{ MPa}$

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

$E_{cm} = 35\,000 \text{ MPa}$

### 3.3 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

B500B

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

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500,0 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$

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

Krycí vrstva:

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

$C_{min} = \text{MAX}(C_{min,b}; C_{min,dur}; 10 \text{ mm})$

$C_{min,b} = \emptyset = 10 \text{ mm}$

$C_{min,dur} = 20 \text{ mm}$  (třída konstrukce S4, XC3, desková konstrukce)

$C_{min} = 20 \text{ mm}$

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

$C_{nom} = 30 \text{ mm}$





## 4 ZATÍŽENÍ

### 4.1 ÚVOD

Zatížení konstrukce bylo přebráno ze statického posouzení konstrukce zpracovaného v roce 2013.

### 4.2 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

#### 4.2.1 VLASTNÍ TÍHA NOSNÉ KONSTRUKCE

Vlastní tíha je generována softwarem. Z diagnostického průzkumu vychází, že vlastní tíhu stávající železobetonové konstrukce můžeme uvažovat jako **21,7 kN/m<sup>3</sup>**. Pro nové železobetonové konstrukce je uvažováno **25,0 kN/m<sup>3</sup>**.

#### 4.2.2 OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

*Tabulka 4-1 Ostatní stálé zatížení stávající konstrukce*

Popis	Velikost zatížení
Vyrovnání povrchu skořepiny pěnobetonem, tl. 100 mm	0,6 kN/m <sup>2</sup>
Skladba střechy: Tepelná izolace, tl. 100 mm Střešní krytina (NAIP), tl. 10 mm	0,1 kN/m <sup>2</sup>
Celkem	<b>0,7 kN/m<sup>2</sup></b>

Pro novou konstrukci se nepočítá s vyrovnáním povrchu skořepiny, tudíž ostatní stálé zatížení bude uvažováno jako **0,1 kN/m<sup>2</sup>**.

### 4.3 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Zde budou uvažovány dvě skupiny zatížení – zatížení sněhem a zatížení teplotou.

#### 4.3.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Zatížení sněhem bude rozděleno do dvou zatěžovacích stavů:

- Rovnoměrné zatížení sněhem **3,0 kN/m<sup>2</sup>**
- Nerovnoměrné zatížení – hromadění sněhu v úžlabí **2,0 – 3,0 kN/m<sup>2</sup>**

Tyto hodnoty byly stanoveny dle ČSN EN 1991-1-3 následovně:

- Základní hodnota zatížení sněhem v místě stavby  $s_k$  1,0 kN/m<sup>2</sup>
- Součinitel tvaru  $\mu_1$  1,0





- Součinitel tvaru  $\mu_2$  1,6
- Součinitel expozice  $C_e$  1,2
- Tepelný součinitel  $C_t$  1,0

#### 4.3.2 ZATÍŽENÍ TEPLOTOU

Teplotní zatížení bude uvažované rovnoměrné a nerovnoměrné, změna teploty vždy 5 K.

#### 4.4 PŘEHLED ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ

Označení	Popis	Velikost zatížení
ZS1	Vlastní tíha konstrukce	21,7 / 25,0 kN/m <sup>3</sup>
ZS2	Ostatní stálé zatížení	0,7 kN/m <sup>2</sup>
ZS3	Rovnoměrné zatížení sněhem	3,0 kN/m <sup>2</sup>
ZS4	Nerovnoměrné zatížení sněhem	2,0 - 3,0 kN/m <sup>2</sup>
ZS5	Účinek teploty – rovnoměrné ohřátí celé konstrukce	+5 K
ZS6	Účinek teploty – rovnoměrné ochlazení celé konstrukce	-5 K
ZS7	Účinek teploty – nerovnoměrné ohřátí celé konstrukce	Horní/spodní povrch +5/0 K
ZS8	Účinek teploty – nerovnoměrné ochlazení celé konstrukce	Horní/spodní povrch -5/0 K

#### 4.5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

##### 4.5.1 KOMBINACE PRO TRVALÉ A DOČASNÉ NÁVRHOVÉ SITUACE

Pro stanovení účinků zatížení na mezi únosnosti bude použit výraz 6.10 z ČSN EN 1990:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$



Tabulka 4-2 Tabulka součinitelů pro MSÚ

Zatížení	$\gamma$	$\psi_{0,1}$
Stálé	1,35	-
Proměnné – sníh	1,5	0,5
Proměnné - teplota	1,5	0,6

Pro posouzení MSÚ tedy budou použity dvě kombinace, jedna pro dominantní zatížení sněhem a jedna pro dominantní zatížení teplotou.

#### 4.5.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

Konstrukce vyhověla pro charakteristické hodnoty, pokud by se tak nestalo, byla by posouzena na příslušné složky deformace pro častou nebo kvazistálou kombinaci dle ČSN EN 1990.

#### 4.5.3 PŘEHLED KOMBINACÍ

Pro ověření konstrukce tedy budou použity tyto kombinace:

Kombinace	Celkový součinitel pro zatížení		
	G	Q – sníh	Q – T
MSÚ S	1,35	1,5	0,9
MSÚ T	1,35	0,75	1,5
MSP	1,0	1,0	1,0



## 5 MODEL KONSTRUKCE

### 5.1 ÚVOD

Model konstrukce byl vytvořen v programu SCIA Engineer 17.1. Byl prováděn lineární i nelineární výpočet. Zatížení a kombinace zatížení jsou popsány v kapitole 4.

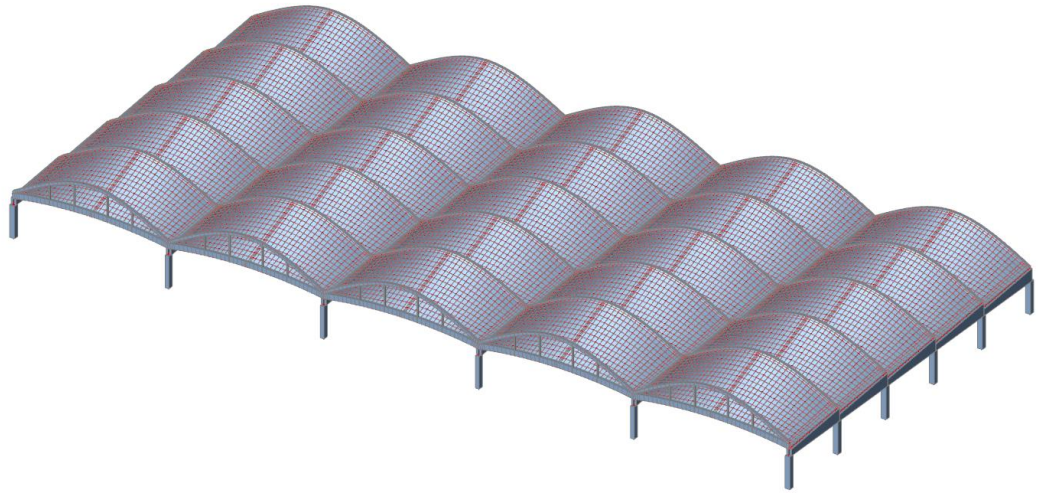
### 5.2 POPIS MODELU

Jedná se o prostorový model. Byl namodelován celý jeden dilatační celek o velikosti 5x5 segmentů resp. 43,75 x 94,0 m. V první fázi byla namodelována konstrukce dle projektové dokumentace (geometrie popsána v kapitole 2.1) a výsledky byly porovnány se statickou analýzou provedenou v roce 2013 k ověření výstižnosti modelu; výsledky byly téměř shodné.

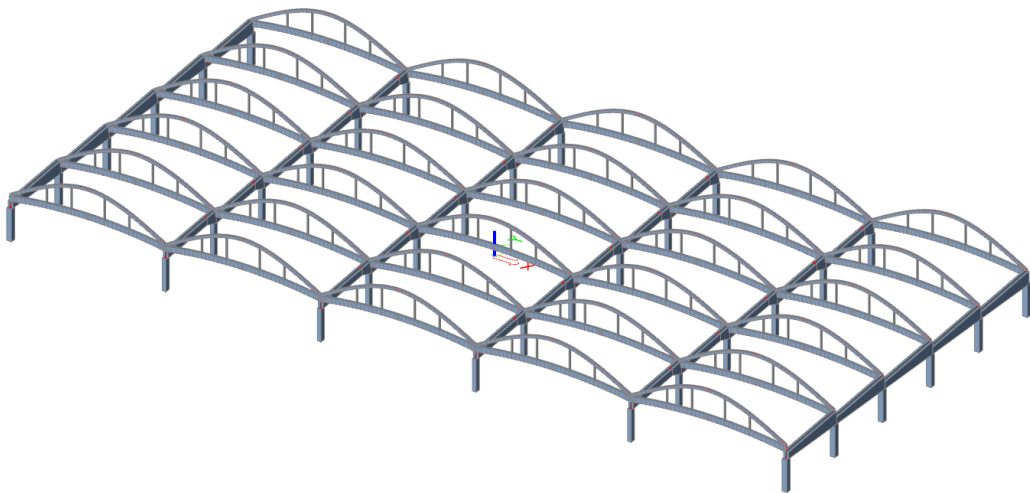
V druhé fázi byly ponechány stávající podpůrné konstrukce a tvar skořepiny byl měněn pro návrh nové konstrukce. Zvolená nová konstrukce má stejnou geometrii střednice jako konstrukce původní. V rámci zjednodušení je vynecháno prostřední ztužující žebro, charakteristická tloušťka skořepiny je 110 mm. Na okrajích v příčném směru je vytvořen náběh na tl. 300 mm na vzdálenost 1000 mm od středu podpůrné konstrukce, na okrajích v podélném směru je vytvořen náběh na tl. 250 mm na vzdálenost 500 mm od okraje podpůrné konstrukce. Materiál nových skořepin je zvolen beton C40/50 dle kapitoly 3.3.

Skořepina je modelována jako mnoho čtyřhranných prvků, které jsou vždy ohraničeny přímkami, nejsou však rovinné. Počet prvků byl zvolen takový, aby nebyl zbytečně přetěžován software, ale aby zároveň byla zachována dostatečná přesnost geometrického tvaru.

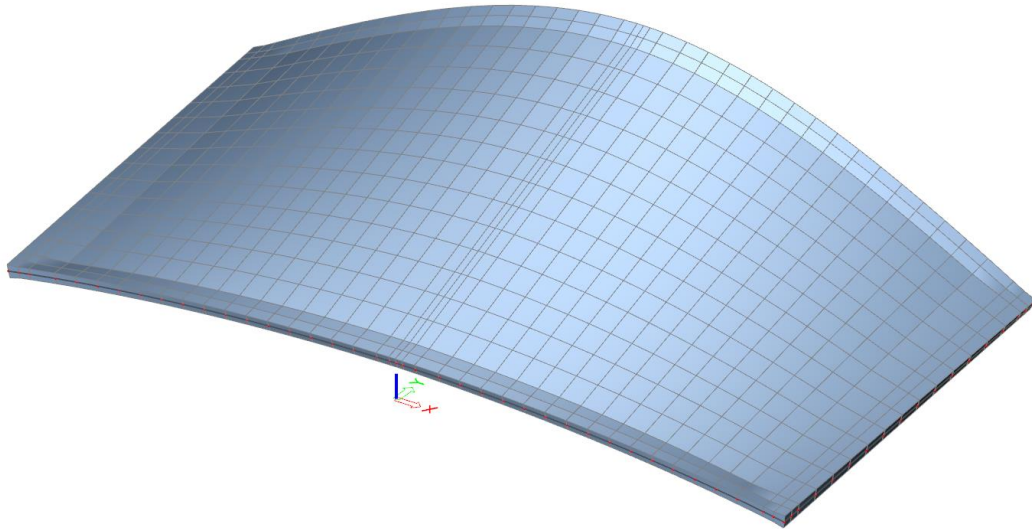
Průvlaky, které podepírají skořepiny na příčných okrajích byly modelovány jako deskostěnové prvky pro větší přesnost výsledků v této oblasti. V okrajových částech skořepin je zahuštěna síť konečných prvků pro eliminaci špiček namáhání v singulárních bodech modelu.



