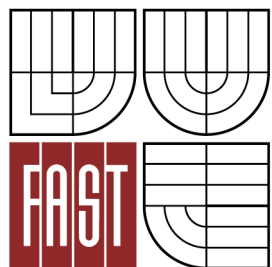




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

P4) ŘEŠENÍ VNITŘNÍCH SIL A VÝSTUPY VÝPOČETNÍHO PROGRAMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ANNA MARKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2013

OBSAH

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | VSTUPY A VÝSTUPY VÝPOČETNÍHO PROGRAMU | 2 |
| 1.1. | Konstrukce | 2 |
| 1.2. | Zatížení | 4 |
| 1.3. | Výpočet | 10 |
| 1.4. | Výsledky | 11 |
| 1.4.1. | Přemístění uzlů | 11 |
| 1.4.2. | Vnitřní síly | 15 |
| 1.4.3. | Napětí | 16 |
| 2. | ZJEDNODUŠENÝ VÝPOČET METODOU SOUČTOVÝCH MOMENTŮ | 22 |
| 3. | SROVNÁNÍ VÝPOČTU PROGRAMEM A ZJEDNODUŠENOU METODOU | 24 |

1. VSTUPY A VÝSTUPY VÝPOČETNÍHO PROGRAMU

1.1.Konstrukce

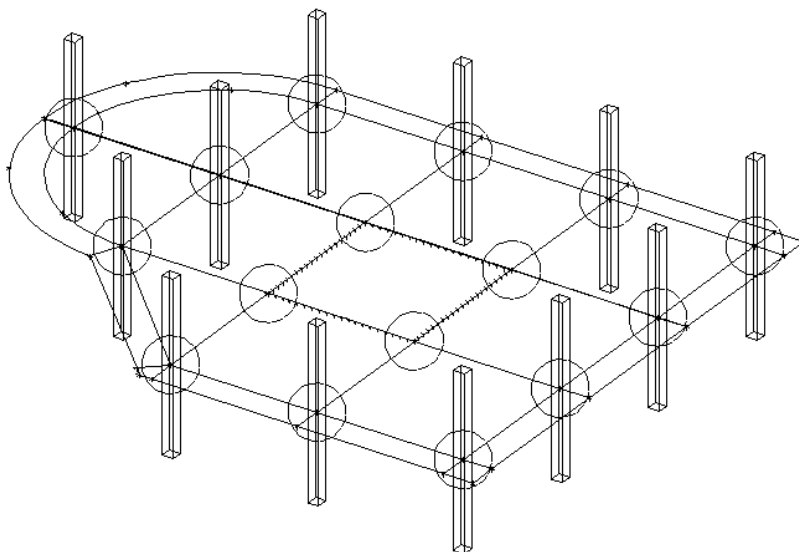
Materiály

| | |
|---|---------------|
| Typ | Beton |
| Jméno | C25/30 [6206] |
| Jednotková hmotnost [kg/m ³] | 2500,00 |
| E [MPa] | 3,1000e+04 |
| Poisson - nu | 0,15 |
| G [MPa] | 1,3478e+04 |
| Dostředný tlak [MPa] | 7,20 |
| Tlak za ohybu, Mimostředný tlak [MPa] | 14,50 |
| Tlak za ohybu, Mimostředný tlak v obd. prur.[>20cm] [MPa] | 14,50 |

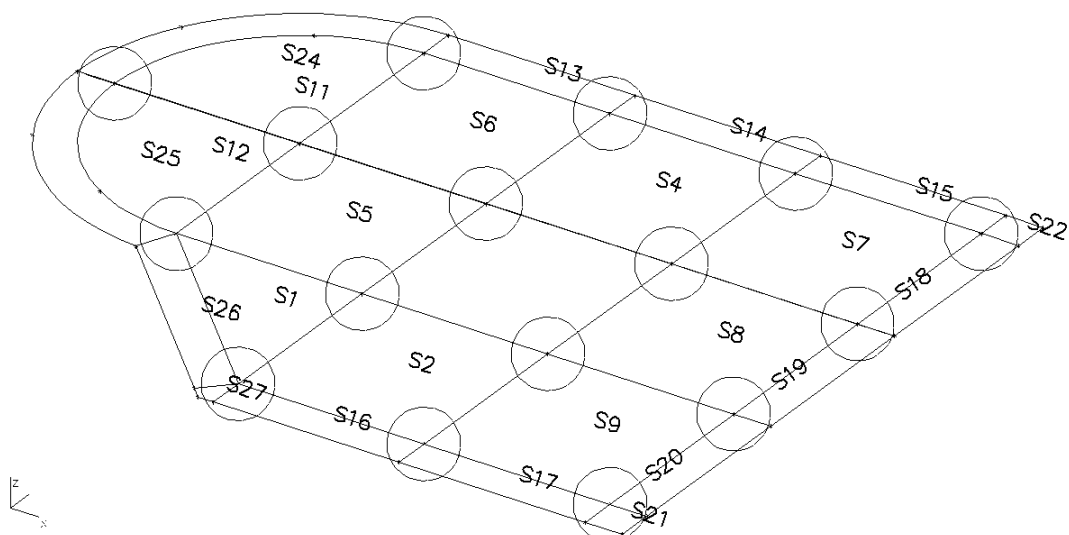
Průřez

| | | |
|----------|---------------|--|
| Jméno | SLOUP | |
| Typ | Obdélník | |
| Detailní | 450; 450 | |
| Materiál | C25/30 [6206] | |
| Výroba | beton | |

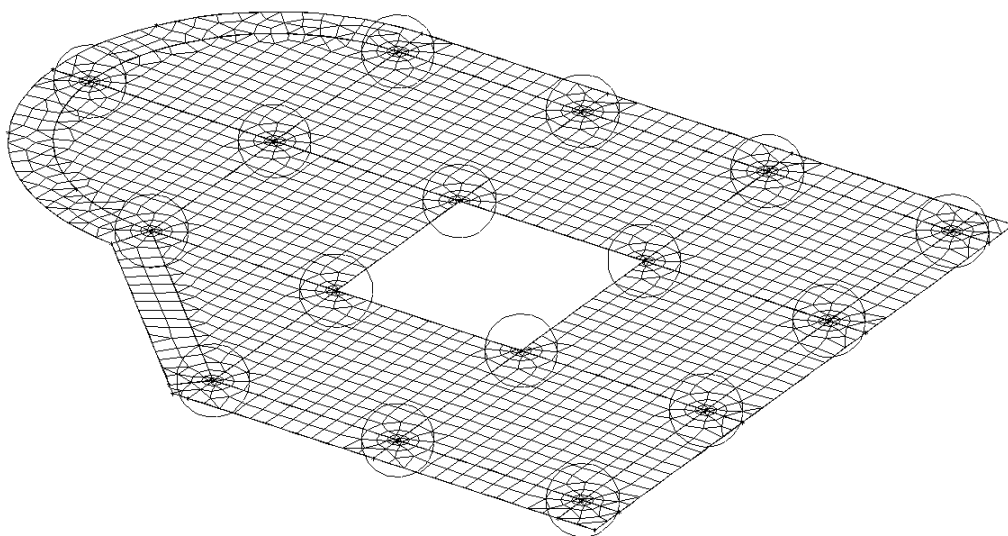
Model



Popisy desek



Sít' konečných prvků



Hmoty v uzlu

| Typ jméno | Typ bodového zjemnění sítě | Poloměr [m] | Poměr |
|-----------------------------|----------------------------|-------------|-------|
| Zahuštění sítě v okolí uzlu | Lineární přírůstek | 1,000 | 0,2 |

v místě zahuštění jsou sloupové podpory

Liniové podpory na hranách ploch

| Plocha | Hrana | Z | Rx | Ry |
|--------|-------|------|------|------|
| S5 | 2 | Tuhý | Tuhý | Tuhý |
| S4 | 1 | Tuhý | Tuhý | Tuhý |
| S8 | 4 | Tuhý | Tuhý | Tuhý |

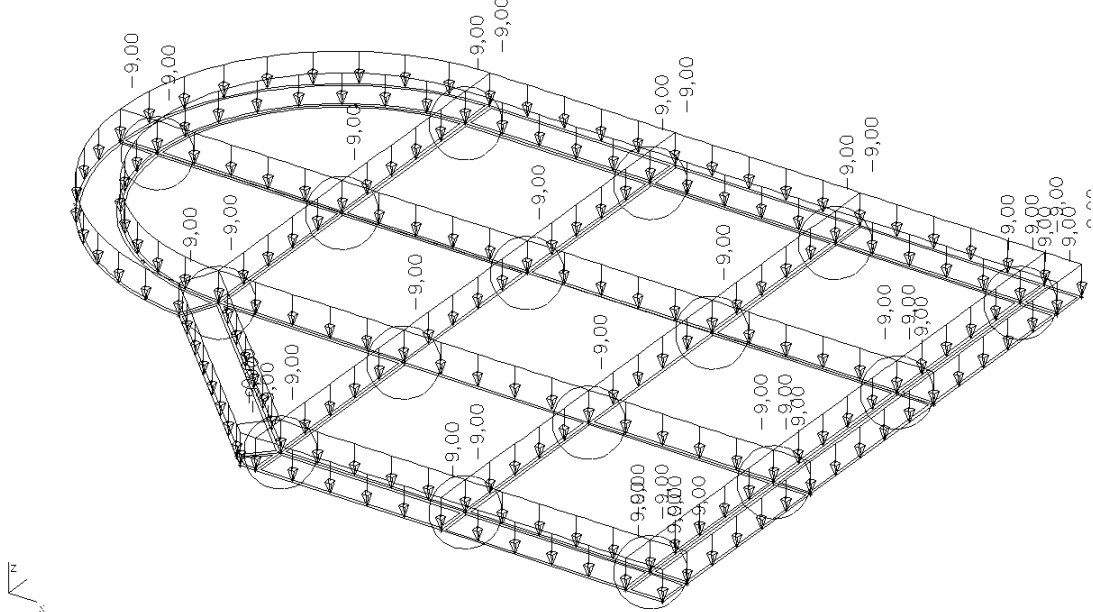
| | | | | |
|----|---|------|------|------|
| S2 | 3 | Tuhý | Tuhý | Tuhý |
|----|---|------|------|------|

