

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**

**Bakalářská práce**

# **Analýza vlivu statického působení desky na její tloušťku**

Vypracoval: René Hartman

Vedoucí práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Akademický rok: 2016/2017



## Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma analýza vlivu statického působení desky na její tloušťku, jsem vypracoval samostatně. Veškeré použité informační zdroje jsem uvedl v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 28. května 2017

.....

podpis studenta



## Poděkování

Především bych chtěl poděkovat vedoucí této bakalářské práce Ing. Haně Hanzlové, CSc. za odborné vedení a pomoc při zpracování. A dále bych chtěl poděkovat své rodině za projevenou podporu po celou dobu mého studia.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hartman	Jméno: René	Osobní číslo: 424314
Zadávající katedra: betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza vlivu statického působení desky na její tloušťku	
Název bakalářské práce anglicky: Relation of slab behaviour and its thickness	
Pokyny pro vypracování: Předběžný návrh vodorovných a svislých prvků objektu ve variantách. Schémata výkresů tvaru jednotlivých variant. Analýza vlivu způsobu podepření a statického působení desky na její tloušťku. Podrobný návrh desky vybrané varianty. Výkres výztuže desky vybrané varianty. Stručná technická zpráva ke statické části.	
Seznam doporučené literatury: doporučená literatura pro studium předmětů bakalářského studia	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.	
Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)



## **Anotace**

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část studuje vliv různých způsobů podepření a pnutí desek (desky jednosměrně a obousměrně pnuté) na deformace desky a její tloušťku. Práce diskutuje statickou výhodnost působení různých deskových konstrukcí. Praktická část se zabývá vyztužením vybrané varianty desky.

## **Klíčová slova**

Deska, analýza chování, průhyb, vyztužení, MSP, MSÚ



## Annotation

The bachelor thesis is divided into the theoretical and practical part. The theoretical part studies the influence of different ways of supporting of slab and stressing the boards (unidirectional and bi-directional) on its deformation and thickness. The thesis discusses the static advantage of various plate structures. The practical part deals with the reinforcement of the selected variant of the slab.

## Keywords

slab, behavioral analysis, deformation, reinforcement, serviceability limit states, strength limit states



## Obsah

ÚVOD .....	9
<b>1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (MSÚ) .....</b>	<b>10</b>
1.1 VÝPOČET MOMENTU ÚNOSNOSTI $M_{Rd}$ .....	10
<b>2 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI (MSP) .....</b>	<b>11</b>
2.1 OMEZENÍ PRŮHYBŮ .....	11
2.1.1 <i>Krátkodobé působení zatížení (st – short time)</i> .....	11
2.1.1.1 Průřez bez trhlin (index I) .....	12
2.1.1.2 Průřez s trhlinami (index II) .....	14
2.1.2 <i>Dlouhodobé působení zatížení (lt – long time)</i> .....	15
2.1.2.1 Ideální průřez bez trhlin (index I) .....	17
2.1.2.2 Průřez s trhlinami (index II) .....	19
2.1.2.3 Stanovení průhybu od smršťování .....	20
2.1.2.3.1 Charakteristiky průřezu bez trhliny .....	21
2.1.2.3.2 Charakteristiky průřezu s trhlinou .....	22
2.2 OMEZENÍ NAPĚTÍ .....	23
2.3 OMEZENÍ ŠÍŘKY TRHLIN .....	24
<b>3 VARIANTY PODEPŘENÍ .....</b>	<b>26</b>
3.1 VARIANTA JEDNOSMĚRNĚ PNUTÁ 1 .....	26
3.1.1 <i>Výchozí tloušťka desky</i> .....	27
3.1.2 <i>Rozměr průvlaku</i> .....	27
3.1.3 <i>SCIA Engineer</i> .....	28
3.1.4 <i>Výpočet ve vytvořeném programu pro jednosměrně pnutou variantu 1</i> .....	29
3.2 VARIANTA JEDNOSMĚRNĚ PNUTÁ 2 .....	33
3.2.1 <i>Výchozí tloušťka desky</i> .....	33
3.2.2 <i>Rozměr průvlaku</i> .....	33
3.2.3 <i>SCIA Engineer</i> .....	34