Obr. 5-1 Vizualizace celého modelu



Obr. 5-2 Podpůrné konstrukce



Obr. 5-3 Jeden segment skořepiny

## 5.3 NELINEÁRNÍ VÝPOČET

V rámci ověření nosné konstrukce byl prováděn i geometricky nelineární výpočet. Pro konstrukci bez počátečních imperfekcí nebyl rozdíl výsledků oproti lineárnímu výpočtu zásadní. Pro konstrukci s uvažováním počátečních imperfekcí se ovšem výsledky liší cca o desítky procent. Je proto potřeba dát při provádění pozor na dodržení správné geometrie dle povolených tolerancí.

Při nelineárním výpočtu také byla potvrzena zvýšená náchylnost skořepinové konstrukce na působení osamělých břemen a nesymetrické uspořádání zatížení. Je tak potřeba se těmto způsobům zatížení vyvarovat při provozu.



## 6 VNITŘNÍ SÍLY

### 6.1 ÚVOD

Vnitřní síly jsou převzaty z programu SCIA Engineer 17.1. Jedná se o návrhové momenty  $m_{D,x}$  resp.  $m_{D,y}$  od horší z kombinací zatížení MSÚ S a MSÚ T popsanych v kapitole 4.5. Místa, ve kterých v modelu evidentně vzniká singularita jsou z posouzení vyloučena.

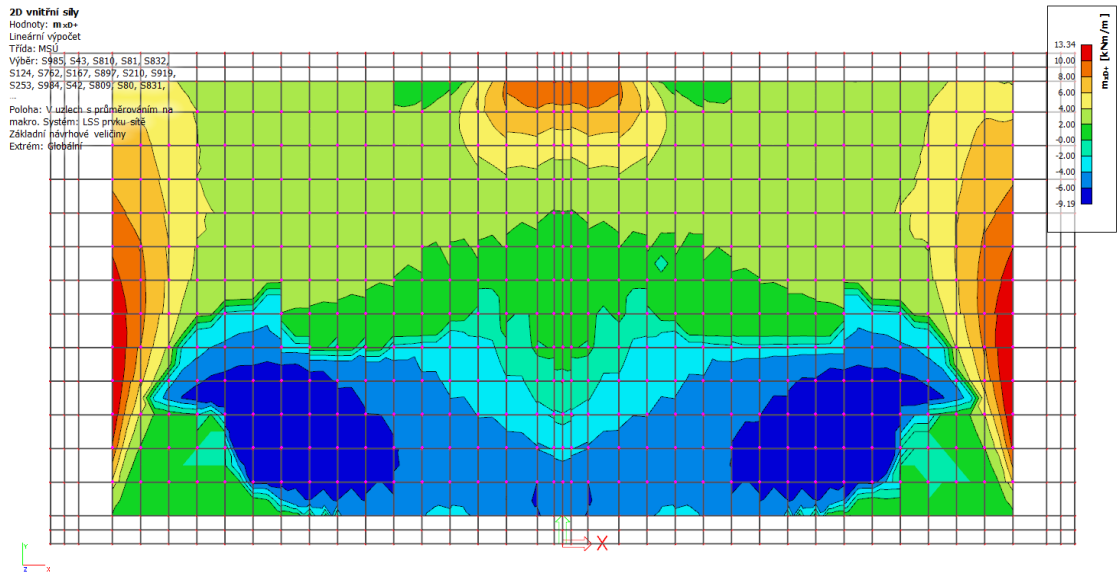
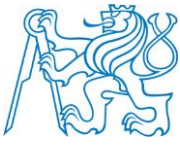
Poznámka týkající se orientace os a vnitřních sil:

- Osa x vede v podélném směru konstrukce
- Osa y vede v příčném směru konstrukce
- Osa z vede vzhůru, tj.  $u_z < 0$  znamená, že se konstrukce zdeformovala směrem k zemi
  
- Momenty jsou deskové, tj.  $m_x$  ohýbá osu x
- + značí horní povrch, kladný moment znamená tah, tj.  $m_x^+ > 0$  znamená že konstrukce je tažena u horních vláken a deformuje se kolem osy y

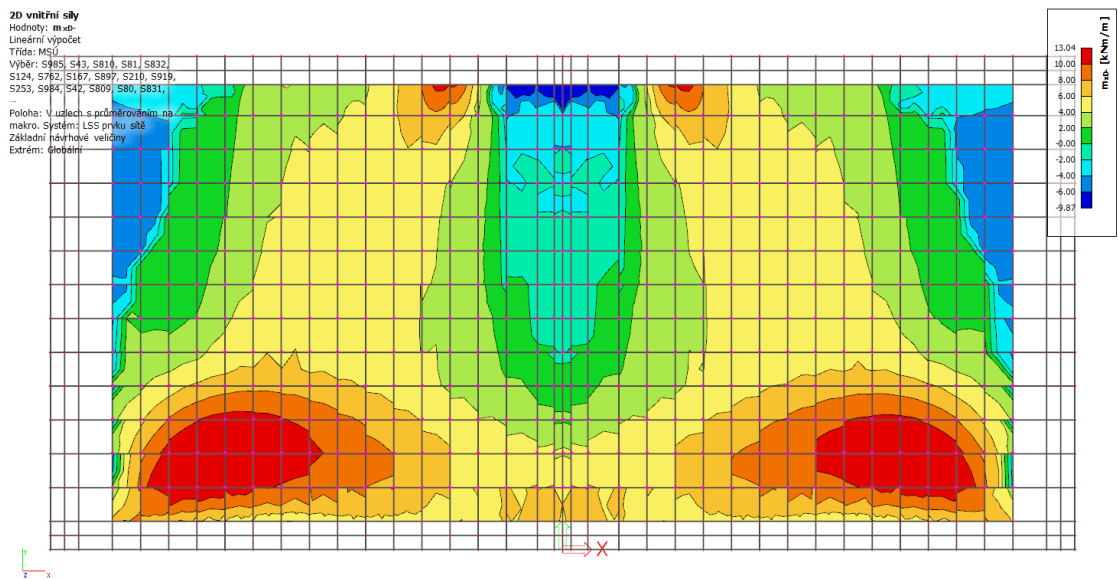
### 6.2 PŘEHLED VNITŘNÍCH SIL

Tabulka 6-1 Přehled vnitřních sil pro MSÚ

Segment	Oblast	$m_{Ed,x^+}$ [kNm/m]	$m_{Ed,x^-}$ [kNm/m]	$m_{Ed,y^+}$ [kNm/m]	$m_{Ed,y^-}$ [kNm/m]
Střed	Plocha	13,34	13,04	16,24	15,87
	Náběh 250	<b>100,75</b>	73,87	89,90	<b>57,88</b>
	Náběh 300	54,30	37,66	94,36	<b>3,69</b>
Roh	Plocha	<b>13,55</b>	<b>15,05</b>	<b>17,05</b>	<b>17,36</b>
	Náběh 250	49,37	<b>74,36</b>	<b>95,16</b>	52,11
	Náběh 300	<b>72,93</b>	<b>40,11</b>	<b>100,07</b>	3,34