1.2.Zatížení

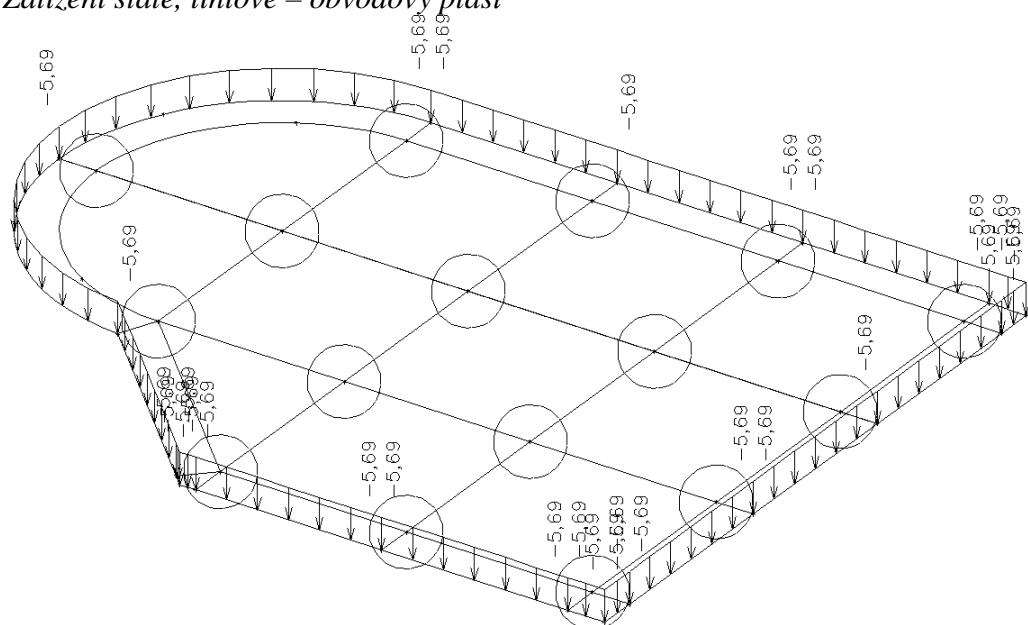
Zatěžovací stavy

| Jméno | Popis | Typ působení | Typ zatížení | Působení |
|-------|----------------------|--------------|--------------|------------|
| LC1 | podlaha | Stálé | Standard | |
| LC2 | plášť | Stálé | Standard | |
| LC3 | proměnné plné | Nahodilé | Statické | Dlouhodobé |
| LC4 | proměnné ŠACH1 | Nahodilé | Statické | Dlouhodobé |
| LC5 | proměnné ŠACH2 | Nahodilé | Statické | Dlouhodobé |
| LC6 | proměnné pás x liché | Nahodilé | Statické | Dlouhodobé |
| LC7 | proměnné pás x sudé | Nahodilé | Statické | Dlouhodobé |
| LC8 | proměnné pás y liché | Nahodilé | Statické | Dlouhodobé |
| LC9 | proměnné pás y sudé | Nahodilé | Statické | Dlouhodobé |

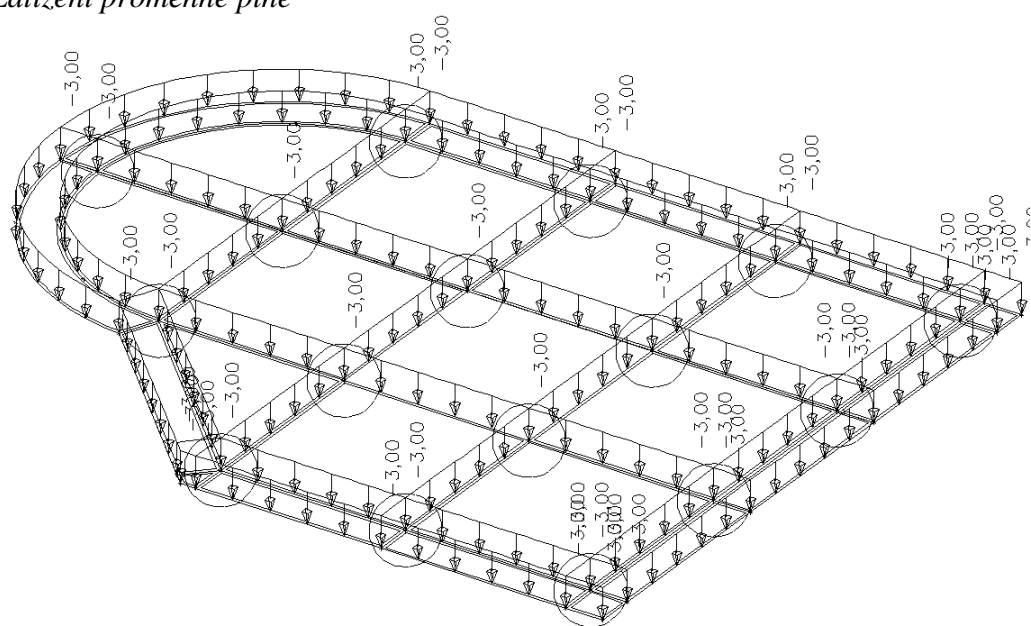
Zatížení stálé, rovnoměrné, plné - podlaha



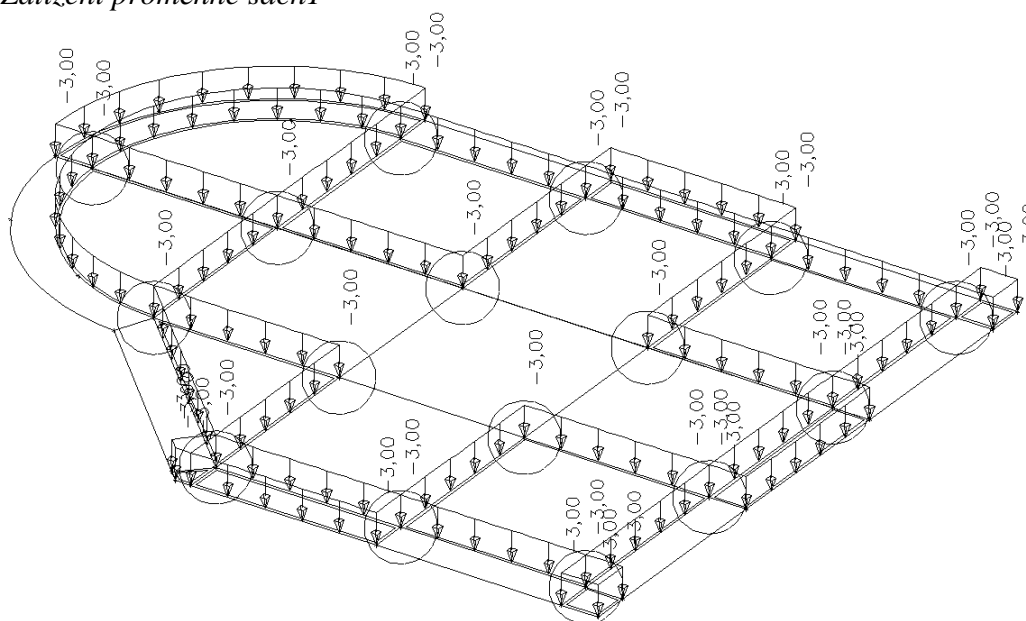
Zatížení stálé, liniové – obvodový plášť