3.2.4	<i>Výpočet ve vytvořeném programu pro jednosměrně pnutou variantu 2.....</i>	35
3.3	VARIANTA OBOUSMĚRNĚ PNUTÁ.....	40
3.3.1	<i>Výchozí tloušťka desky .....</i>	40
3.3.2	<i>Rozměry průvlaku.....</i>	40
3.3.3	<i>SCIA Engineer.....</i>	41
3.3.4	<i>Výpočet ve vytvořeném programu pro obousměrně pnutou variantu.....</i>	43
3.4	VARIANTA LOKÁLNĚ PODEPŘENÁ.....	45
3.4.1	<i>Výchozí tloušťka desky .....</i>	45
3.4.2	<i>Rozměry sloupu .....</i>	45
3.4.3	<i>SCIA Engineer.....</i>	46
3.4.4	<i>Výpočet ve vytvořeném programu pro lokálně podepřenou variantu.....</i>	48
<b>4</b>	<b>NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY.....</b>	<b>52</b>
4.1	ÚPRAVA MODELU VE SCIA ENGINEER.....	52
4.2	POSOUZENÍ KONSTRUKCE NA MSP A MSÚ .....	53
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>66</b>





## Úvod

Tématem bakalářské práce je analýza vlivu statického působení desky na její tloušťku. Tato práce částečně vychází z projektu 133P02C Administrativní budova. Z tohoto projektu byly převzaty rozpony desek a navržené konstrukční systémy. Náplní práce je posouzení jednotlivých variant podepření z hlediska mezního stavu únosnosti (MSÚ) a mezního stavu použitelnosti (MSP-omezení průhybů, napětí a šířky trhlin). Posouzení jednotlivých variant podepření bylo provedeno a následně vyhodnoceno pro různé tloušťky desek.

Vybraná konstrukční varianta s optimální tloušťkou desky byla podrobně dimenzována.



## 1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)

V tomto mezním stavu byla posouzena navržená tahová výztuž na ohyb. Tlačená výztuž z hlediska malého vlivu na únosnost byla zanedbána. Moment únosnosti  $M_{Rd}$  byl porovnáván s návrhovou hodnotou ohybového momentu na desce získanou z programu SCIA Engineer.

### 1.1 Výpočet momentu únosnosti $M_{Rd}$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} \quad (1)$$

kde

- $M_{Rd}$  je ohybový moment únosnosti
- $M_{Ed}$  je ohybový moment získaný ze SCIA Engineer

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z \quad (2)$$

kde

- $A_{s1}$  je plocha tažené výztuže
- $f_{yd}$  je návrhová pevnost oceli
- $z$  je rameno vnitřní sil

$$z = d - 0,4 \cdot x \quad (3)$$

kde

- $d$  je účinná výška průřezu
- $x$  je výška tlačené oblasti

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} \quad (4)$$

kde

- $h$  je výška průřezu
- $c$  je krycí vrstva výztuže
- $\phi$  je průměr tažené výztuže

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} \quad (5)$$

kde

- $b$  je šířka průřezu
- $f_{cd}$  je návrhová pevnost betonu v tlaku



## 2 Mezní stav použitelnosti (MSP)

V tomto mezním stavu bylo posouzeno omezení průhybů, napětí a šířky trhlin.

### 2.1 Omezení průhybů

Pro výpočet pružného průhybu byl použit program SCIA Engineer. V tomto programu byly vymodelovány 2D modely desek – jeden model pro každou variantu. Každá varianta je podrobně popsána v následujícím textu. Výstupem z těchto modelů byl pružný průhyb a ohybové momenty od charakteristické a kvazistálé kombinace zatížení. Pružný průhyb byl dále upravován v programu MS Excel, který byl vytvořen pro bakalářskou práci. Excel zohlednil navrženou výztuž pomocí stanovení průřezových charakteristik ideálních průřezů, případný vznik trhlin, a tudíž oslabení ohybové tuhosti průřezu, vypočetl průhyb od smršťování a dotvarování betonu. Byly uvažovány jak krátkodobé, tak dlouhodobé charakteristiky průřezu.

Průhyb byl počítán dle vztahu:

$$y = y_{\text{SCIA}} \cdot K_{\text{creep}} \cdot K_{\text{crack}} \quad (6)$$

kde

- $y$  je celkový průhyb
- $y_{\text{SCIA}}$  je pružný průhyb získaný ze SCIA Engineer
- $K_{\text{creep}}$  je poměr průměrné hodnoty modulu pružnosti betonu a efektivního modulu pružnosti
- $K_{\text{crack}}$  je poměr momentu setrvačnosti betonového průřezu a momentu setrvačnosti ideálního průřezu, který zohledňuje oslabení průřezu trhlinami i zpevnění taženého betonu mezi trhlinami