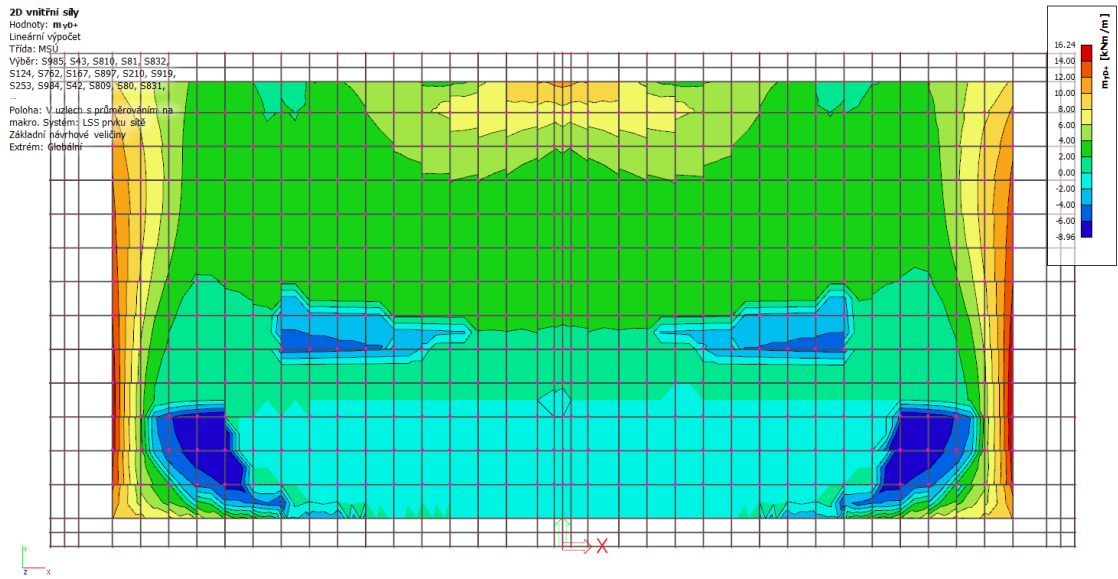


Obr. 6-1 Prostřední segment, plocha, mEd,x+

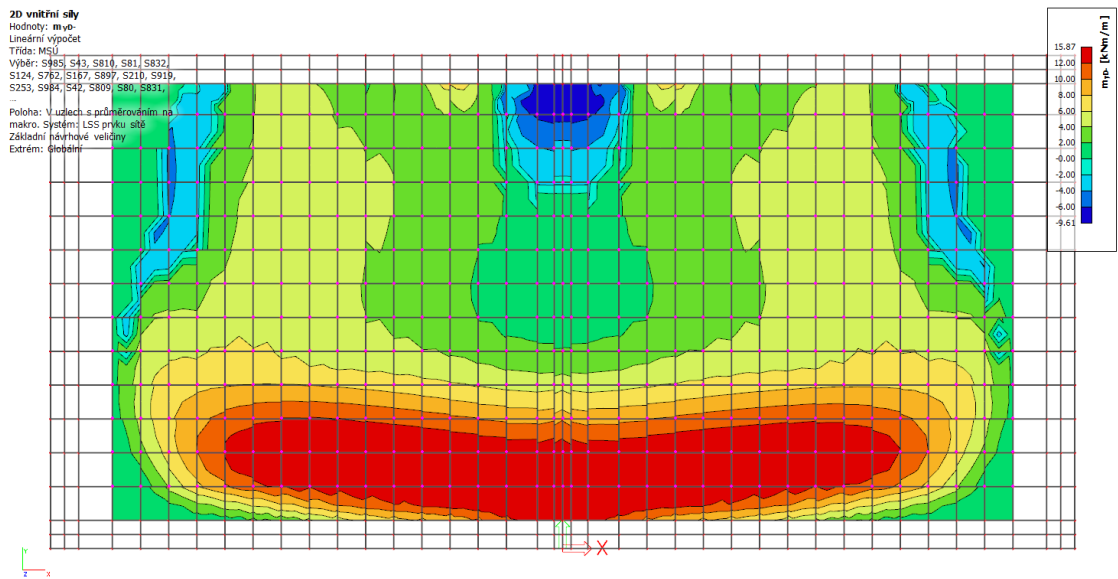


Obr. 6-2 Prostřední segment, plocha, mEd,x-

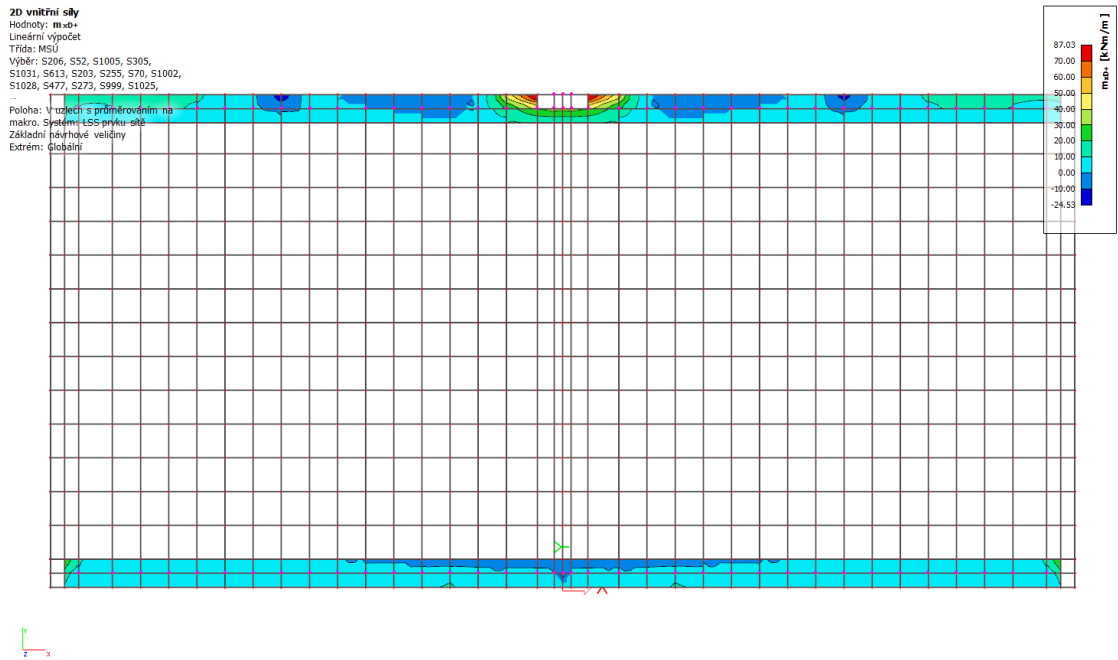




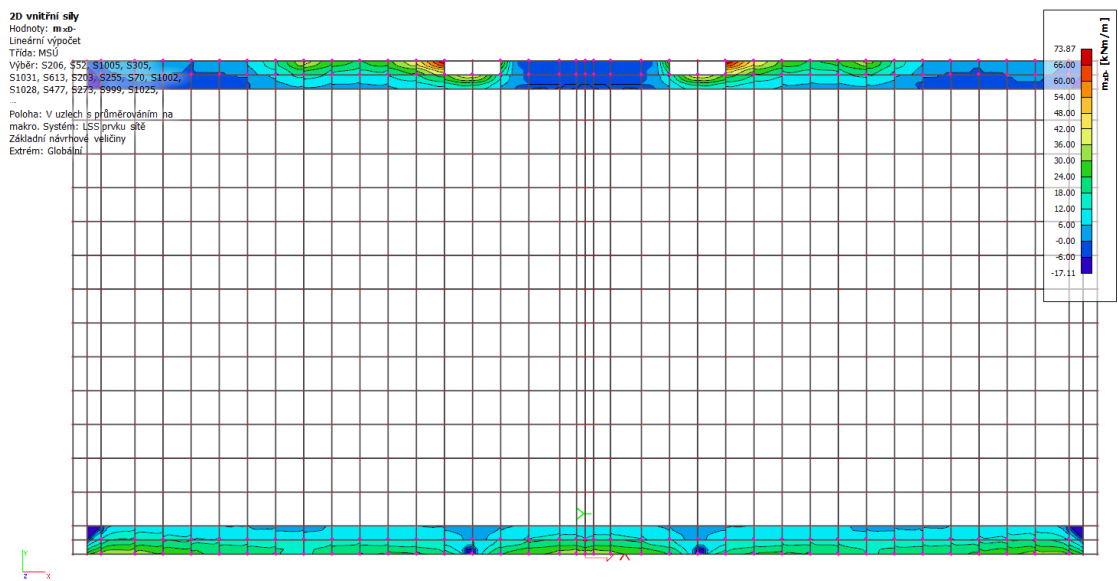
Obr. 6-3 Prostřední segment, plocha, mEd,y+



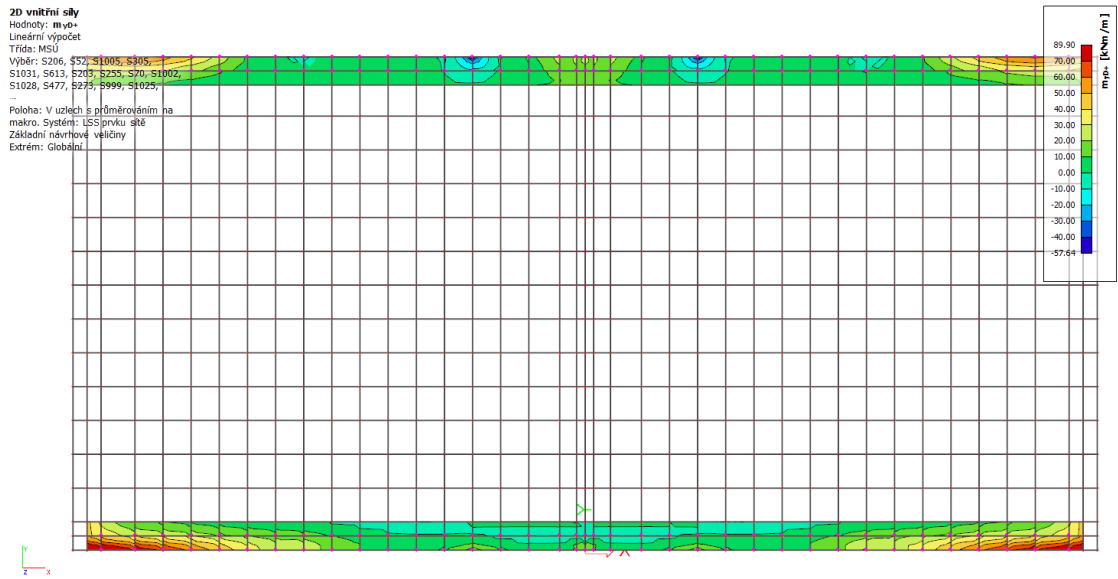
Obr. 6-4 Prostřední segment, plocha, mEd,y-



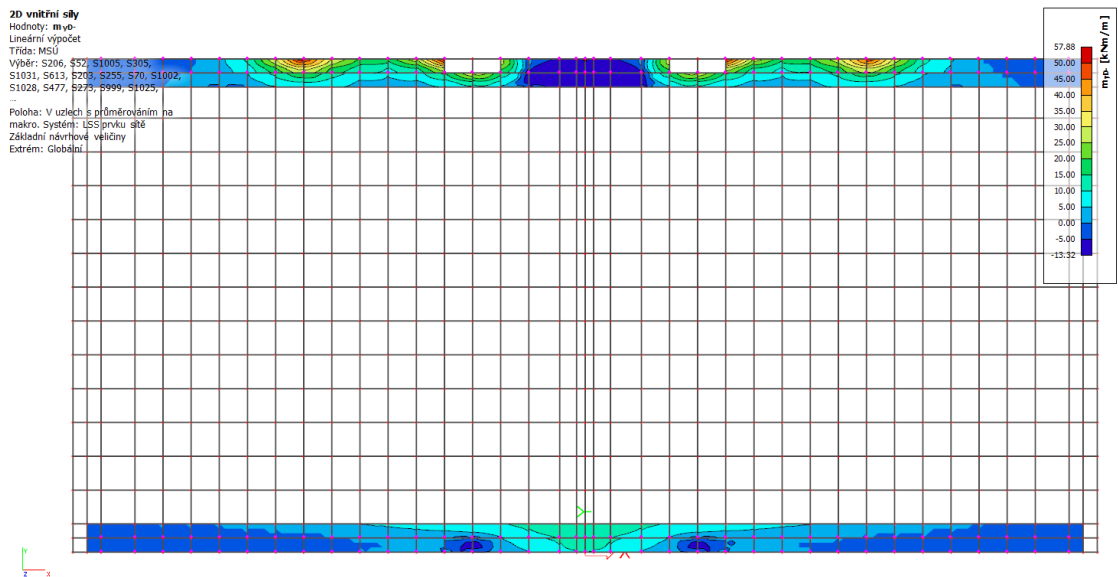
Obr. 6-5 Prostřední segment, náběh 250 mm,  $mEd, x+$



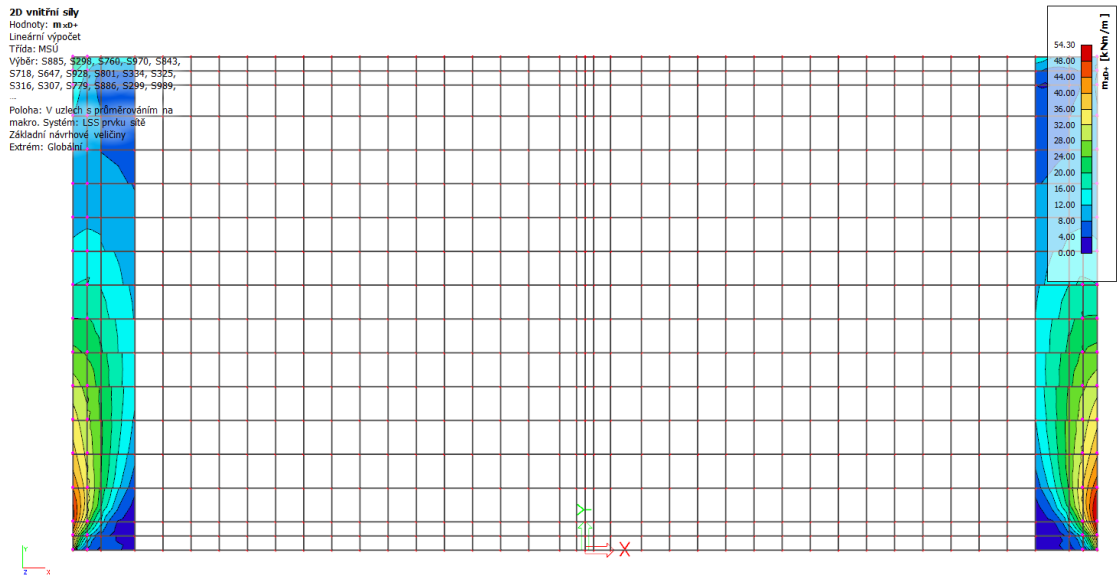
Obr. 6-6 Prostřední segment, náběh 250 mm,  $mEd, x-$



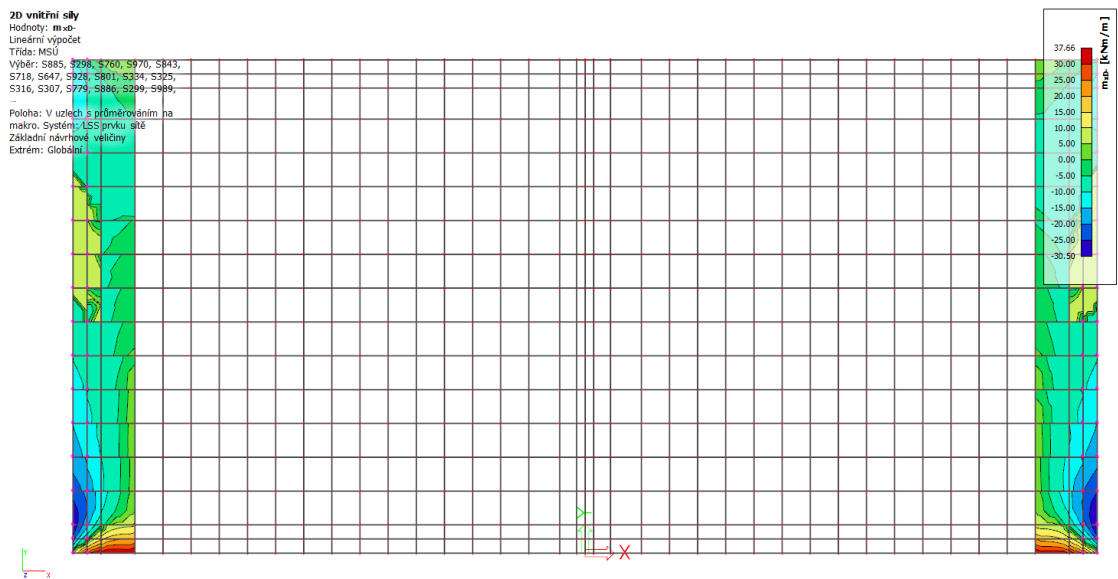
Obr. 6-7 Prostřední segment, náběh 250 mm, mEd,y+