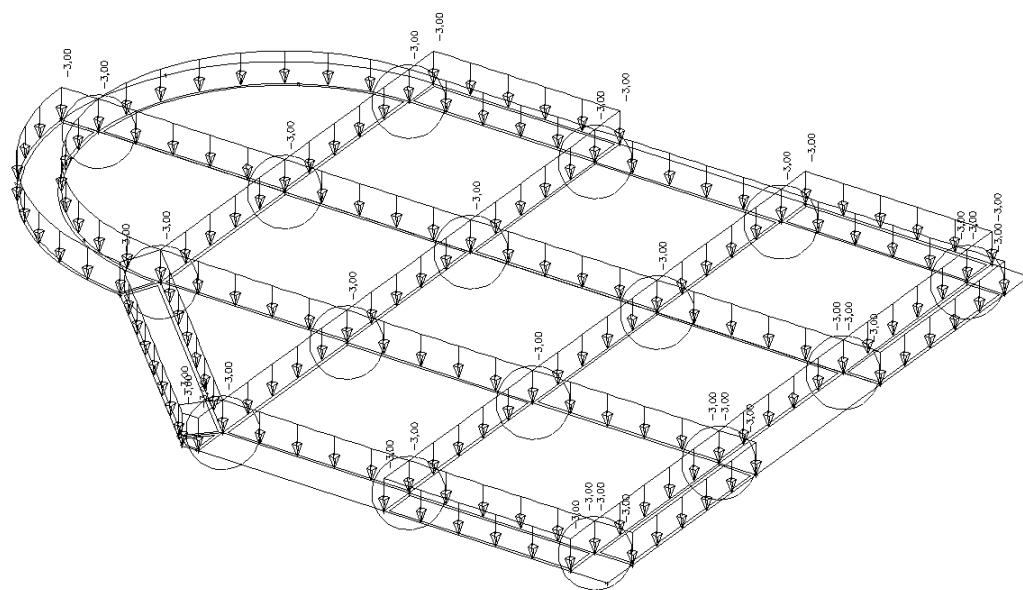
Zatížení proměnné plné



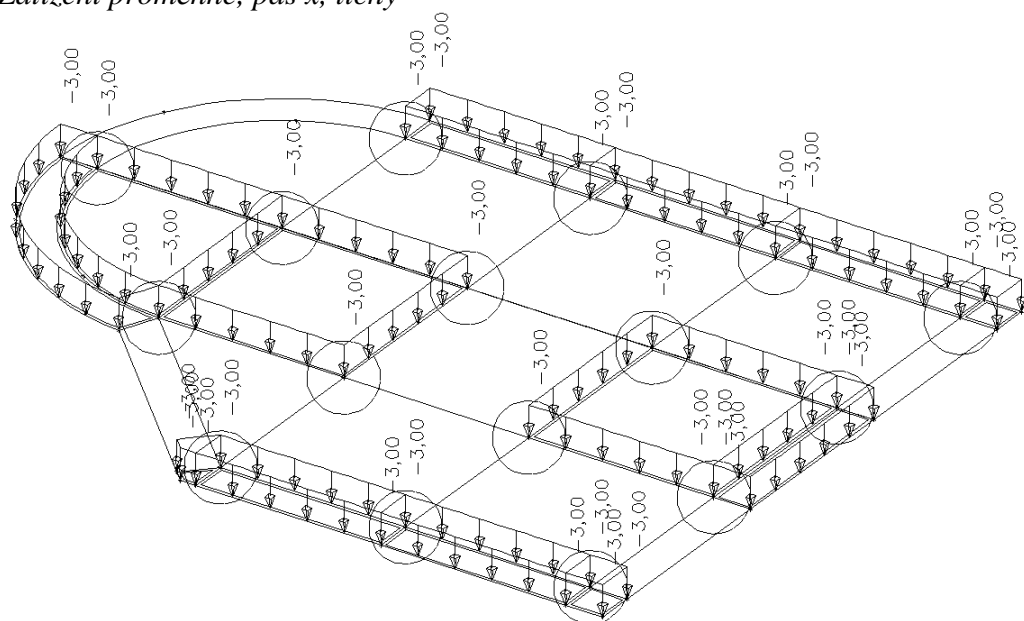
Zatížení proměnné šach1



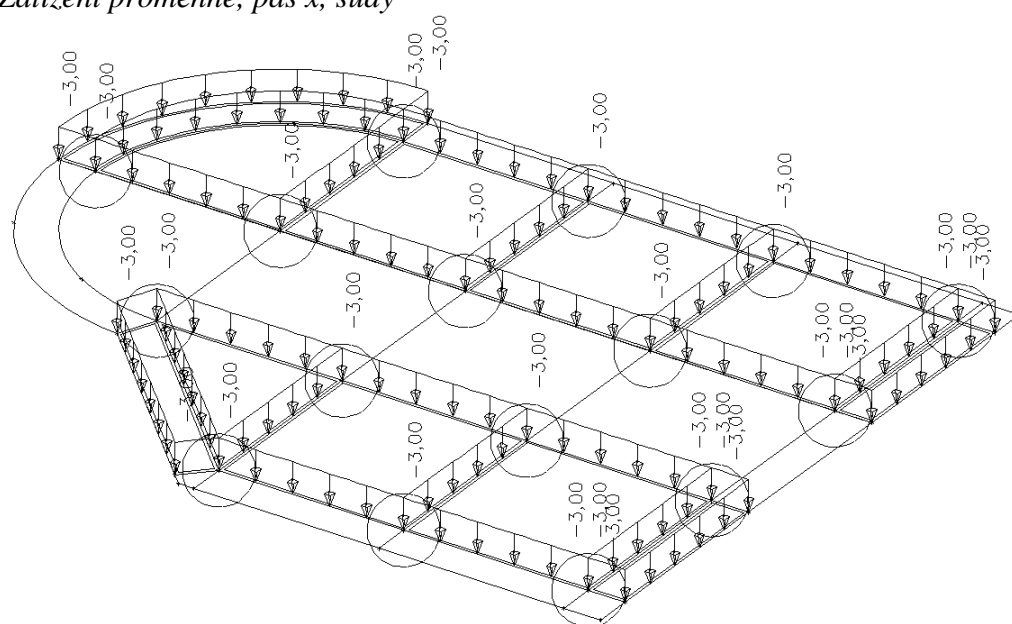
Zatížení proměnné šach2



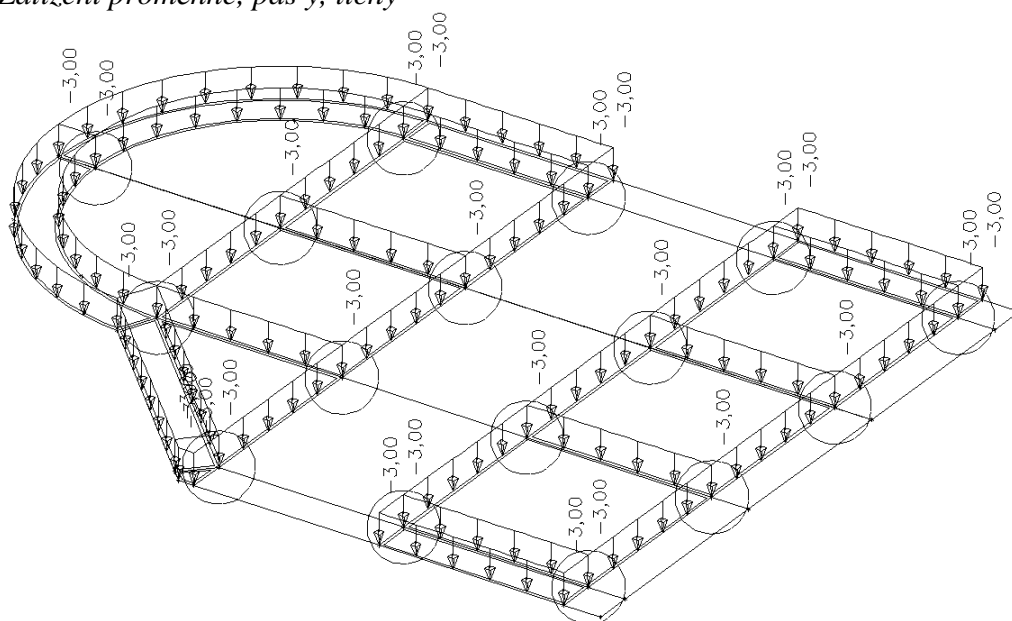
Zatížení proměnné, pás x, lichý



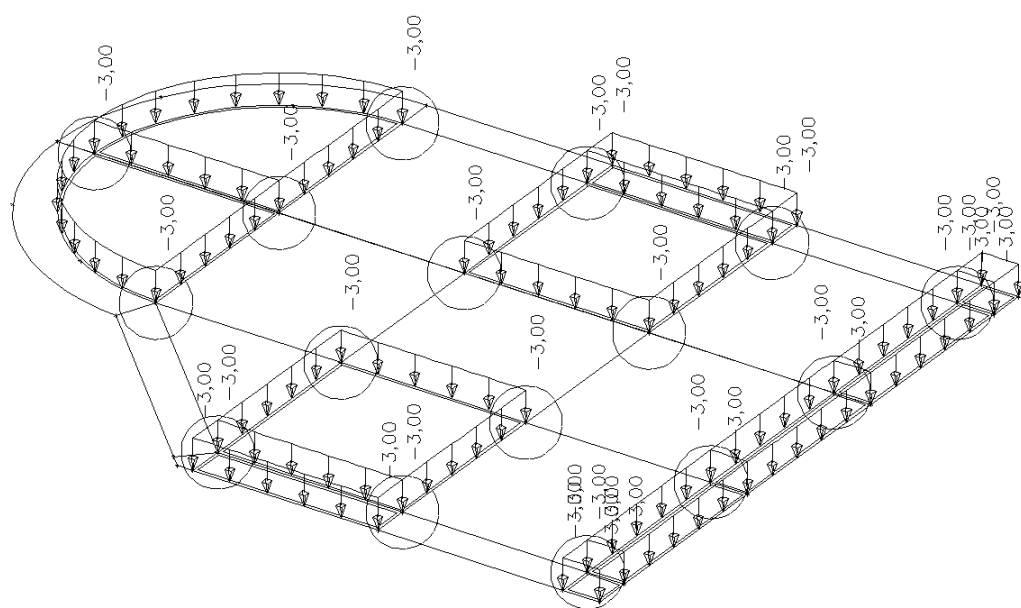
Zatížení proměnné, pás x, sudý



Zatížení proměnné, pás y, lichý



Zatížení proměnné, pás y, sudý



Kombinace

| Jméno | Popis | Zatěžovací stavy | Souč. [-] |
|-------|-----------------------|--|----------------------|
| CO1 | 1,35, pr. plné | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC3 - proměnné plné | 1,35 1,35 1,50 |
| CO2 | 1,35, pr. šach1 | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC4 - proměnné ŠACH1 | 1,35 1,35 1,50 |
| CO3 | 1,35, pr. šach2 | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC5 - proměnné ŠACH2 | 1,35 1,35 1,50 |
| CO4 | 1,35, pr. pás x liché | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC6 - proměnné pás x liché | 1,35 1,35 1,50 |
| CO5 | 1,35, pr. pás x sudé | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC7 - proměnné pás x sudé | 1,35 1,35 1,50 |
| CO6 | 1,35, pr. pás y liché | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC8 - proměnné pás y liché | 1,35 1,35 1,50 |
| CO7 | 1,35, pr. pás y sudé | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC9 - proměnné pás y sudé | 1,35 1,35 1,50 |
| CO8 | 1, pr. plné | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC3 - proměnné plné | 1,00 1,00 1,50 |
| CO9 | 1, pr. šach1 | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC4 - proměnné ŠACH1 | 1,00 1,00 1,50 |
| CO10 | 1, pr. šach2 | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC5 - proměnné ŠACH2 | 1,00 1,00 1,50 |
| CO11 | 1, pr. pás x liché | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC6 - proměnné pás x liché | 1,00 1,00 1,50 |
| CO12 | 1, pr. pás x sudé | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC7 - proměnné pás x sudé | 1,00 1,00 1,50 |
| CO13 | 1, pr. pás y liché | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC8 - proměnné pás y liché | 1,00 1,00 1,50 |
| CO14 | 1, pr. pás y sudé | LC1 - podlaha LC2 - plášť LC9 - proměnné pás y sudé | 1,00 1,00 1,50 |

1.3. Výpočet

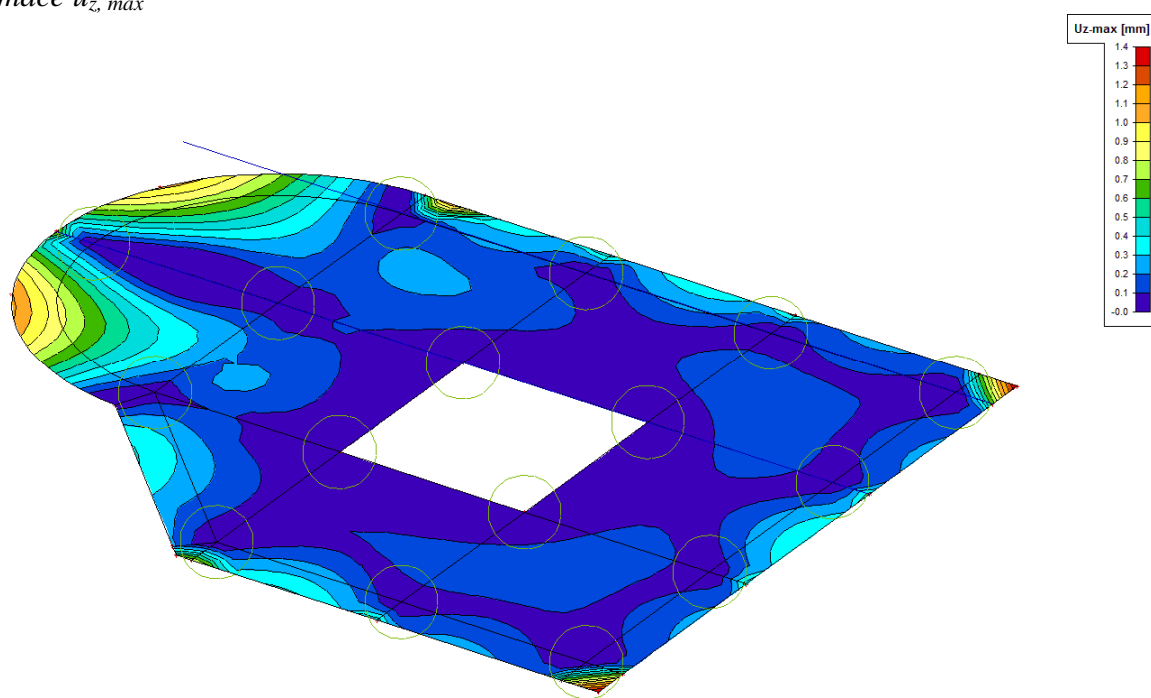
Protokol o výpočtu

| | | |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| Protokol o výpočtu. | | |
| Lineární výpočet | | |
| Suma zatížení a reakcí. | | |
| | [kN] | Z |
| Zatěžovací stav 1 | zatížení | -3798.2 |
| | reakce v uzlech | 2728.0 |
| | reakce na liniích | 1070.1 |
| Zatěžovací stav 2 | zatížení | -1266.1 |
| | reakce v uzlech | 909.3 |
| | reakce na liniích | 356.7 |
| Zatěžovací stav 3 | zatížení | -477.4 |
| | reakce v uzlech | 521.2 |
| | reakce na liniích | -43.7 |
| Zatěžovací stav 4 | zatížení | -575.2 |
| | reakce v uzlech | 463.0 |
| | reakce na liniích | 112.2 |
| Zatěžovací stav 5 | zatížení | -692.6 |
| | reakce v uzlech | 448.3 |
| | reakce na liniích | 244.3 |
| Zatěžovací stav 6 | zatížení | -477.1 |
| | reakce v uzlech | 370.7 |
| | reakce na liniích | 106.4 |
| Zatěžovací stav 7 | zatížení | -788.9 |
| | reakce v uzlech | 538.6 |
| | reakce na liniích | 250.3 |
| Zatěžovací stav 8 | zatížení | -764.5 |
| | reakce v uzlech | 520.1 |
| | reakce na liniích | 244.4 |
| Zatěžovací stav 9 | zatížení | -501.6 |
| | reakce v uzlech | 389.3 |
| | reakce na liniích | 112.3 |