V programu byly použity následující vztahy:

#### 2.1.1 Krátkodobé působení zatížení (st – short time)

$$E_{\text{c,eff,st}} = \frac{E_{\text{cm}}}{1 + \varphi} \quad (7)$$

kde

- $E_{\text{c,eff,st}}$  je efektivní modul pružnosti betonu pro krátkodobé působení zatížení
- $E_{\text{cm}}$  je střední hodnota modulu pružnosti betonu



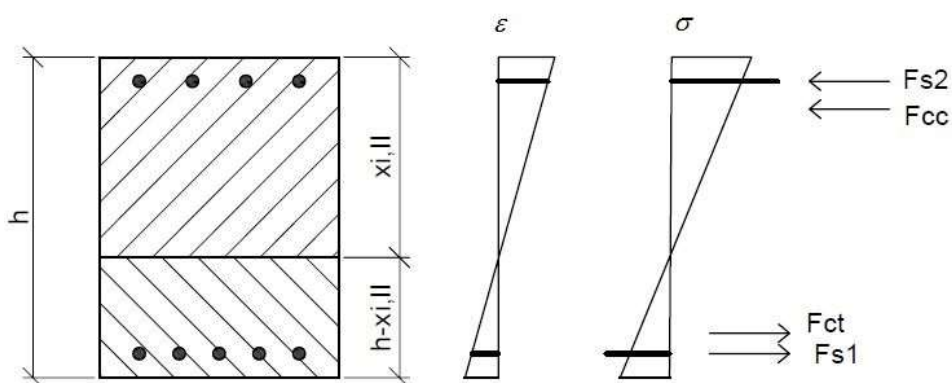
- $\varphi$  je součinitel dotvarování – pro krátkodobé působení zatížení je roven 0

$$\alpha_{e,st} = \frac{E_s}{E_{c,eff,st}} \quad (8)$$

kde

- $\alpha_{e,st}$  je pracovní součinitel pro krátkodobé působení zatížení
- $E_s$  je modul pružnosti oceli

### 2.1.1.1 Průřez bez trhlin (index I)



Obrázek 1-Průřez bez trhlin

Výpočet výšky tlačené oblasti vychází z rovnováhy sil  $F_{ct} + F_{s1} = F_{cc} + F_{s2}$

kde

- $F_{ct}$  je síla v taženém betonu
- $F_{cc}$  je síla v tlačném betonu
- $F_{s1}$  je síla v dolní výztuži
- $F_{s2}$  je síla v horní výztuži

$$x_{i,I,st} = \frac{\frac{1}{2} \cdot b \cdot h^2 + A_{s1} \cdot (\alpha_{e,st} - 1) \cdot d - A_{s2} \cdot (\alpha_{e,st} - 1) \cdot d}{A_{s1} \cdot (\alpha_{e,st} - 1) - A_{s2} \cdot (\alpha_{e,st} - 1) + b \cdot h} \quad (9)$$

kde

- $x_{i,I,st}$  je výška tlačené oblasti průřezu bez trhlin pro krátkodobé působení zatížení
- $b$  je šířka průřezu
- $h$  je výška průřezu
- $A_{s1}$  je plocha dolní výztuže
- $A_{s2}$  je plocha horní výztuže



$$a_{i,l,st} = x_{i,l,st} - \frac{h}{2} \quad (10)$$

kde

- $a_{i,l,st}$  je vzdálenost těžiště ideálního průřezu od těžiště betonu

$$I_{y,l,st} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot a_{i,l,st}^2 + \alpha_{e,st} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_{i,l,st})^2 + \alpha_{e,st} \cdot A_{s2} \cdot (x_{i,l,st} - d_2)^2 \quad (11)$$

kde

- $I_{y,l,st}$  je moment setrvačnosti ideálního průřezu bez trhlin pro krátkodobé působení zatížení
- $d$  je vzdálenost těžiště dolní výztuže od horního okraje průřezu
- $d_2$  je vzdálenost těžiště horní výztuže od horního okraje průřezu

$$C_{l,st} = \frac{1}{E_{c,eff,st} \cdot I_{y,l,st}} \quad (12)$$

kde

- $C_{l,st}$  je ohybová poddajnost průřezu bez trhlin pro krátkodobé působení zatížení

$$M_{cr,st} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{y,l,st}}{h - x_{i,l,st}} \quad (13)$$

kde

- $M_{cr,st}$  je ohybový moment na mezi vzniku trhlin pro krátkodobé působení zatížení