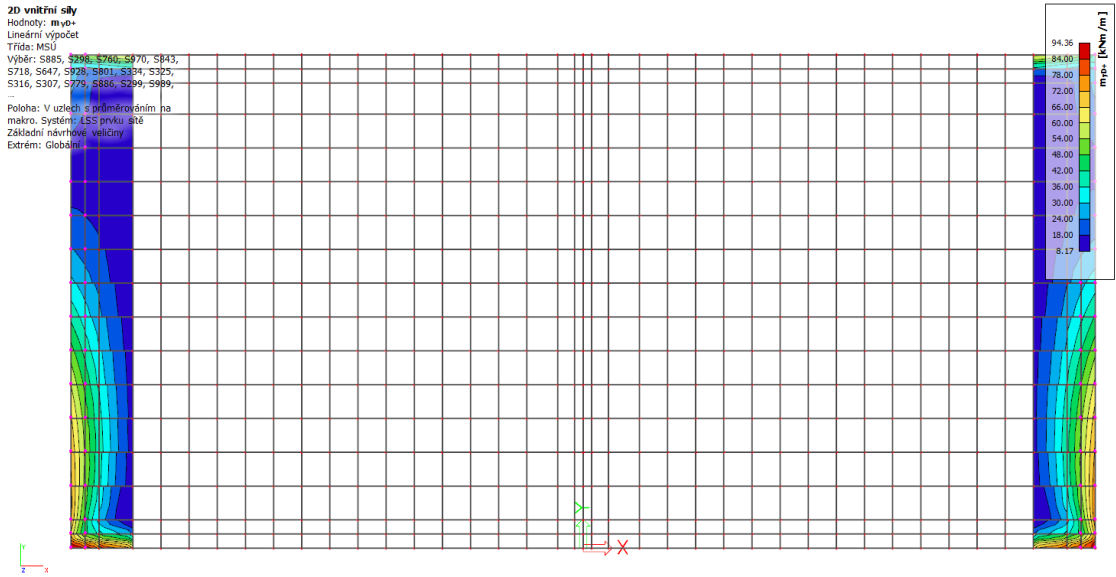
Obr. 6-8 Prostřední segment, náběh 250 mm, mEd,y-



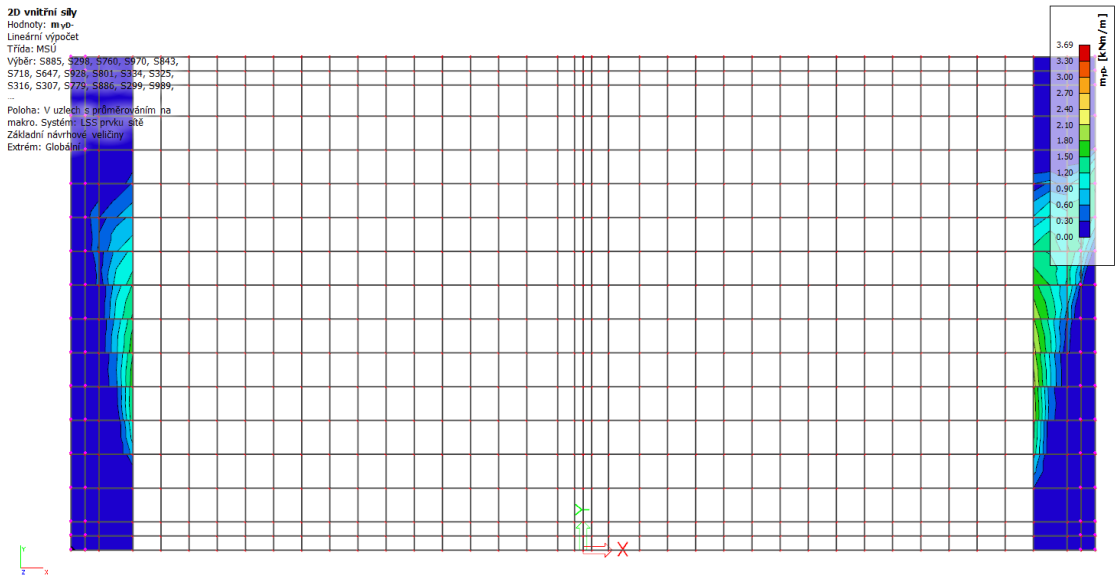
Obr. 6-9 Prostřední segment, náběh 300 mm, mEd,x+



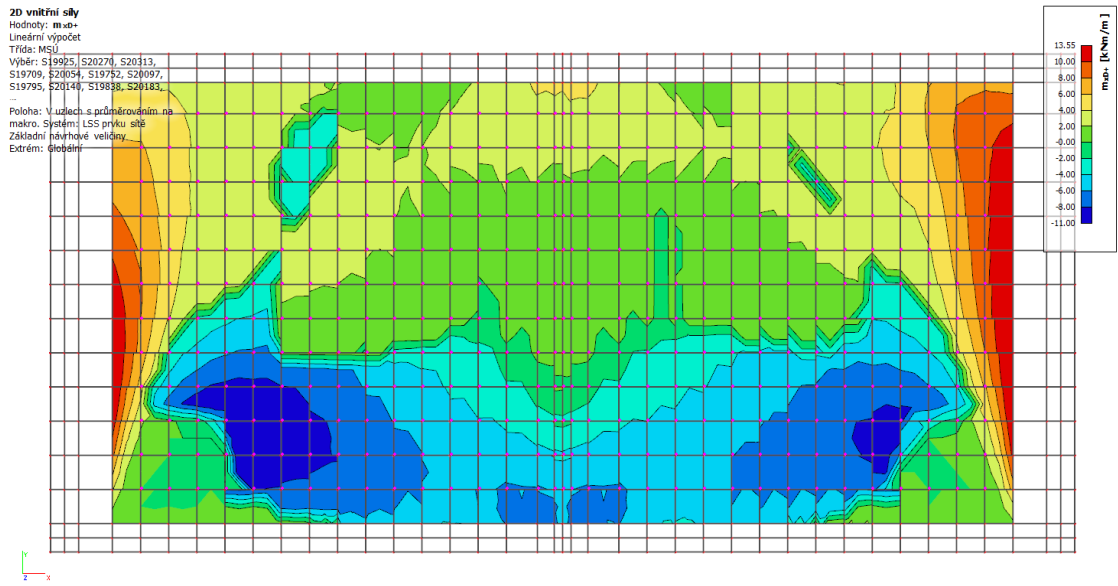
Obr. 6-10 Prostřední segment, náběh 300 mm, mEd,x-



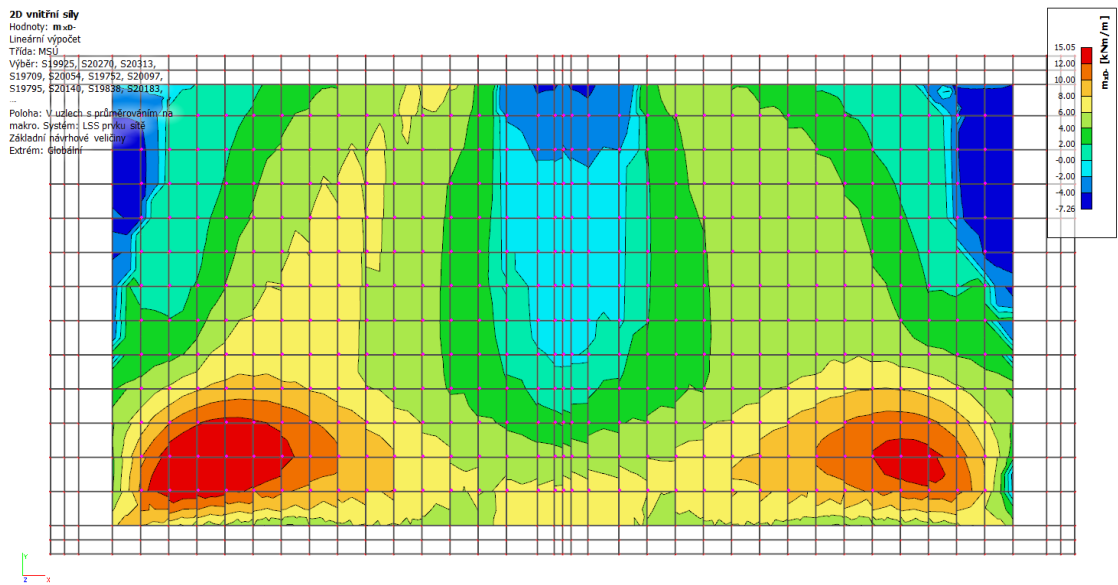
Obr. 6-11 Prostřední segment, náběh 300 mm, mEd,y+



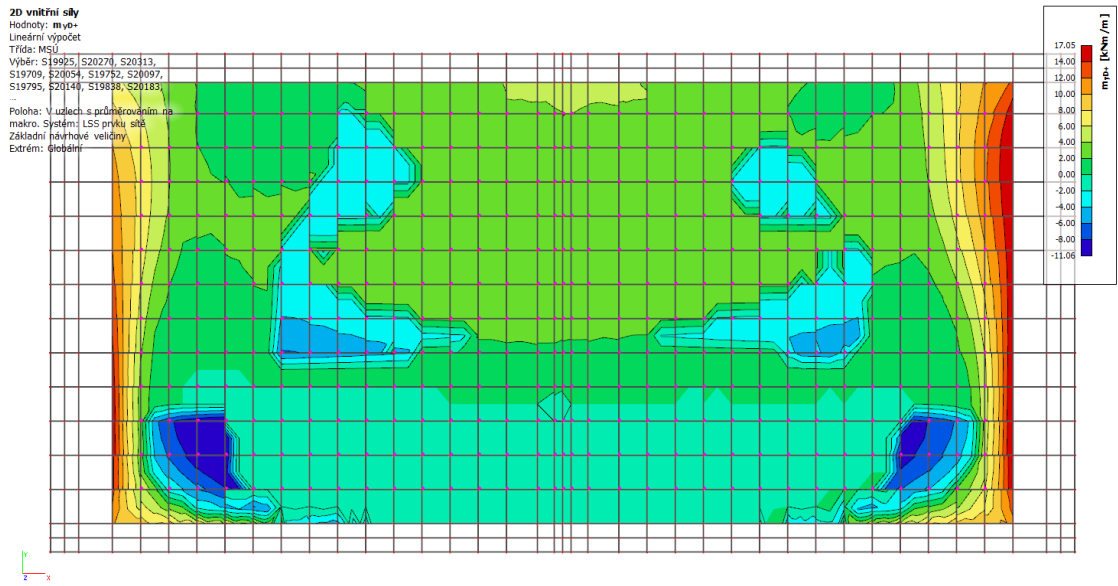
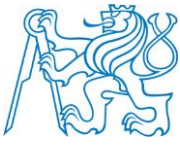
Obr. 6-12 Prostřední segment, náběh 300 mm, mEd,y-