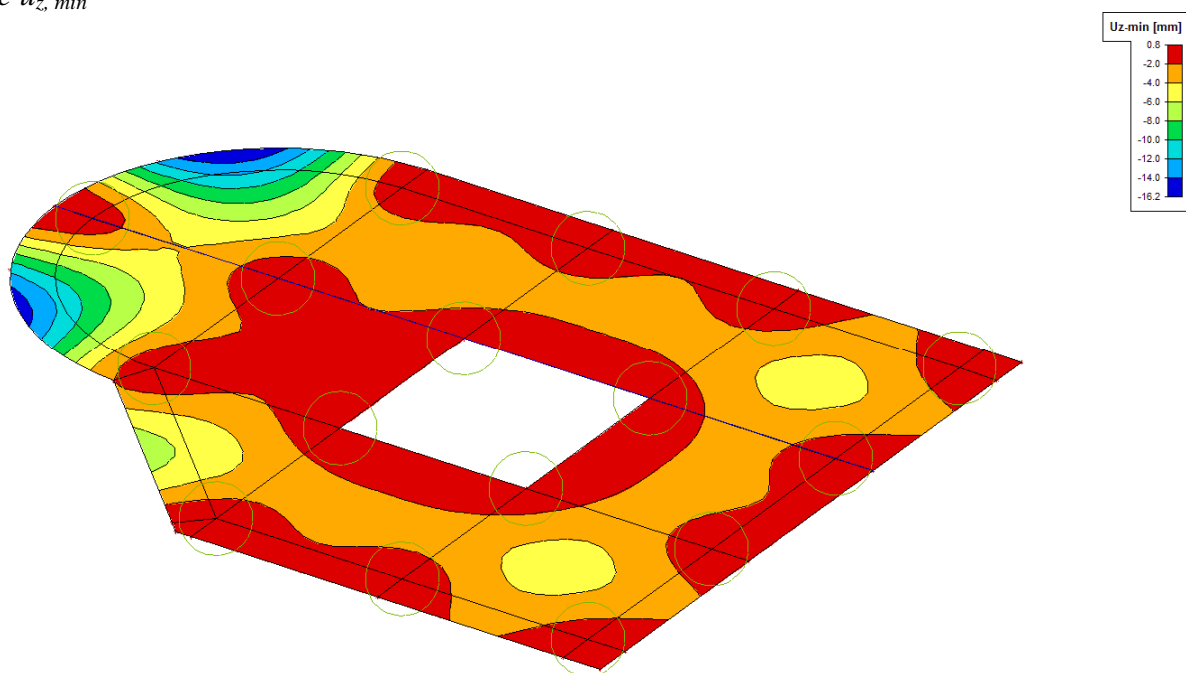
1.4. Výsledky

1.4.1. Přemístění uzlů

Deformace $u_{z, max}$



Deformace $u_{z, min}$



Deformace v místě oblouku je značně velká. Proto jsem experimentálně zkusila navrhnout i jiné varianty tak, abych dosáhla v místě oblouku podobné deformace jako v jiných místech desky. Protože nebyla předepsaná žádná maximální deformace, je dále počítáno s původní deskou.

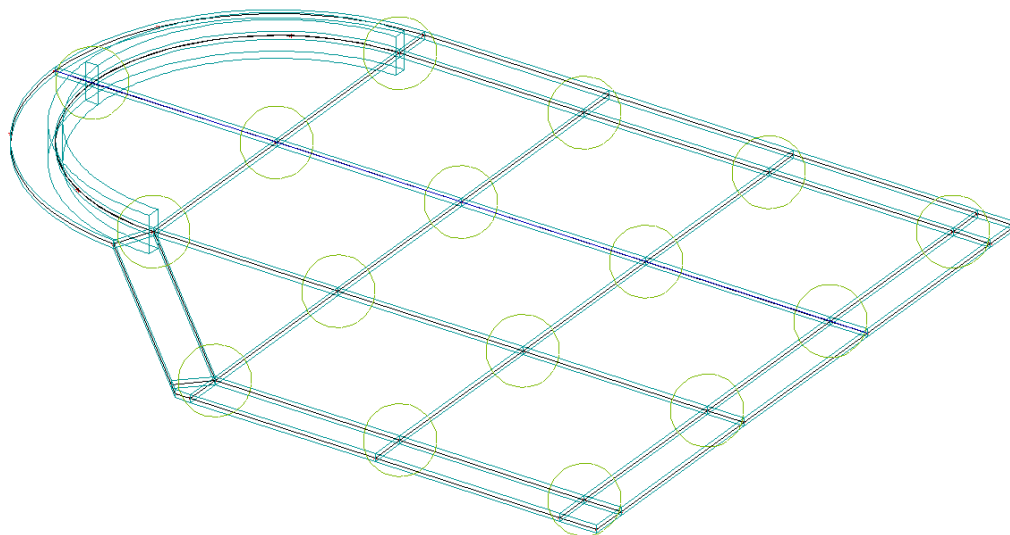
Varianta 1: nosník 1,2 x 0,4 m

Pro dosažení maximální deformace 0,4 mm byl třeba nosník 1,2 x 0,4 m – nepřipustně vysoké

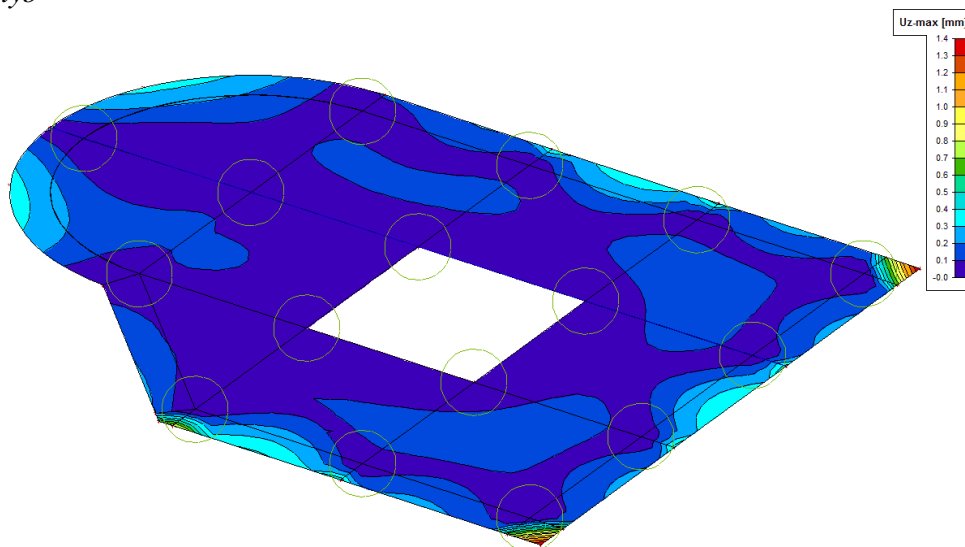
Nosník

| Jméno | Průřez | Délka [m] | Tvar | Poč. uzel | Konc. uzel |
|-------|----------------------------|-----------|--------|-----------|------------|
| B1 | CS5 - Obdélník (1200; 400) | 9,409 | Oblouk | N17 | N12 |
| B2 | CS5 - Obdélník (1200; 400) | 9,409 | Oblouk | N4 | N17 |

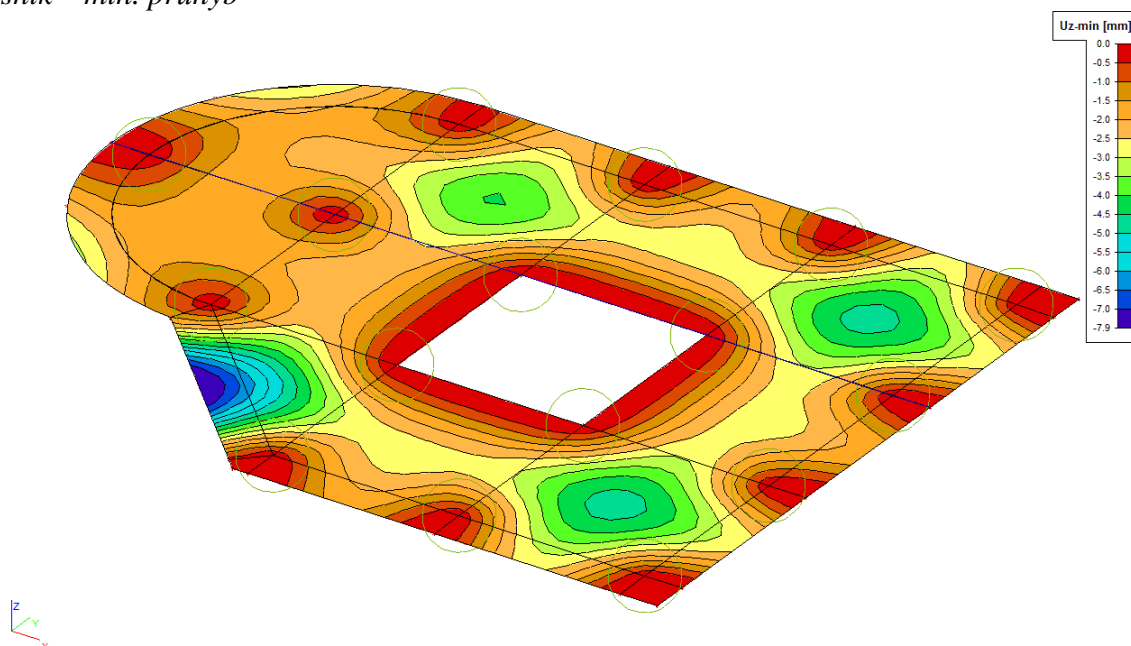
model s nosníkem



nosník – max. průhyb



nosník – min. průhyb



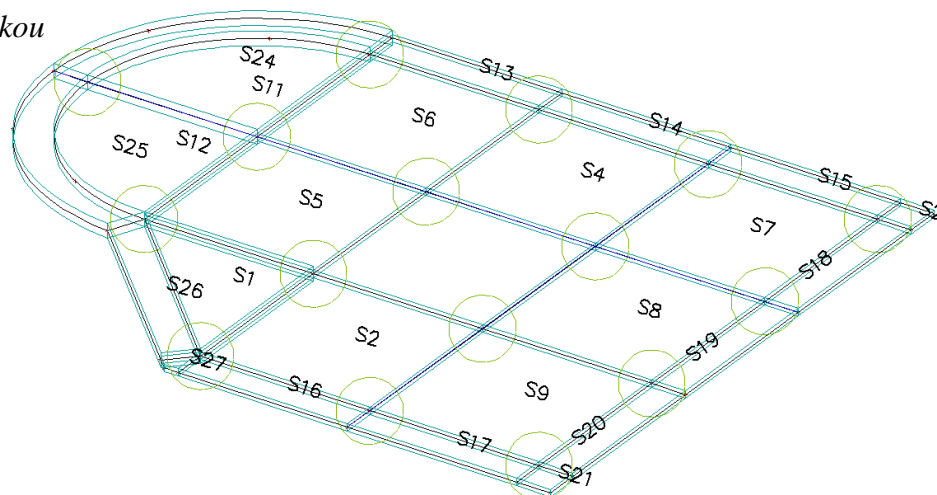
Varianta 2: zesílení desky na 500 mm

Zesílení bylo provedeno v místě oblouku a šikmé hrany. Na zesílenou desku bylo přepočítáno zatížení od vlastní tíhy.