Pokud je tento ohybový moment na mezi vzniku trhlin větší než ohybový moment na desce (moment převzatý ze SCIA Engineer) trhliny nebudou vznikat a průhyb bude dopočítán dle následujícího vztahu.

$$y_{l,st} = y_{SCIA} \cdot \frac{E_{cm}}{E_{c,eff,st}} \cdot \frac{I_C}{I_{y,l,st}} \quad (14)$$

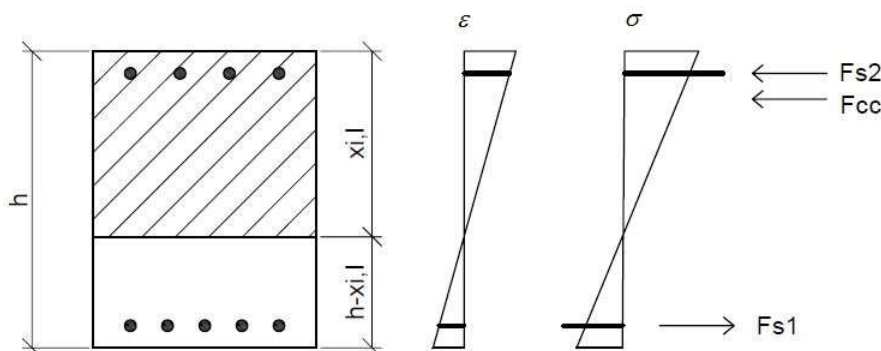
kde

- $y_{l,st}$  je výsledný krátkodobý průhyb průřezu bez trhlin pro krátkodobé působení zatížení
- $y_{SCIA}$  je pružný průhyb získaný z programu SCIA Engineer
- $I_C$  je moment setrvačnosti betonového průřezu ( $I_C = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$ )

V případě, že by ohybový moment na mezi vzniku trhlin byl menší než ohybový moment na desce, znamenalo by to, že na průřezu budou vznikat trhliny. Dojde k oslabení průřezu, které je nutno zohlednit.



### 2.1.1.2 Průřez s trhlinami (index II)



Obrázek 2-Průřez s trhlinami

Výška tlačené oblasti znovu vychází z rovnováhy sil, jen oproti kapitole 2.1.1.1 zde nepůsobí složka síly betonu v tahu.

$$x_{i,II,st} = \frac{\alpha_{e,st}}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b}{\alpha_{e,st}} \cdot \frac{A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \quad (15)$$

kde

- $x_{i,II,st}$  je výška tlačené oblasti průřezu s trhlinami pro krátkodobé působení zatížení

$$I_{y,II,lt} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{i,II,st}^3 + (\alpha_{e,st} - 1) \cdot [A_{s1} \cdot (d - x_{i,II,st})^2 + A_{s2} \cdot (x_{i,II,st} - d_2)^2] \quad (16)$$

kde

- $I_{y,II,lt}$  je moment setrvačnosti průřezu s trhlinami pro krátkodobé působení zatížení

$$C_{II,st} = \frac{1}{E_{c,eff} \cdot I_{y,II,st}} \quad (17)$$

kde

- $C_{II,st}$  je ohybová poddajnost průřezu s trhlinami pro krátkodobé působení zatížení

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left( \frac{M_{cr,st}}{M_{qp}} \right)^2 \quad (18)$$

kde

- $\zeta$  je součinitel vyjadřující tahové zpevnění betonu
- $\beta = 1$  pro krátkodobý stav
- $M_{qp}$  je ohybový moment od kvazistálé kombinace



$$I_{st} = \frac{I_{y,I,st} \cdot I_{y,II,st}}{\zeta \cdot I_{y,I,st} + (1 - \zeta) \cdot I_{y,II,st}} \quad (19)$$

kde

- $I_{st}$  je moment setrvačnosti oslabeného průřezu pro krátkodobé působení zatížení

$$y_{II,st} = y_{SCIA} \cdot \frac{E_{cm}}{E_{c,eff,st}} \cdot \frac{I_C}{I_{st}} \quad (20)$$

kde

- $y_{II,st}$  je celkový průhyb průřezu s trhlinami pro krátkodobé působení zatížení

### 2.1.2 Dlouhodobé působení zatížení (lt – long time)

Výpočet byl obdobný jako pro krátkodobé působení zatížení, jen zde se projevil součinitel dotvarování  $\varphi_{(t,t_0)}$ . Tento součinitel byl pro krátkodobé působení zatížení roven 0. Pro dlouhodobé byl dopočítán dle následujících vztahů (dle přílohy B normy ČSN EN 1992-1-1). Dále zde byl dopočítán průhyb od smršťování.