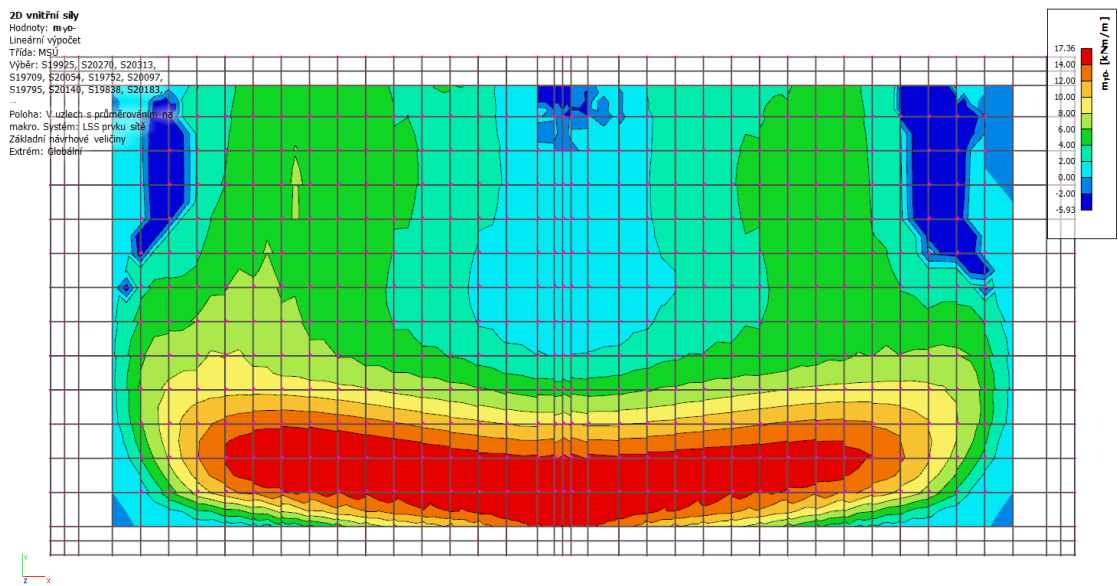
Obr. 6-13 Rohový segment, plocha, mEd, x+



Obr. 6-14 Rohový segment, plocha, mEd, x-

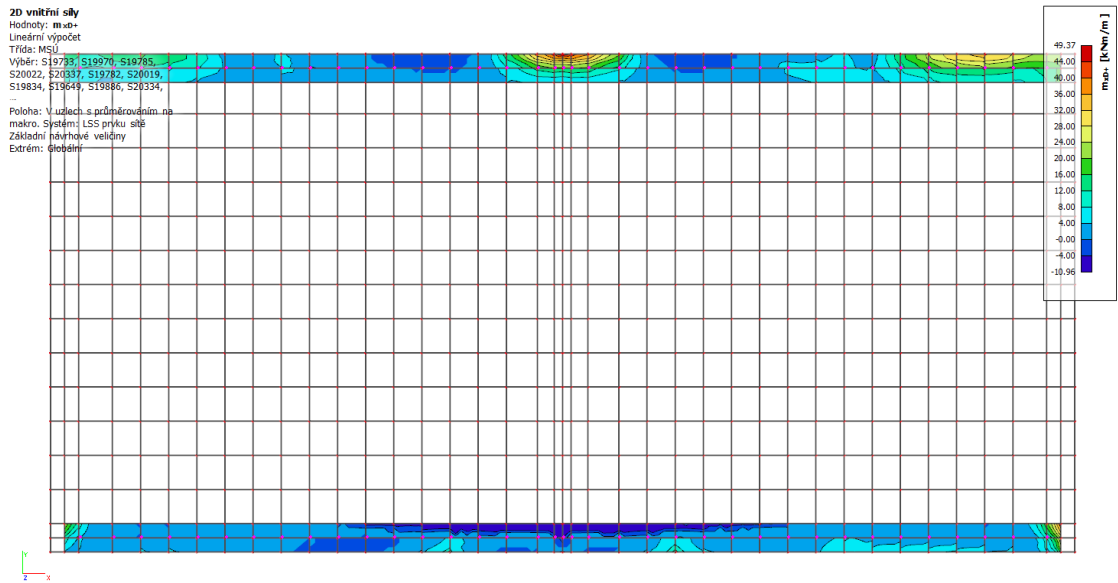


Obr. 6-15 Rohový segment, plocha, mEd, y+

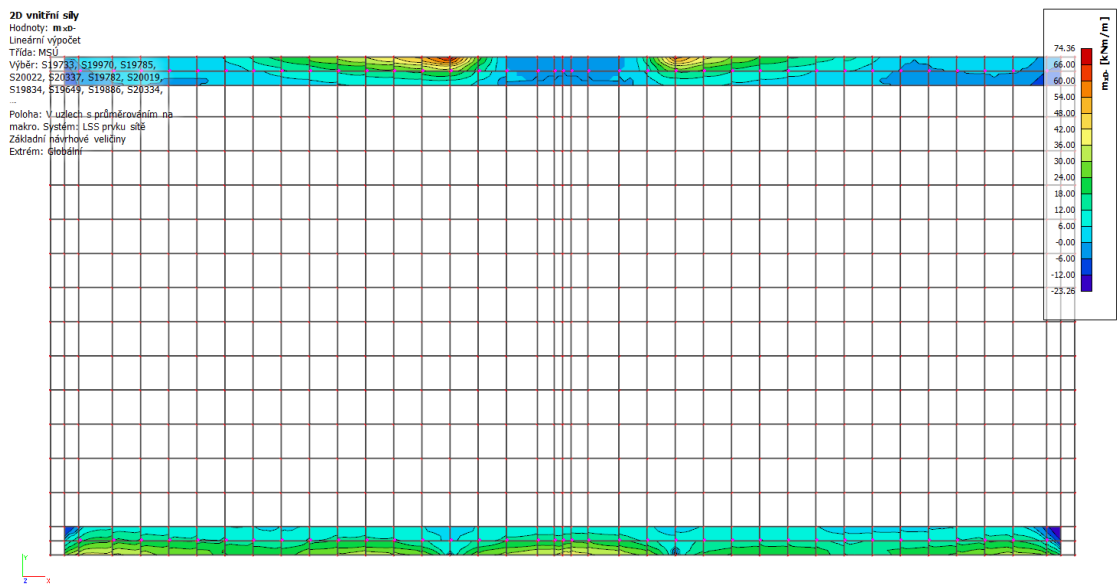


Obr. 6-16 Rohový segment, plocha, mEd, y-

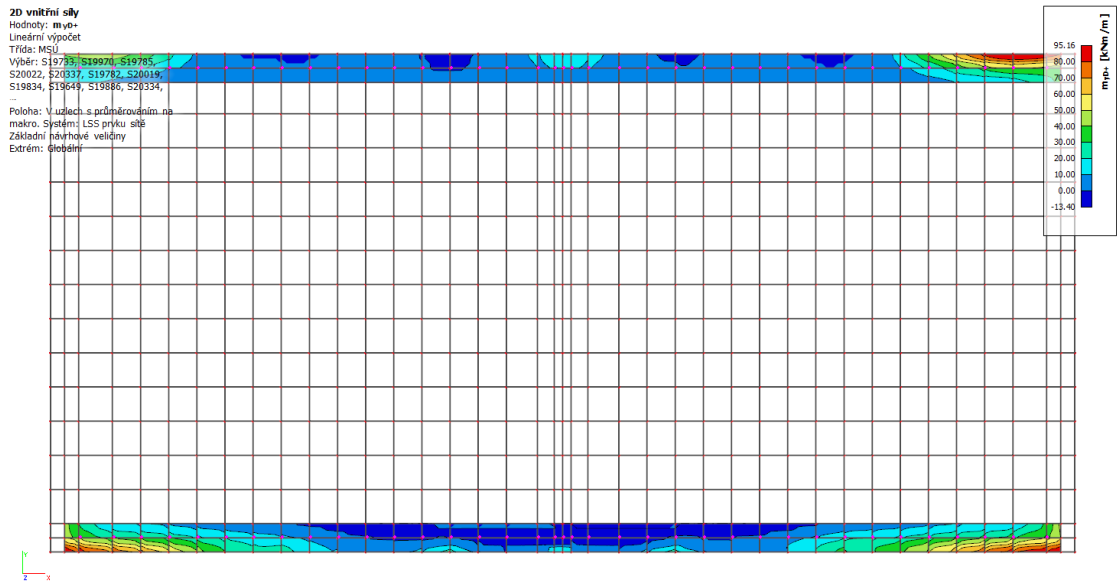




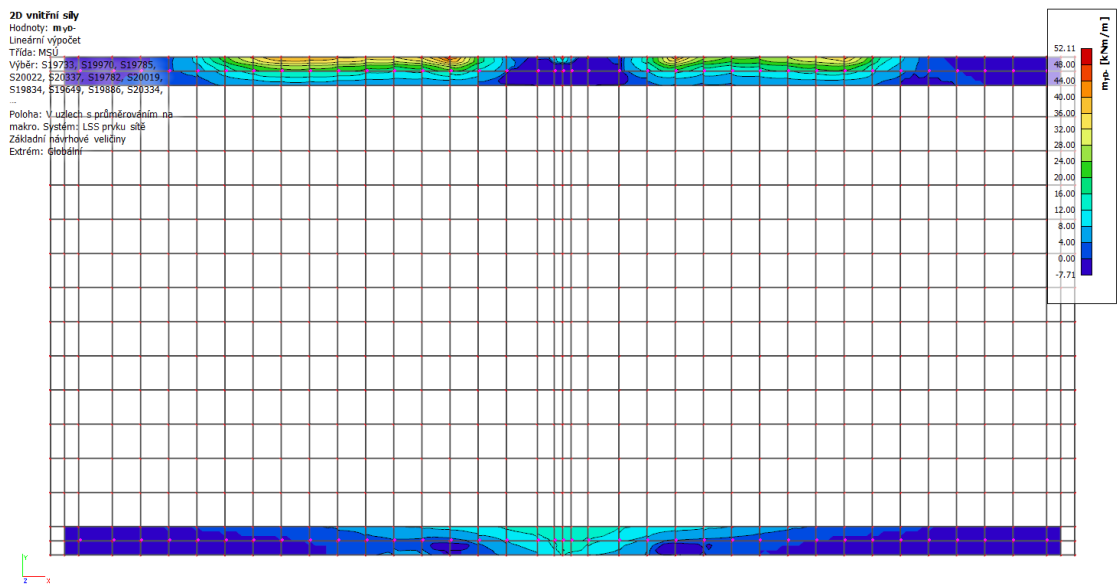
Obr. 6-17 Rohový segment, náběh 250 mm, mEd,x+



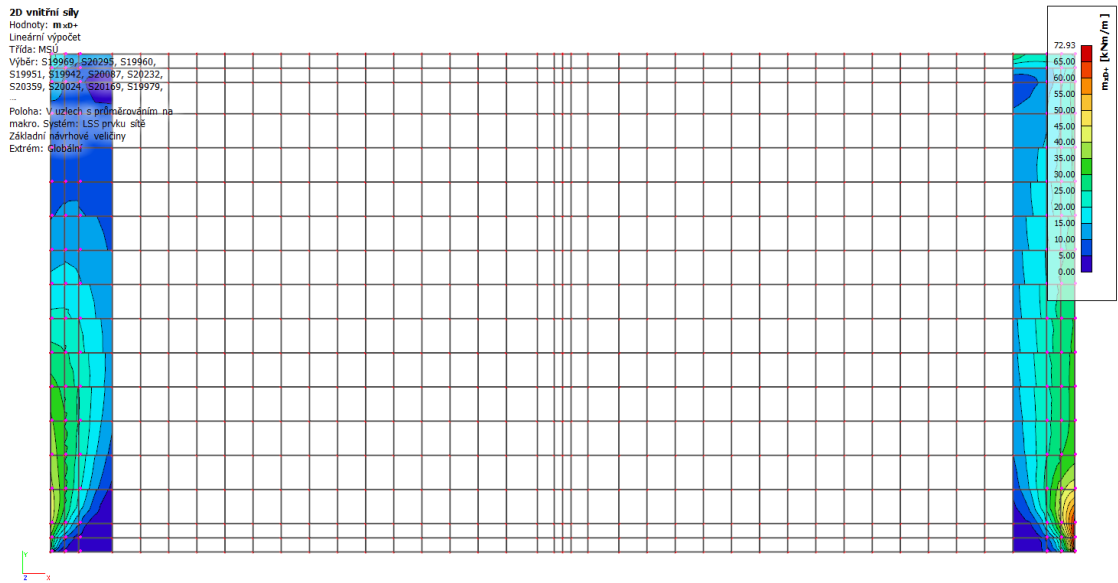
Obr. 6-18 Rohový segment, náběh 250 mm, mEd,x-