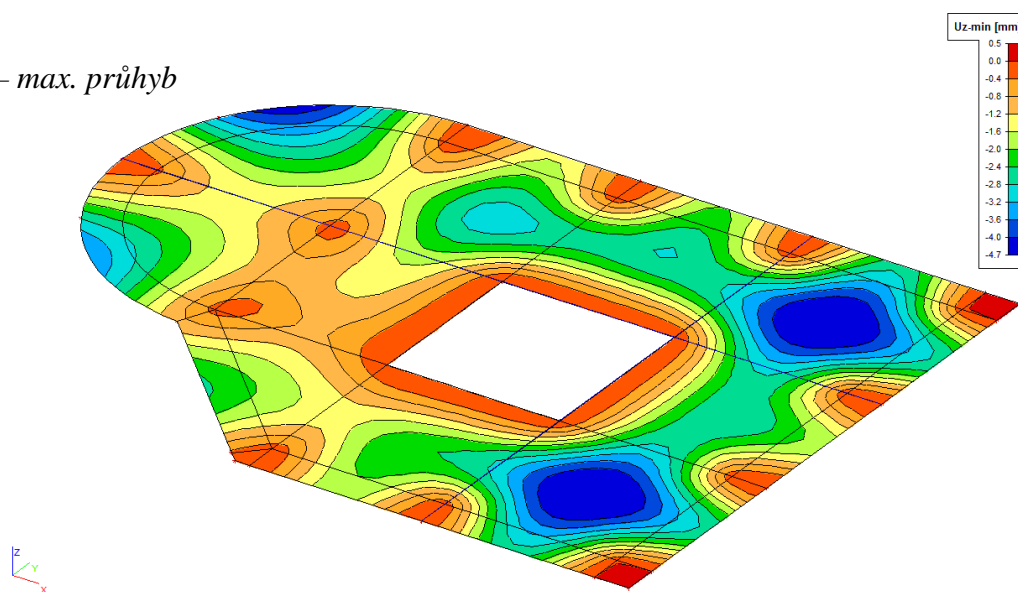
Konstrukce - plocha

| Jméno | Materiál | Tl. [mm] | Typ tloušťky |
|-------|---------------|----------|--------------|
| S2 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S4 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S5 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S6 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S7 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S8 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S9 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S1 | C25/30 [6206] | 500 | konstantní |
| S11 | C25/30 [6206] | 500 | konstantní |
| S12 | C25/30 [6206] | 500 | konstantní |
| S13 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S14 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S15 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S16 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S17 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S18 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S19 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S20 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S21 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S22 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |
| S24 | C25/30 [6206] | 500 | konstantní |
| S25 | C25/30 [6206] | 500 | konstantní |
| S26 | C25/30 [6206] | 500 | konstantní |
| S27 | C25/30 [6206] | 250 | konstantní |