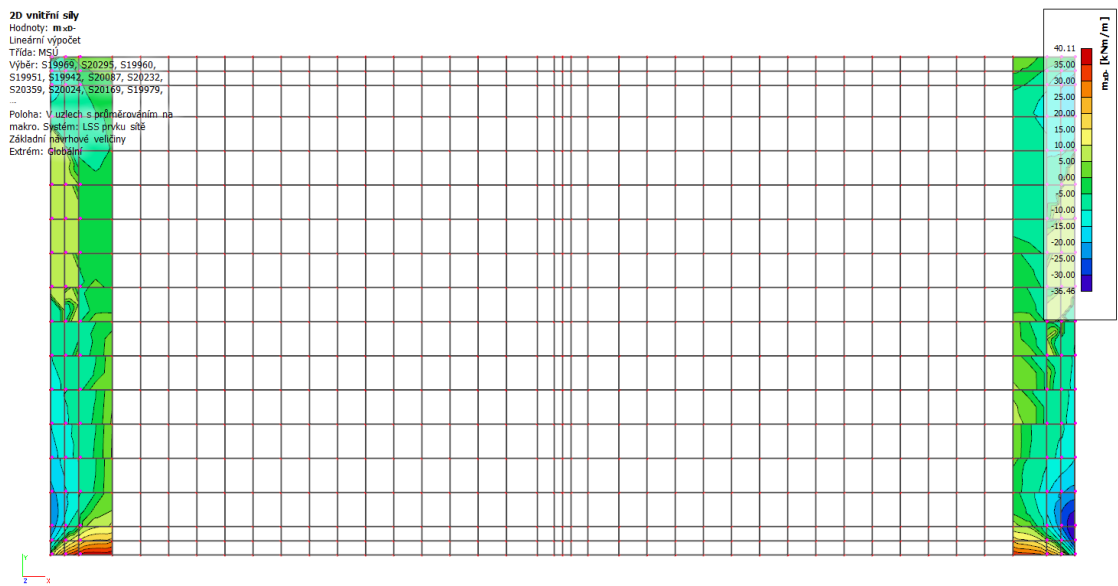
Obr. 6-19 Rohový segment, náběh 250 mm, mEd,y+



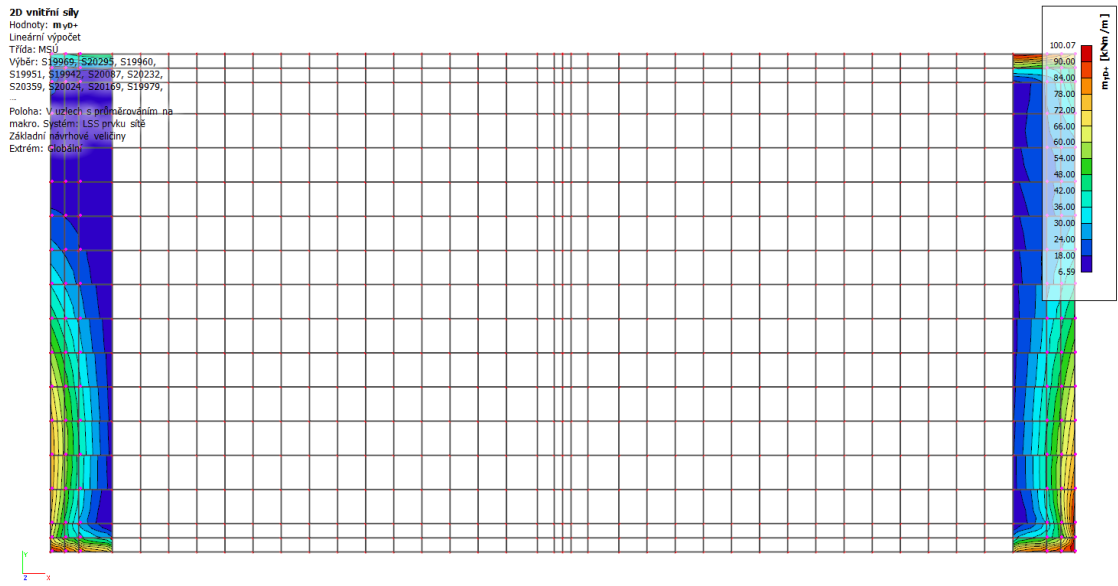
Obr. 6-20 Rohový segment, náběh 250 mm, mEd,y-



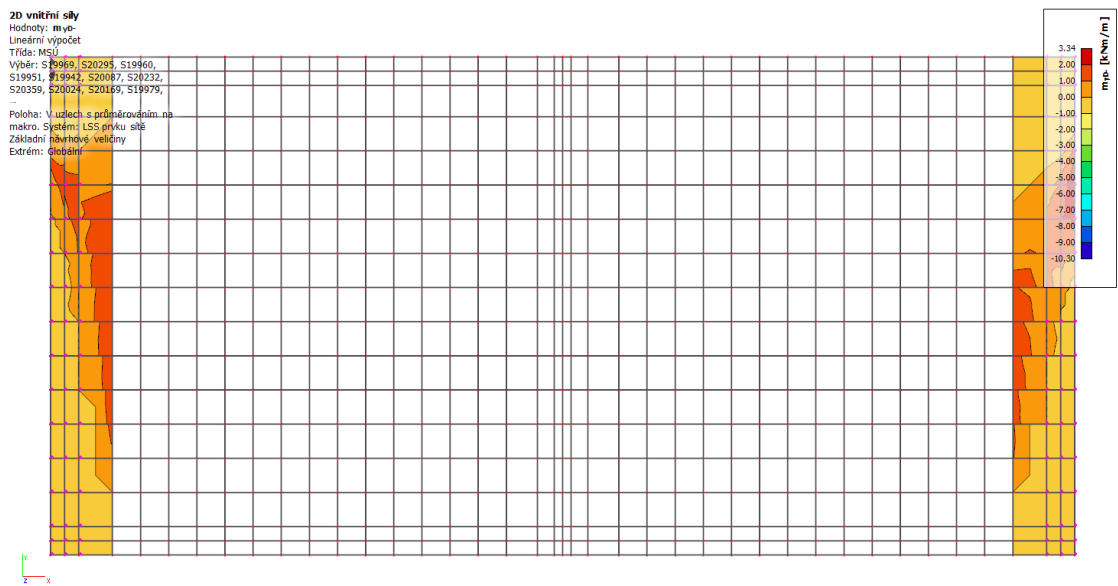
Obr. 6-21 Rohový segment, náběh 300 mm,  $mEd,x+$



Obr. 6-22 Rohový segment, náběh 300 mm,  $mEd,x-$



Obr. 6-23 Rohový segment, náběh 300 mm, mEd,y+



Obr. 6-24 Rohový segment, náběh 300 mm, mEd,y-



# 7 POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

## 7.1 ÚVOD

Bude proveden jeden vzorový výpočet, poté budou všechny výsledky získané stejným způsobem shrnuty v tabulce. Konstrukce je posuzována na návrhové momenty. Smykové síly jsou zanedbatelné. Normálové síly jsou převážně tlakové a nacházejí se v oblasti interakčního diagramu, kde se nesnižuje momentová únosnost.

## 7.2 POSOUZENÍ

$$m_{Ed,x^+} = 15,1 \text{ kNm/m}$$

$$\phi = 10 \text{ mm}$$

$$h = 110 \text{ mm}$$

$$c = 45 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1,5\phi = 110 - 45 - 1,5 \cdot 10 = 50 \text{ mm}$$

$$z' = 0,9d = 0,9 \cdot 50 = 45 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = m_{Ed,x^+} / f_{yd} / z = 15,1 / 434,78 / 45 \cdot 10^6 = 771,78 \text{ mm}^2/\text{m}$$

NÁVRH: 12ks  $\phi 10/\text{m}$

$$a_{s,prov} = \pi \cdot (\phi/2)^2 \cdot n = \pi \cdot (10/2)^2 \cdot 12 = 942,48 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$x = a_{s,prov} \cdot f_{yd} / f_{cd} = 942,48 \cdot 464,78 / 20 \cdot 10^{-3} = 19,21 \text{ mm}$$

$$x / d = 19,21 / 45 = 0,384 < 0,45$$

**VYHOVUJE**

$$z = d - 0,4x = 45 - 0,4 \cdot 19,21 = 42,32 \text{ mm}$$

$$m_{Rd,x^+} = z \cdot a_{s,prov} \cdot f_{yd} = 42,32 \cdot 942,48 \cdot 434,78 \cdot 10^{-6} = 17,34 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x^+} / m_{Rd,x^+} = 15,1 / 17,34 = 0,871 < 1,0$$

**VYHOVUJE**



Tabulka 7-1 Posouzení MSÚ

Oblast	Moment		$\emptyset$	h	c	$\emptyset$ do d	d	n	$a_{s,prov}$	x	x/d	< 0,45
	[kNm/m]	[mm]										
Plocha	$m_{Ed,x+}$	15,1	10	110	45	1,5	50	12	942,48	19,21	<b>0,384</b>	OK
	$m_{Ed,x-}$	15,1	10	110	45	0,5	60	12	942,48	19,21	<b>0,320</b>	OK
	$m_{Ed,y+}$	17	10	110	45	0,5	60	14	1099,56	22,41	<b>0,373</b>	OK
	$m_{Ed,y-}$	17	10	110	45	1,5	50	14	1099,56	22,41	<b>0,448</b>	OK
Náběh / 250	$m_{Ed,x+}$	47	10	250	115	1,5	120	24	1884,96	38,42	<b>0,320</b>	OK
	$m_{Ed,x-}$	75	10	250	115	0,5	130	24	1884,96	38,42	<b>0,296</b>	OK
	$m_{Ed,y+}$	96	10	250	115	0,5	130	28	2199,11	44,82	<b>0,345</b>	OK
	$m_{Ed,y-}$	53	10	250	115	1,5	120	28	2199,11	44,82	<b>0,373</b>	OK
Náběh / 300	$m_{Ed,x+}$	73	10	300	140	1,5	145	24	1884,96	38,42	<b>0,265</b>	OK
	$m_{Ed,x-}$	41	10	300	140	0,5	155	24	1884,96	38,42	<b>0,248</b>	OK
	$m_{Ed,y+}$	101	10	300	140	0,5	155	28	2199,11	44,82	<b>0,289</b>	OK
	$m_{Ed,y-}$	4	10	300	140	1,5	145	28	2199,11	44,82	<b>0,309</b>	OK
									z	$m_{Rd}$	$m_{Ed}/m_{Rd}$	< 1
									[mm]	[kNm/m]		
Plocha	$m_{Ed,x+}$								42,32	17,34	<b>0,871</b>	OK
	$m_{Ed,x-}$								52,32	21,44	<b>0,704</b>	OK
	$m_{Ed,y+}$								51,04	24,40	<b>0,697</b>	OK
	$m_{Ed,y-}$								41,04	19,62	<b>0,867</b>	OK
Náběh / 250	$m_{Ed,x+}$								104,63	85,75	<b>0,548</b>	OK
	$m_{Ed,x-}$								114,63	93,95	<b>0,798</b>	OK
	$m_{Ed,y+}$								112,07	107,16	<b>0,896</b>	OK
	$m_{Ed,y-}$								102,07	97,60	<b>0,543</b>	OK
Náběh / 300	$m_{Ed,x+}$								129,63	106,24	<b>0,687</b>	OK
	$m_{Ed,x-}$								139,63	114,44	<b>0,358</b>	OK
	$m_{Ed,y+}$								137,07	131,06	<b>0,771</b>	OK
	$m_{Ed,y-}$								127,07	121,50	<b>0,033</b>	OK



### 7.3 PŘEHLED NAVRŽENÉ VÝZTUŽE

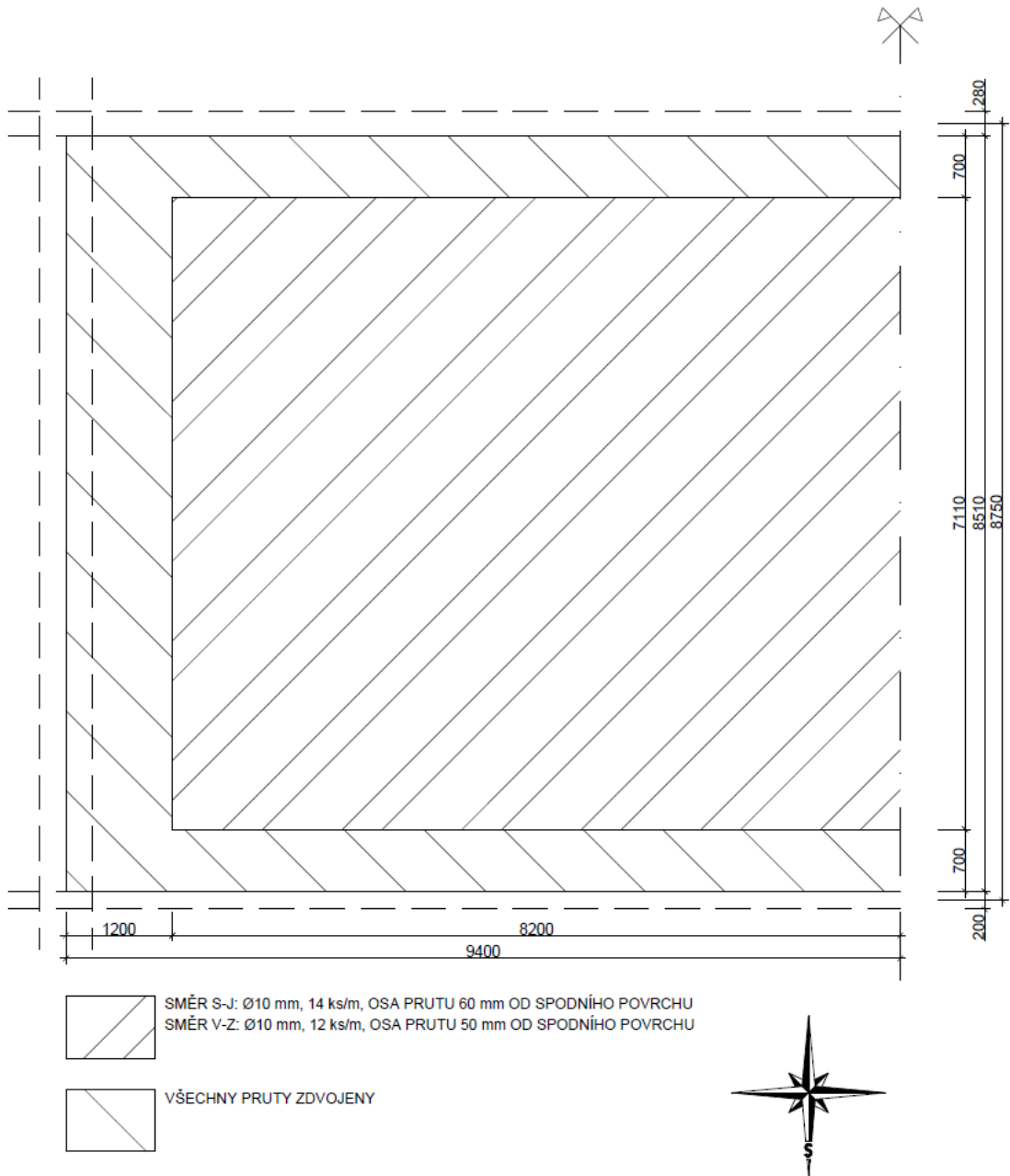
Konstrukce VYHOVUJE v mezním stavu únosnosti pro tuto navrženou výztuž:

Tabulka 7-2 Přehled navržené výztuže

Oblast	Směr	Ø [mm]	Pozice	Počet do 1 m	Rozteč [mm]
Plocha	x	10	Dolní	12	83,33
	y	10	Horní	14	71,43
Náběh	x	2x10	Dolní	12	83,33
	y	2x10	Horní	14	71,43

V náběžích (plus přesah 200 mm) jsou navrženy profily 10 svázané do dvojic.





Obr. 7-1 Schéma navržené výztuže



# 8 POSOUZENÍ KONSTRUKCE – MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

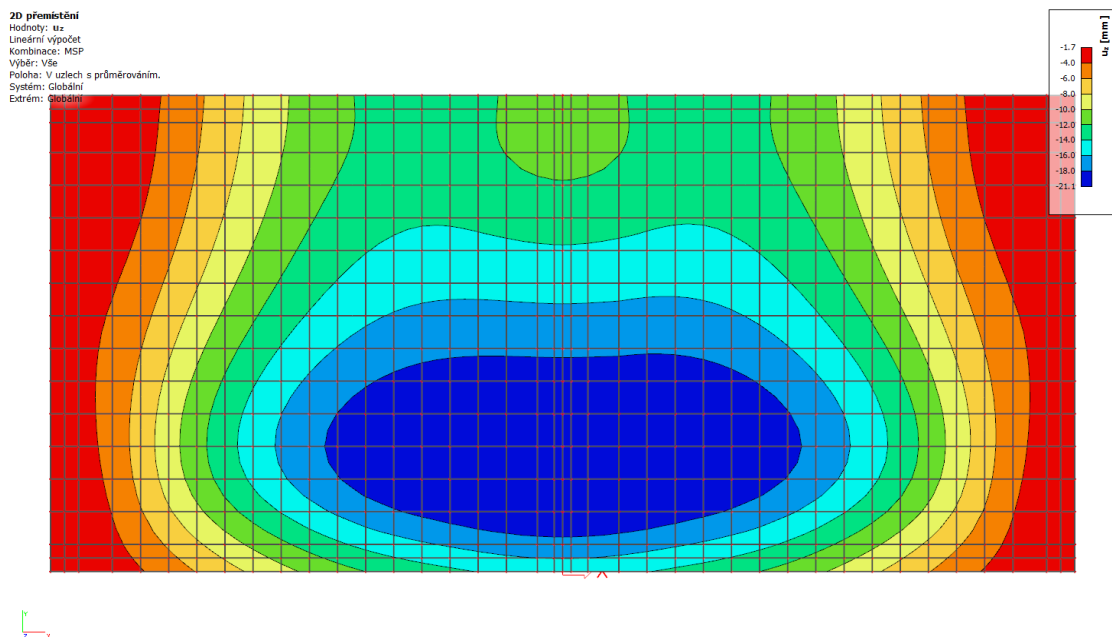
## 8.1 ÚVOD

Konstrukce bez problému vyhověla z hlediska průhybu při uvážení charakteristických hodnot, nebylo se tedy třeba rozhodovat mezi použitím kombinací pro MSP.

Limitní průhyb byl stanoven:

$$w_{\text{lim}} = L / 300 = 8750 / 300 = 29,17 \text{ mm}$$

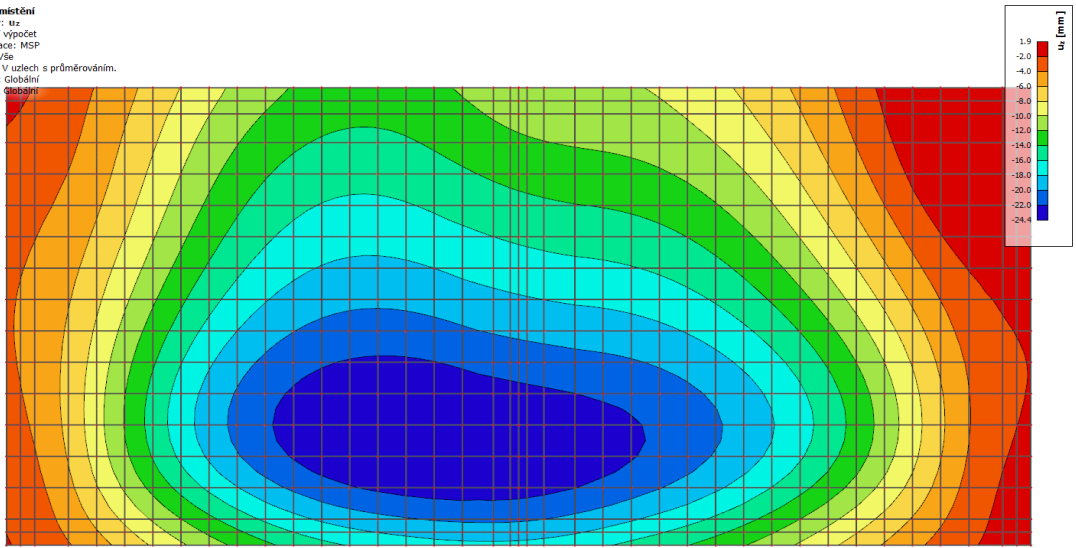
## 8.2 DEFORMACE KONSTRUKCE



Obr. 8-1 Prostřední segment, deformace



2D přeměnění  
Hodnoty: uz  
Lineární výpočet  
Kombinace: MSP  
Výběr: Vše  
Polooha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: Globální  
Extrem: Odesání



Obr. 8-2 Rohový segment, deformace



## 9 ZÁVĚR

### 9.1 NAVRŽENÁ KONSTRUKCE

Nová konstrukce má stejnou geometrii střednice jako konstrukce původní. Je vynecháno prostřední ztužující žebro, charakteristická tloušťka je 110 mm. Na okrajích v příčném směru je vytvořen náběh na tl. 300 mm na vzdálenost 1000 mm od středu podpůrné konstrukce, na okrajích v podélném směru je vytvořen náběh na tl. 250 mm na vzdálenost 500 mm od okraje podpůrné konstrukce. Materiál nových skořepin je beton C40/50.

Betonářská výztuž je navržena B500B, profil 10 mm. V podélném směru bude v počtu 12 ks/m v příčném směru 14 ks/m resp.  $\dot{a}$  83 mm v podélném směru a  $\dot{a}$  71 mm v příčném směru. Výztuž je umístěna v ose skořepiny, přičemž výztuž v příčném směru je ve spodní vrstvě (tj. její osa je 50 mm od spodního okraje v nezesílené části konstrukce). V místě náběhů plus kotevní délka 200 mm (tj. celkem 700 mm od okraje v podélném směru a 1200 mm od okraje v příčném směru) budou všechny profily zdvojeny.