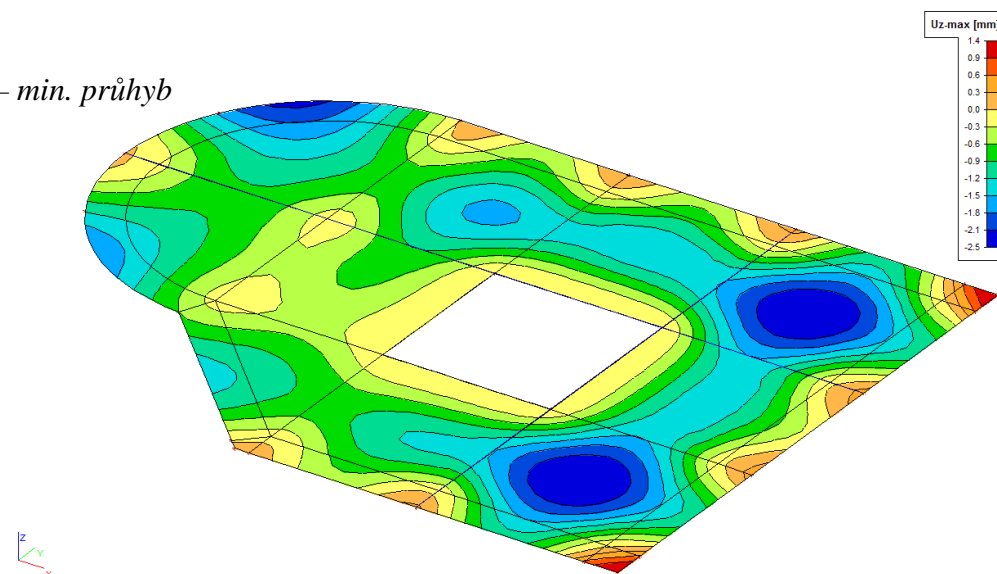
Model se silnější deskou



Zesílená deska – max. průhyb

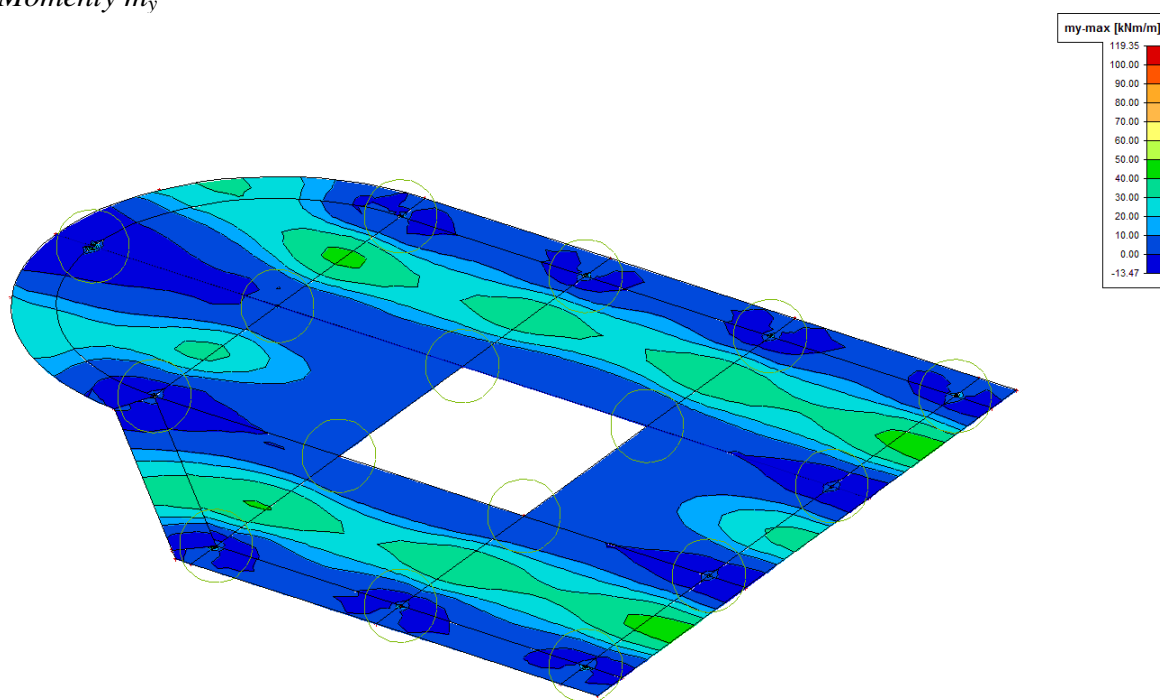


Zesílená deska – min. průhyb

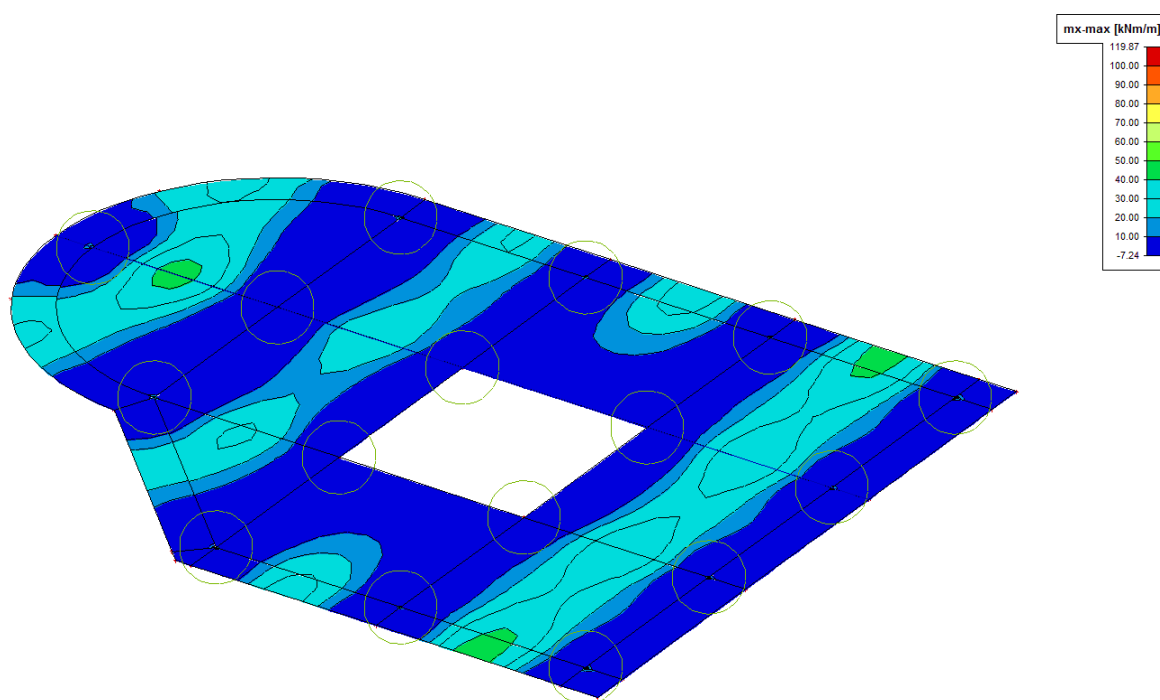


1.4.2. Vnitřní síly

Momenty m_y

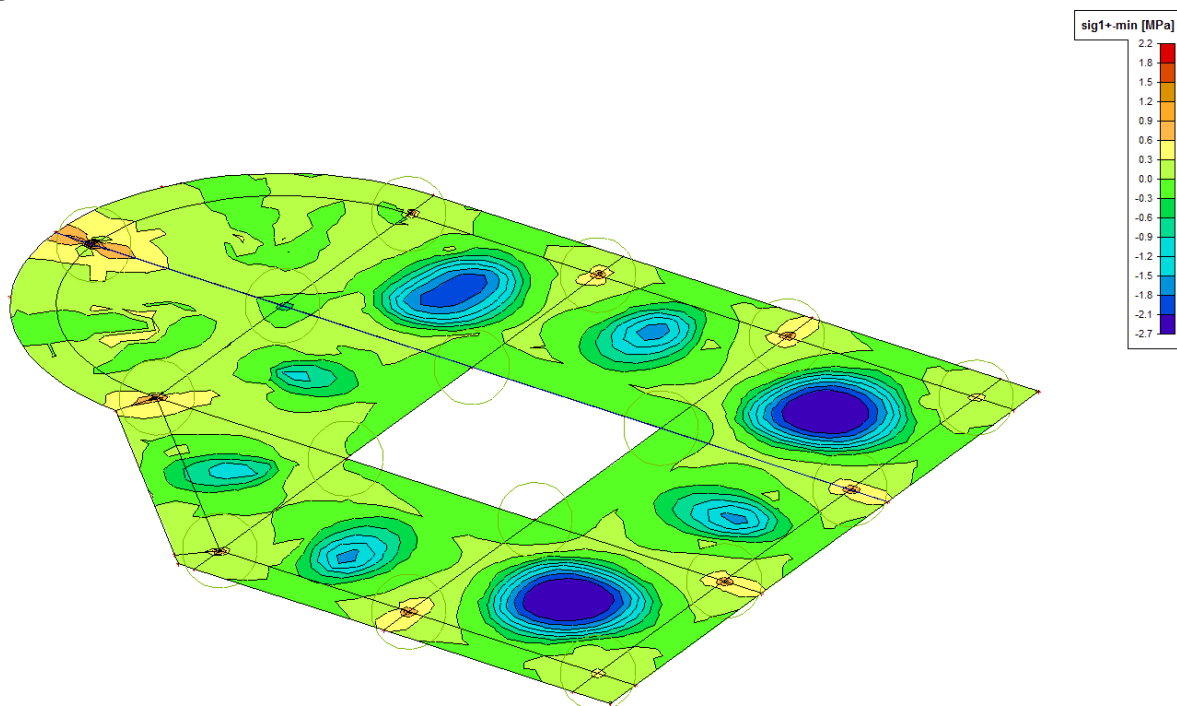


Momenty m_x

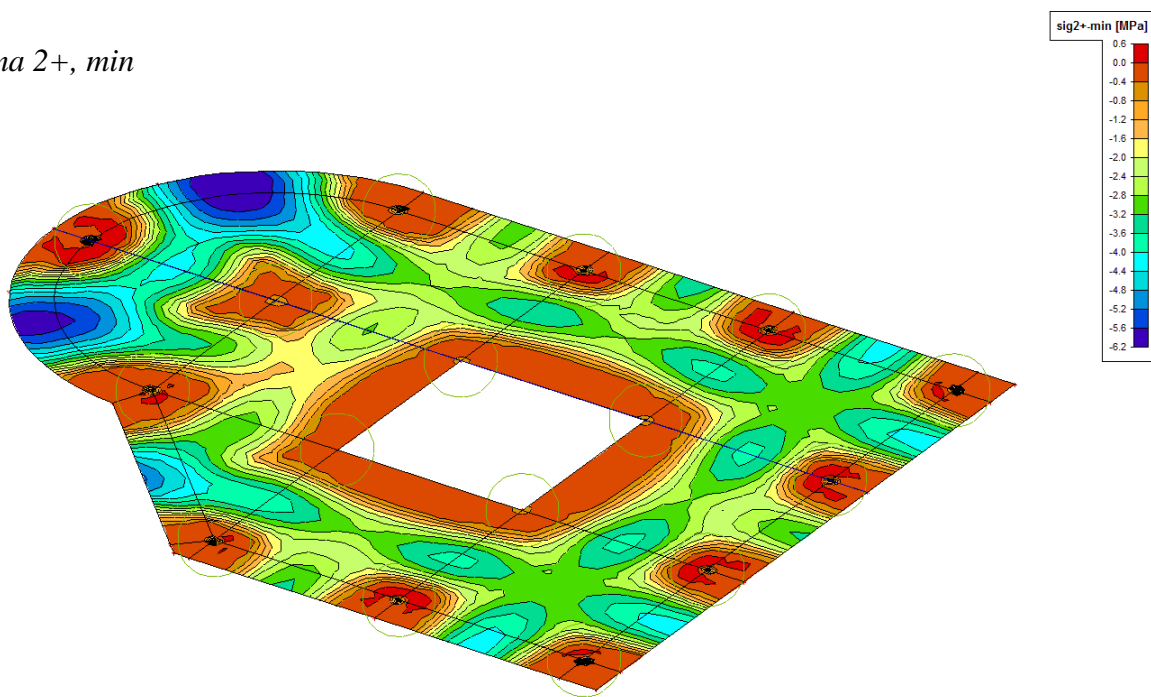


1.4.3. Napětí

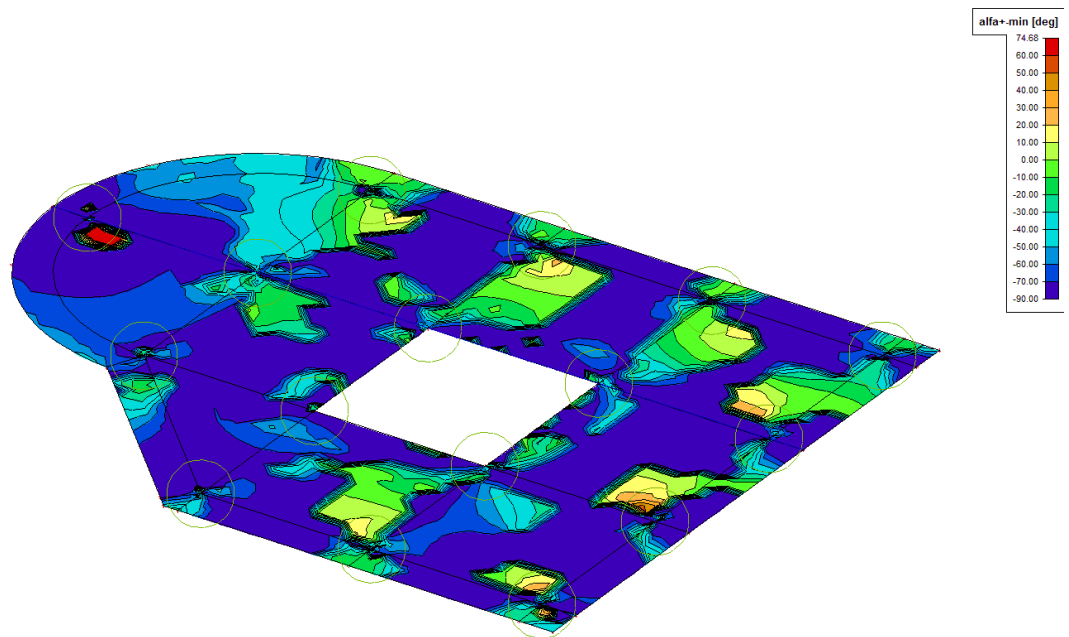
Sigma 1+, minimum



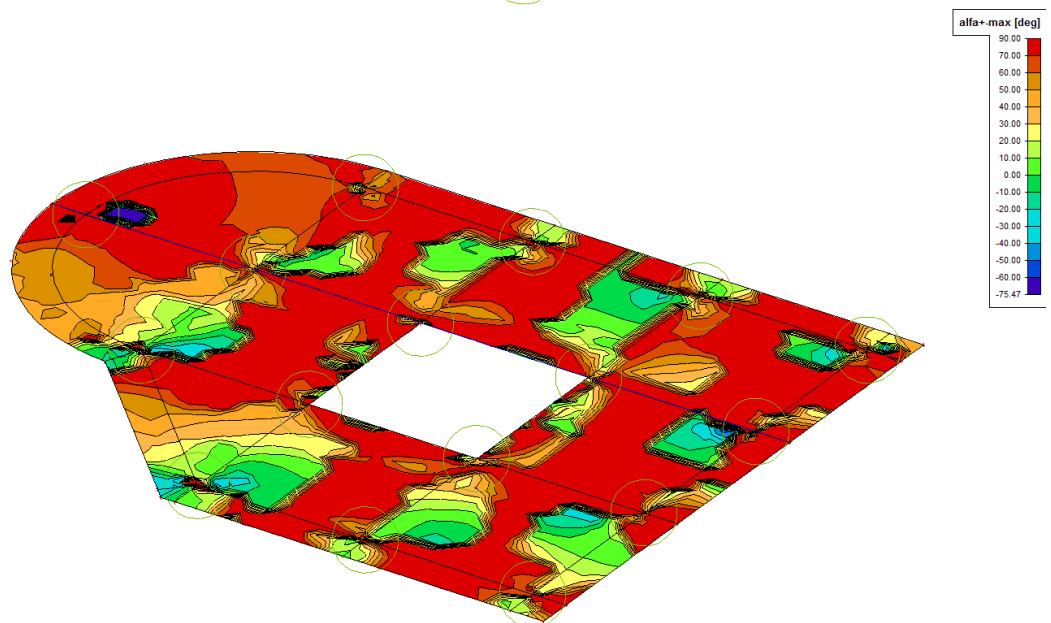
Sigma 2+, min



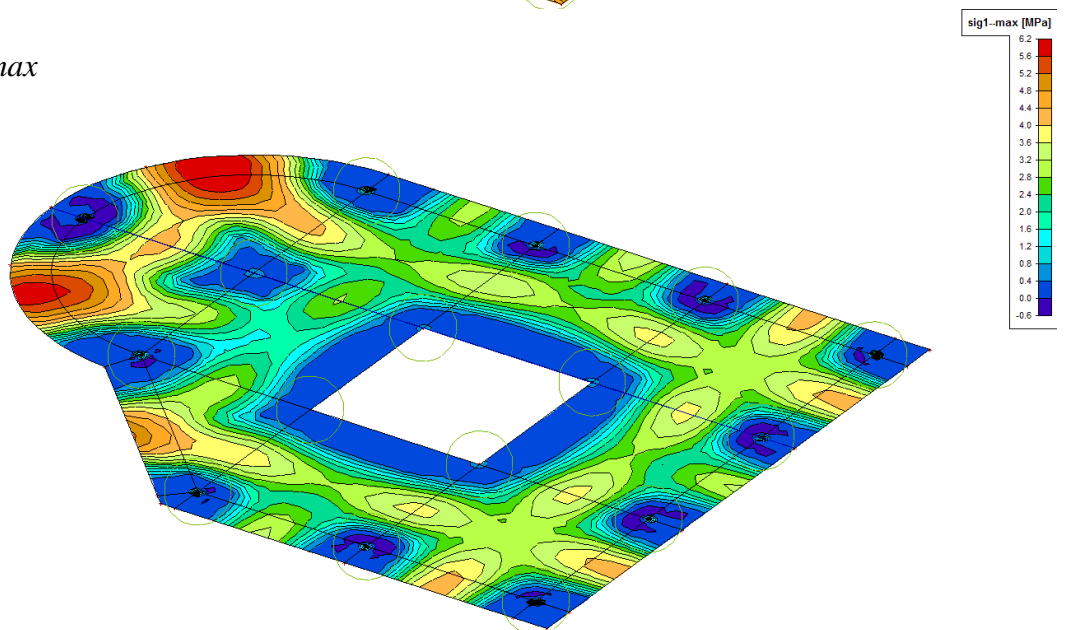
Alfa+, min



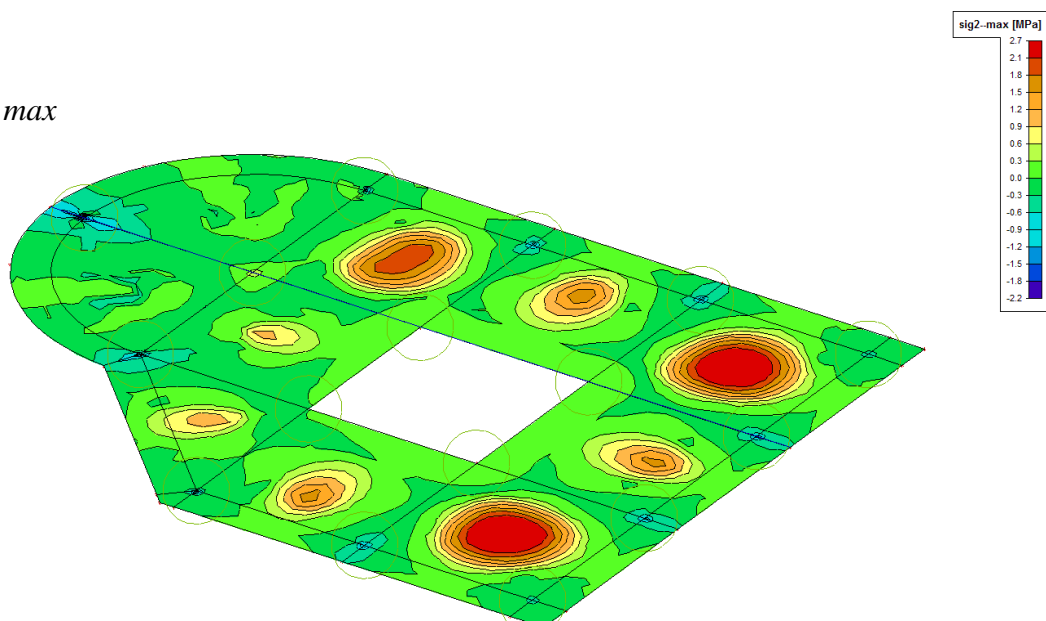
Alfa+, max



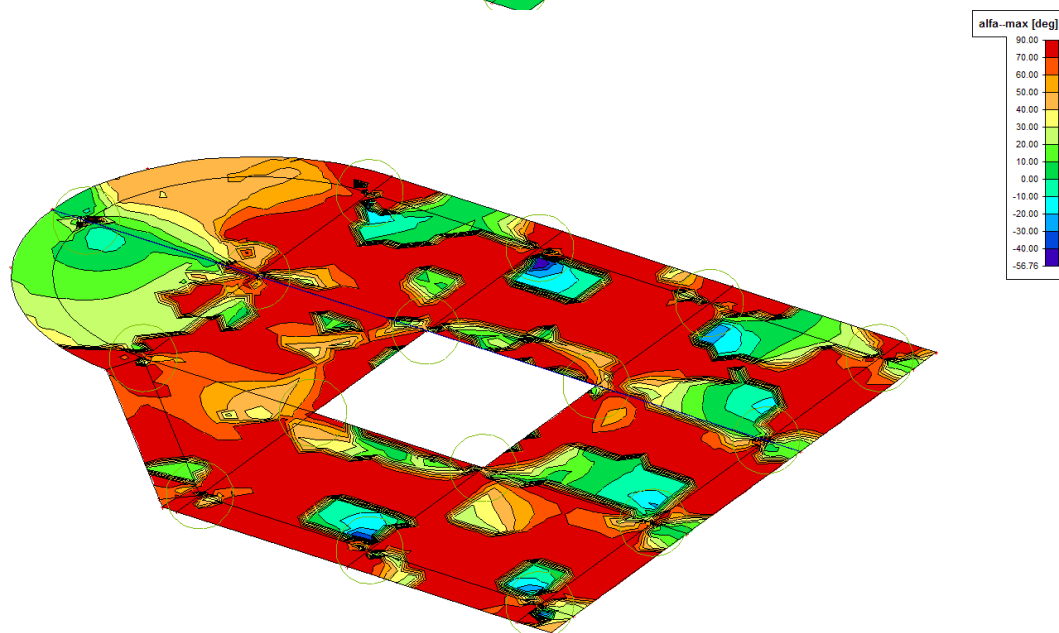
Sigma I-, max



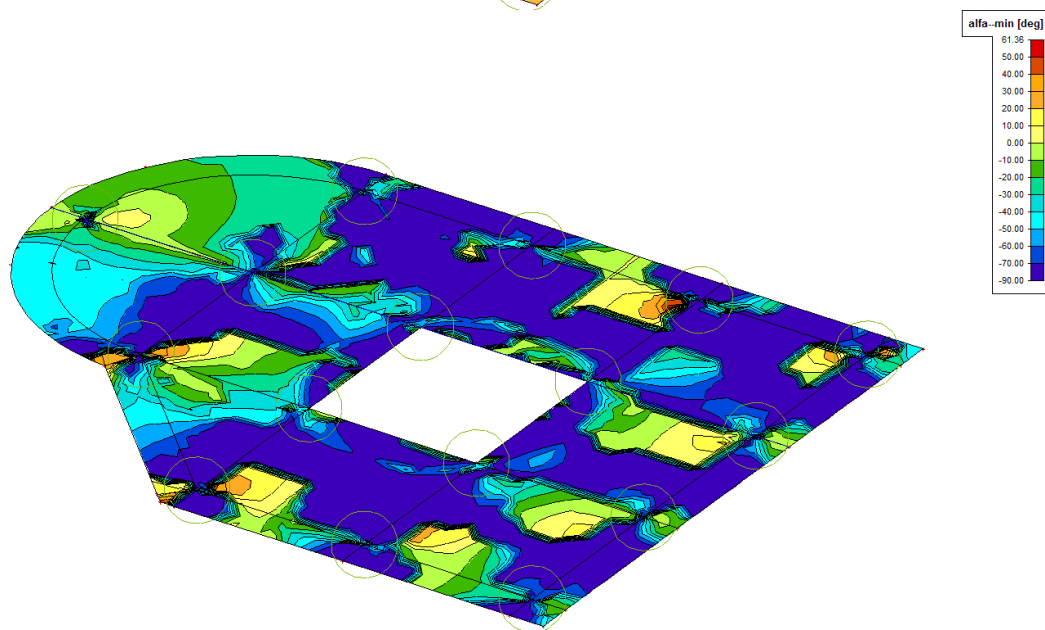
Sigma 2-, max



Alfa-, max



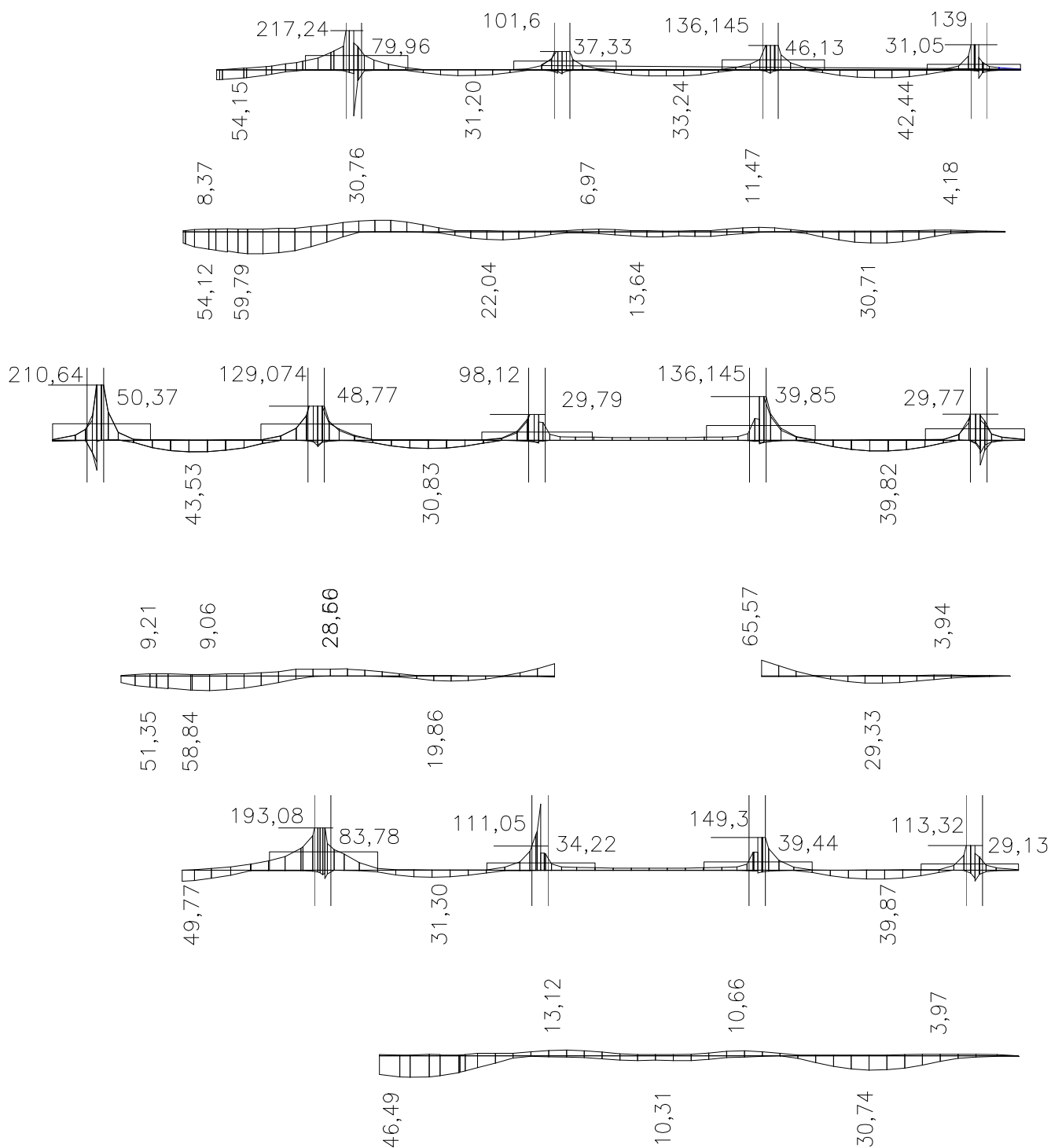
Alfa-, min



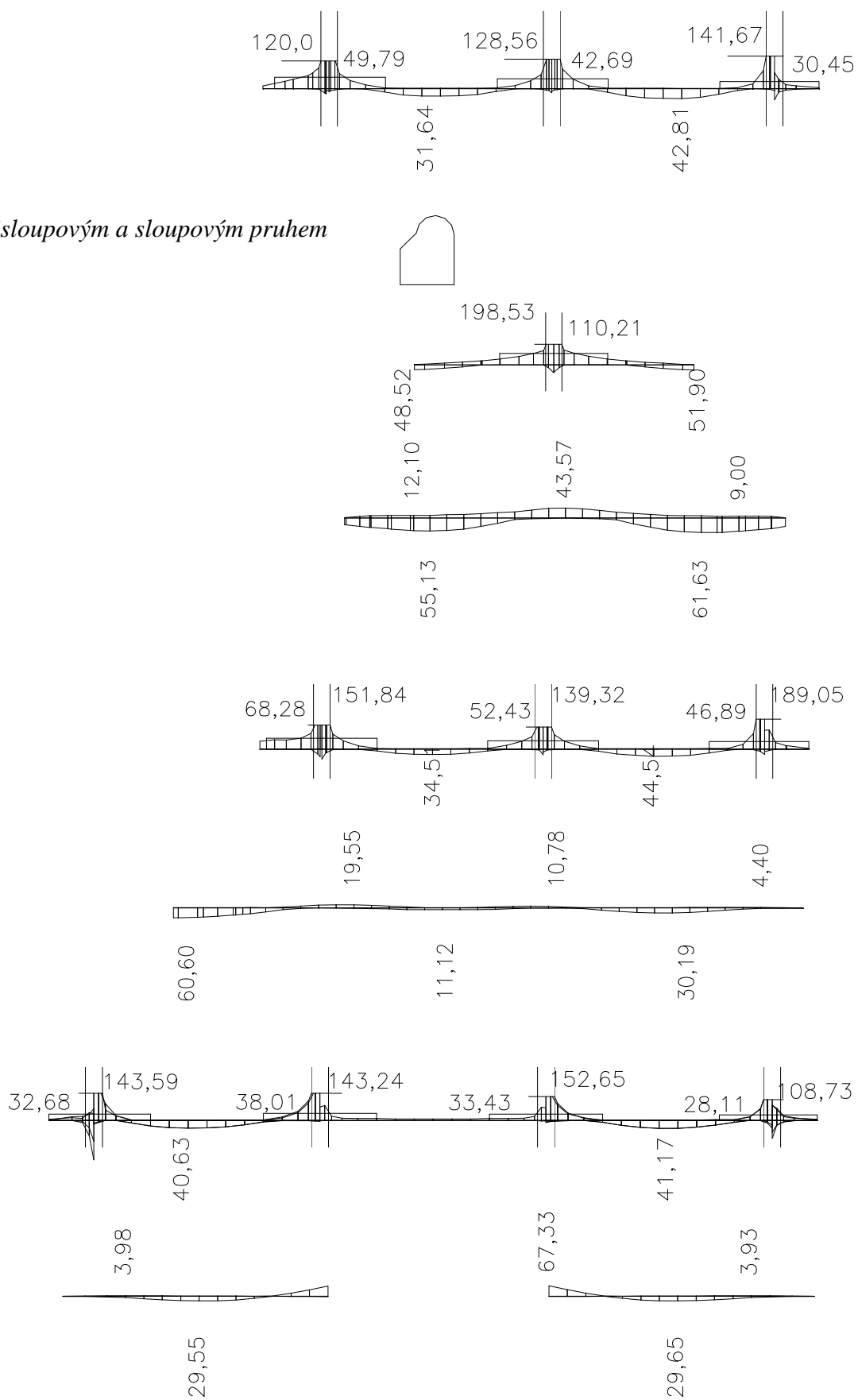
Řezy Mx mezisloupovým a sloupovým pruhem