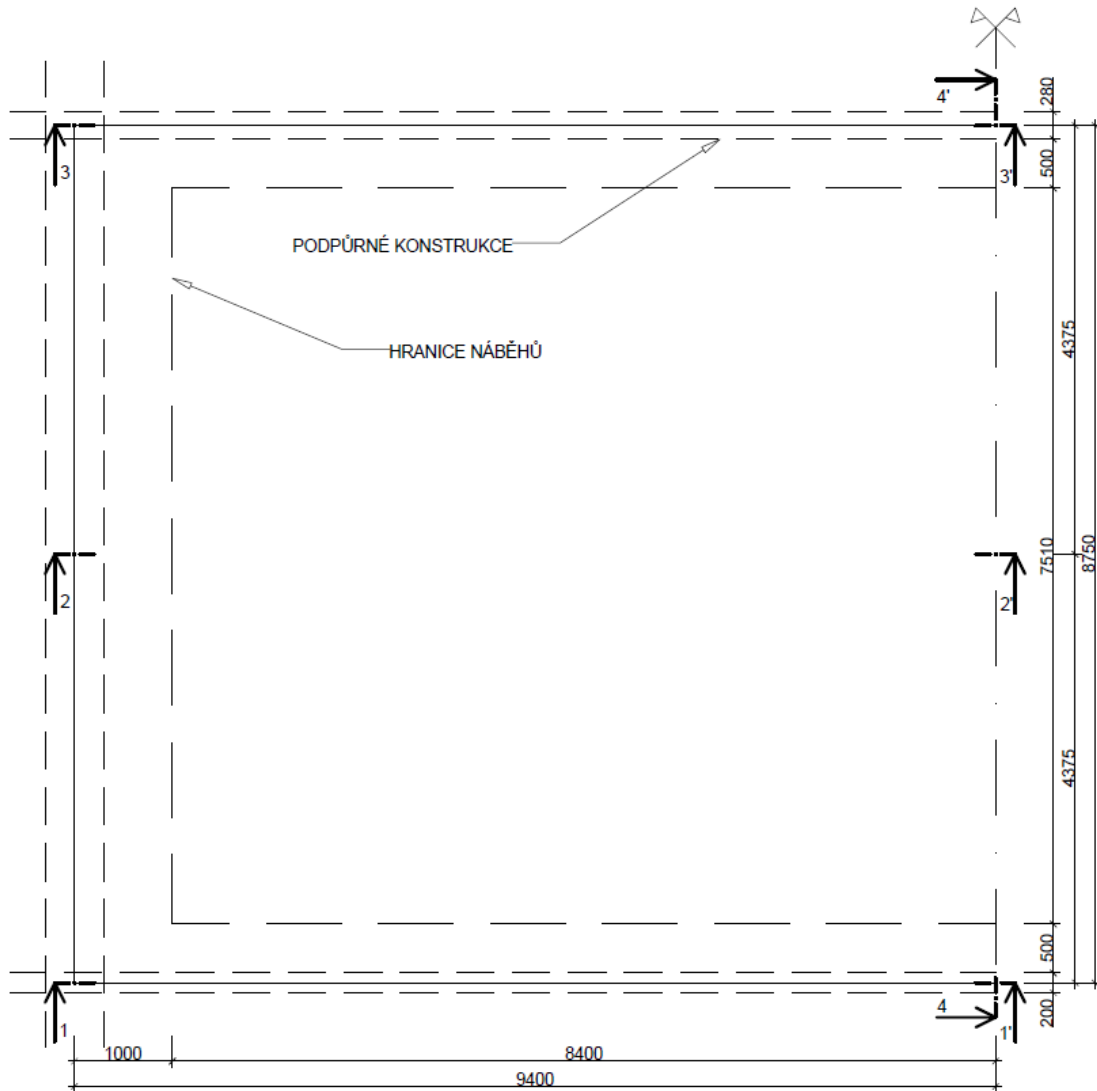
Na konstrukci byla na horním povrchu navržena tepelná izolace z expandovaného polystyrenu tl. 100 mm a střešní krytina NAIP tl. 10 mm.

### 9.2 ZHODNOCENÍ KONSTRUKCE

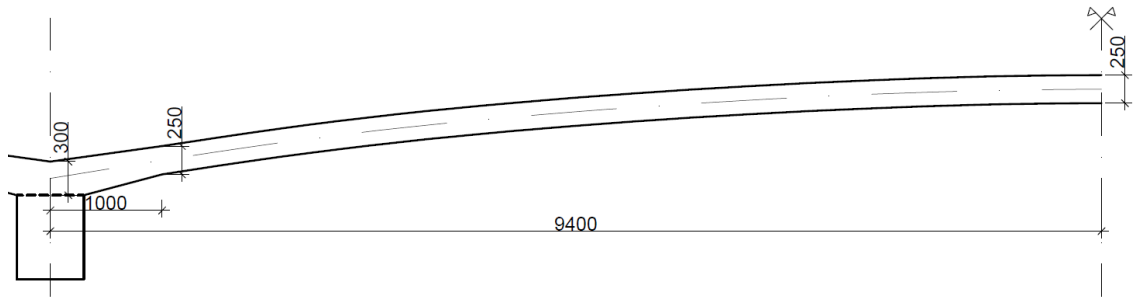
Konstrukce vyhoví dle platných norem, ale je velmi neefektivní. Při tomto tvaru je na hranici proveditelnosti. Pokud by investor trval na skořepinové konstrukci bylo by vhodné změnit i podpůrné konstrukce, především zvýšit vzepětí ve spodním trámu, pravděpodobně pak zvýšit křivost u okrajů v příčném směru. Ze statického a pravděpodobně i ekonomického hlediska bude vhodnější volit jinou variantu konstrukce, několik možností je nastíněno v hlavní části diplomové práce, kapitola 4.3.



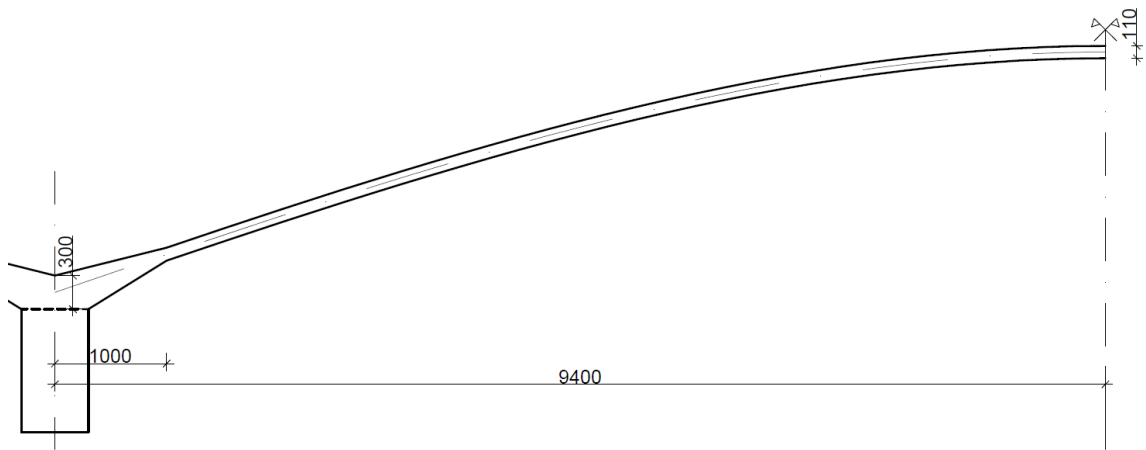
### 9.3 SCHÉMATA NAVRŽENÉ KONSTRUKCE



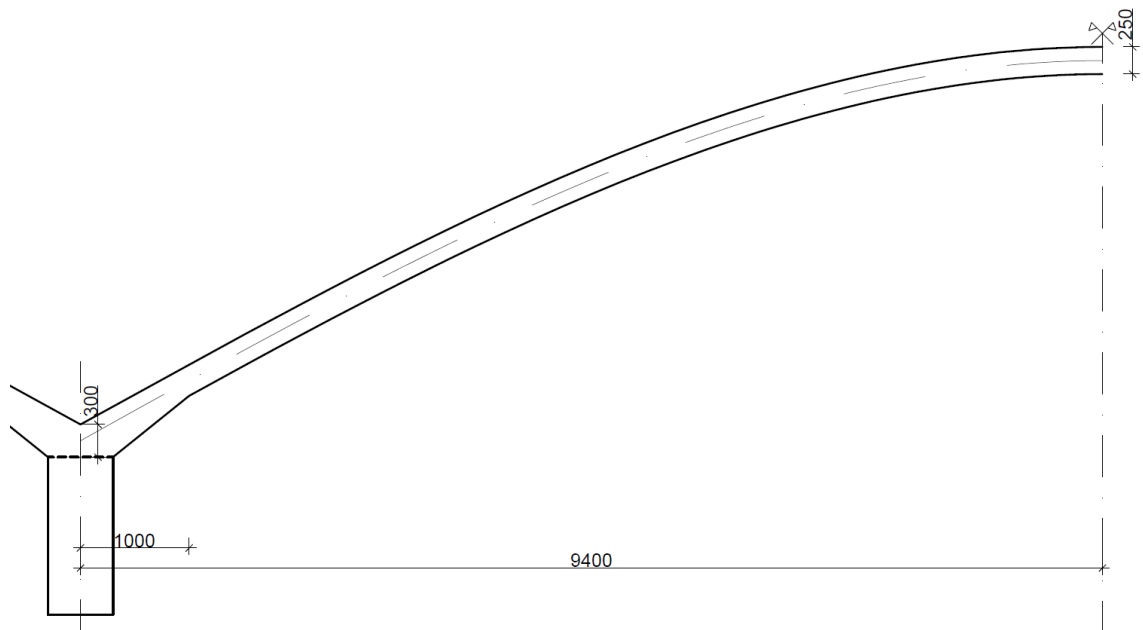
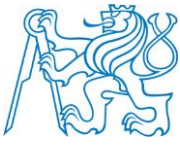
Obr. 9-1 Schéma tvaru konstrukce, půdorys



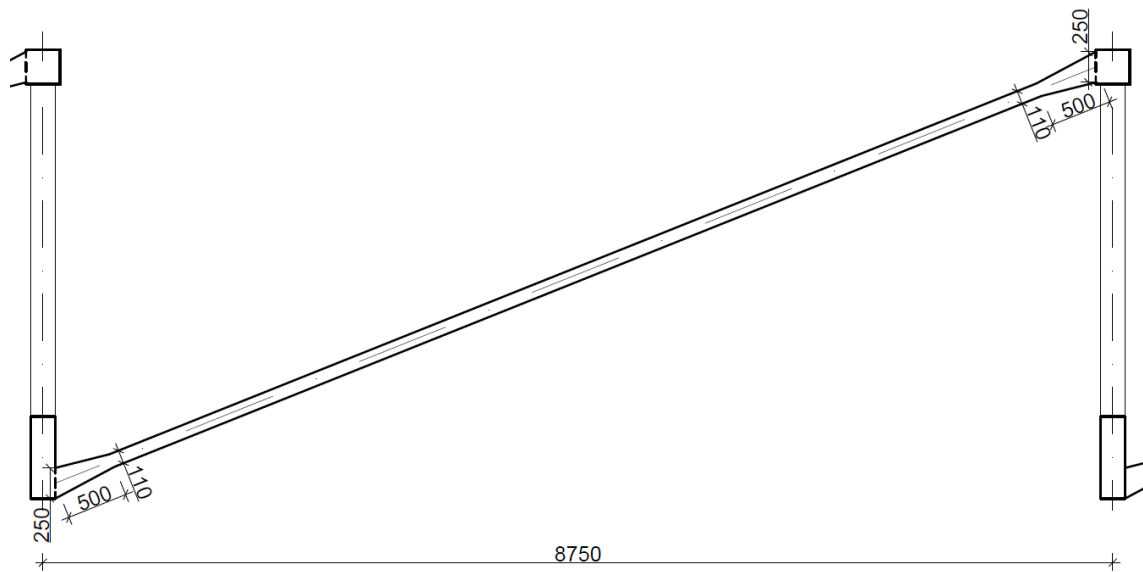
Obr. 9-2 Schéma tvaru konstrukce, příčný řez u spodní hrany, 1-1'



Obr. 9-3 Schéma tvaru konstrukce, příčný řez středem rozpětí, 2-2'



Obr. 9-4 Schéma tvaru konstrukce, příčný řez ve vrcholu, 3-3'



Obr. 9-5 Schéma tvaru konstrukce, podélný řez středem rozpětí, 4-4'