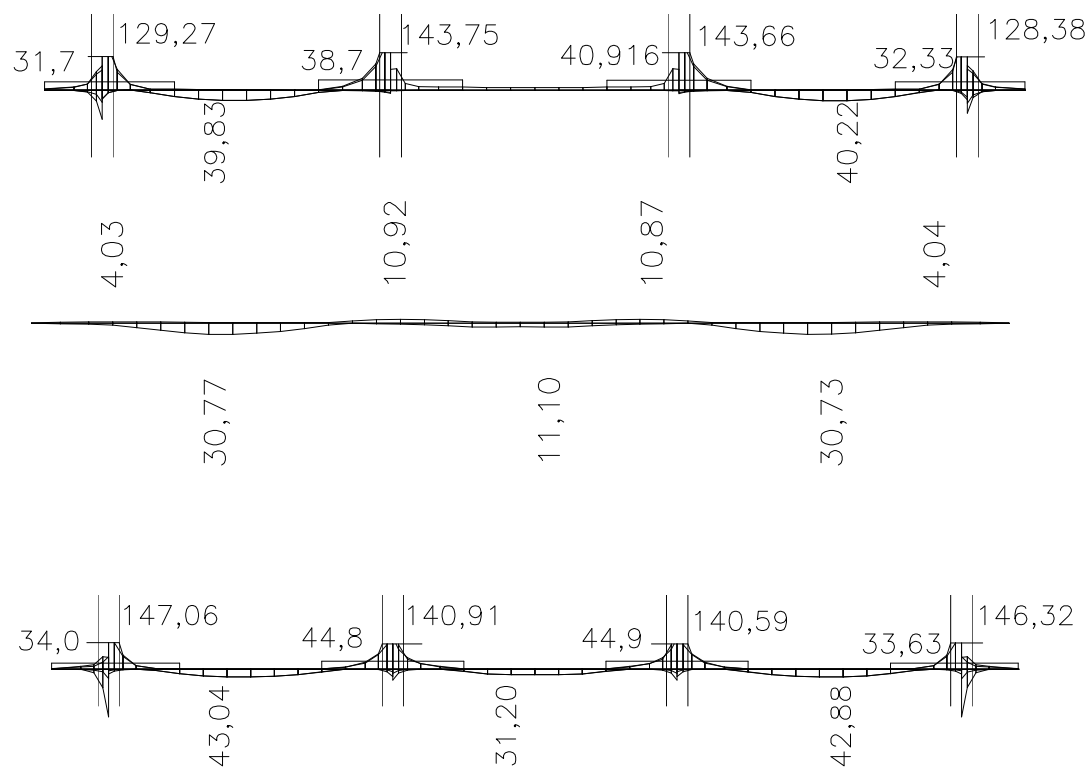


Řezy z programu SCIA jsem exportovala do AutoCADu. Nadpodporové momenty jsem zde grafickou metodou redukovala. Jejich hodnotu následně z bezpečnostních důvodů o 20% navýším. (měřítka momentů jednotlivých řezů nejsou stejná)



Řezy My mezisloupovým a sloupovým pruhem





Zvětšení záporných momentů nad podporami o 20%:

myD- maximálně zredukované momenty

| | | | | |
|--------|-------|-------|--------|-------|
| | 46,89 | 28,11 | 32,33 | 33,63 |
| 110,21 | 52,43 | 33,43 | 40,916 | 44,9 |
| | 68,28 | 38,01 | 38,7 | 44,8 |
| | | 32,68 | 31,7 | 34 |

myD- s 20% navíc

| | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 56,268 | 33,732 | 38,796 | 40,356 |
| 132,25 | 62,916 | 40,116 | 49,099 | 53,88 |
| | 81,936 | 45,612 | 46,44 | 53,76 |
| | | 39,216 | 38,04 | 40,8 |

mxD-

| | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 79,96 | 37,33 | 46,13 | 31,05 |
| 50,37 | 48,77 | 29,79 | 39,85 | 29,77 |
| | 83,78 | 34,22 | 39,44 | 29,13 |
| | | 49,79 | 42,69 | 30,45 |

mxD-

| | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 95,952 | 44,796 | 55,356 | 37,26 |
| 60,444 | 58,524 | 35,748 | 47,82 | 35,724 |
| | 100,54 | 41,064 | 47,328 | 34,956 |
| | | 59,748 | 51,228 | 36,54 |

2. ZJEDNODUŠENÝ VÝPOČET METODOU SOUČTOVÝCH MOMENTŮ

Zatížení

$$g_k = 9,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{plášť: } p_k = 5,690 \text{ kN/m}$$

$$f_d = g_k \cdot \gamma_g + q_k \cdot \gamma_q = 9 \cdot 1,35 + 3 \cdot 1,5 = 16,650 \text{ kN/m}^2$$

Momenty v podélném i příčném směru:

$$M_{\text{tot}} = \frac{1}{8} f_d \cdot b \cdot L^2 = \frac{1}{8} 16,65 \cdot 6 \cdot 6^2 = 449,550 \text{ kNm}$$

$$M_k = -\frac{1}{2} f_d \cdot b \cdot L_k^2 - p_d \cdot b \cdot L = -\frac{1}{2} 16,65 \cdot 6 \cdot 1,22^2 - 5,69 \cdot 1,35 \cdot 6 \cdot 1,2 = -127,235 \text{ kNm}$$

$$M_k = |-127,235| \leq |-0,65 M_{\text{tot}}| = |-0,65 \cdot 449,55| = 292,208 \text{ kNm}$$

vyhovuje

Celkové záporné a kladné momenty:

Vnitřní pole

$$M_1 = \gamma \cdot M_{\text{tot}} = -0,65 \cdot 449,55 = -292,208 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \gamma \cdot M_{\text{tot}} = 0,35 \cdot 449,55 = 157,343 \text{ kNm}$$

Krajní pole s konzolou

$$M_3 = \gamma \cdot M_{\text{tot}} = -0,7 \cdot 449,55 = -314,685 \text{ kNm}$$

$$M_4 = \gamma \cdot M_{\text{tot}} = 0,52 \cdot 449,55 = 233,766 \text{ kNm}$$

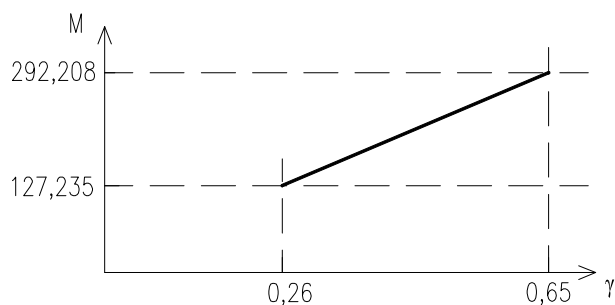
kNm

$$M_{k1} = \gamma \cdot M_k$$

Z podobnosti trojúhelníků:

$$\gamma = \frac{0,65 - 0,26}{292,208} \cdot 127,235 + 0,26 = 0,43$$

$$M_{k1} = -0,43 \cdot 127,235 = -54,688 \text{ kNm}$$



Rozdělení momentů – sloupový pruh

$$\text{Kr. podp.} \quad -54,688 \cdot 1 = -54,688 \text{ kNm}$$

$$\text{Kr. pole} \quad 233,766 \cdot 0,6 = 140,260 \text{ kNm}$$

$$\text{Vn. podp.} \quad -314,685 \cdot 0,75 = -236,014 \text{ kNm}$$

$$\text{Vn. pole} \quad 157,343 \cdot 0,6 = 94,406 \text{ kNm}$$

- mezisloupový pruh

$$\text{Kr. podp.} \quad - 54,688 \cdot 0 = 0 \text{ kNm} < 0,65 \frac{M_{k1}}{L} = 0,65 \frac{-54,688}{6} = -5,924 \text{ kNm}$$

$$\text{Kr. pole} \quad 233,766 \cdot 0,4 = 93,506 \text{ kNm}$$

$$\text{Vn. podp.} \quad - 314,685 \cdot 0,25 = -78,671 \text{ kNm}$$

$$\text{Vn. pole} \quad 157,343 \cdot 0,4 = 62,937 \text{ kNm}$$

Přepočet momentů na metr běžný:

| průřez | | | | | | |
|--------|---------|-------------|-------------|------------|--------------|-------------|
| směr | pruh | šířka pruhu | kraj. podp. | kraj. pole | vnitř. podp. | vnitř. pole |
| x,y | sloup. | 3 m | -54,688 | 140,26 | -236,014 | 94,406 |
| | mezisl. | 3 m | - | 93,506 | -78,671 | 62,937 |
| průřez | | | | | | |
| směr | pruh | šířka pruhu | kraj. podp. | kraj. pole | vnitř. podp. | vnitř. pole |
| x,y | sloup. | 1 m | -18,229 | 46,753 | -78,671 | 31,469 |
| | mezisl. | 1 m | -5,924 | 31,169 | -26,224 | 20,979 |

3. SROVNÁNÍ VÝPOČTU PROGRAMEM A ZJEDNODUŠENOU METODOU

Metody porovnávám podílem: přibližná metoda/ metoda konečných prvků

Sloupový pruh

| | | |
|-----------------|------------------------|---------------|
| Krajní podpora: | $18,229/34,956 = 0,52$ | → rozdíl 48 % |
| Krajní pole | $46,753/43,53 = 1,07$ | → rozdíl 7 % |
| Vnitřní podpora | $78,671/62,916 = 1,25$ | → rozdíl 25 % |
| Vnitřní pole | $31,469/31,2 = 1,01$ | → rozdíl 1 % |

Mezisloupový pruh

| | | |
|-----------------|-----------------------|---------------|
| Krajní podpora: | $5,942/4,4 = 1,35$ | → rozdíl 35 % |
| Krajní pole | $31,164/30,71 = 1,01$ | → rozdíl 1 % |
| Vnitřní podpora | $26,224/28,66 = 0,92$ | → rozdíl 8 % |
| Vnitřní pole | $20,979/19,86 = 1,06$ | → rozdíl 6 % |

Výsledky obou metod vycházejí velice podobně i přesto, že se jedná o atypickou desku. Metoda konečných prvků lépe odpovídá skutečnosti, proto při návrhu používám jejích výsledků.