$$\varphi_{(t,t_0)} = \varphi_0 \cdot \beta_{c(t,t_0)} \quad (21)$$

kde

- $\varphi_{(t,t_0)}$  je součinitel dotvarování
- $\varphi_0$  je základní součinitel dotvarování
- $\beta_{c(t,t_0)}$  je součinitel časového průběhu dotvarování po zatížení
- $t$  je stáří betonu ve dnech v uvažovaném okamžiku
- $t_0$  je stáří betonu ve dnech v okamžiku vnesení zatížení

$$\varphi_{(0)} = \varphi_{RH} \cdot \beta_{(f_{cm})} \cdot \beta_{(t_0)} \quad (22)$$

kde

- $\varphi_{RH}$  je součinitel, vystihující vliv relativní vlhkosti na základní součinitel dotvarování
- $\beta_{(f_{cm})}$  je součinitel, vystihující vliv pevnosti betonu na základní součinitel dotvarování
- $\beta_{(t_0)}$  je součinitel, vystihující vliv stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení na základní součinitel dotvarování

$$\varphi_{(RH)} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{pro } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (23)$$

$$\varphi_{(RH)} = \left[ 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \quad (24)$$

kde

- $RH$  je relativní vlhkost okolního prostředí v %



- $h_0$  je náhradní rozměr prvku v mm
- $f_{cm}$  je průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku v MPa ve stáří 28 dní
- $\alpha_{1,2}$  jsou součinitele vlivu pevnosti betonu

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad \alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad \alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} \quad (25)$$

$$\beta_{(f_{cm})} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (26)$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} \quad (27)$$

kde

- $A_c$  je plocha průřezu
- $u$  je obvod prvku vystavený okolnímu prostředí

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} \quad (28)$$

$$\beta_{c(t,t_0)} = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3} \quad (29)$$

kde

- $\beta_H$  je součinitel závislý na relativní vlhkosti a na náhradním rozměru prvku

$$\beta_H = 1,5 \cdot \left[ 1 + (0,012 RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{pro } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (30)$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot \left[ 1 + (0,012 RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3 \quad \text{pro } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \quad (31)$$

Po dopočítání součinitele dotvarování  $\varphi$  postupujeme obdobným způsobem, jako pro krátkodobé působení zatížení.

$$E_{c,eff,lt} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} \quad (32)$$

kde

- $E_{c,eff,lt}$  je efektivní modul pružnosti betonu pro dlouhodobé působení zatížení

$$\alpha_{e,lt} = \frac{E_s}{E_{c,eff,lt}} \quad (33)$$

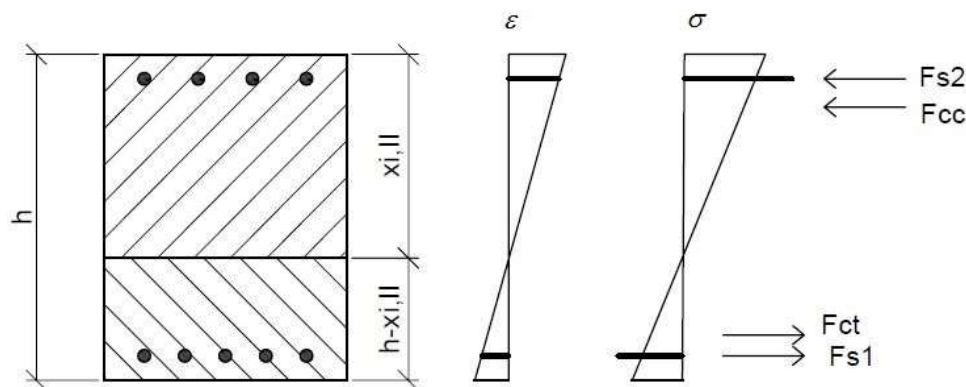
kde

- $\alpha_{e,lt}$  je pracovní součinitel pro dlouhodobé působení zatížení
- $E_s$  je modul pružnosti oceli





### 2.1.2.1 Ideální průřez bez trhlin (index I)



Obrázek 3-Průřez bez trhlin

$$x_{i,lt} = \frac{\frac{1}{2} \cdot b \cdot h^2 + A_{s1} \cdot (\alpha_{e,lt} - 1) \cdot d - A_{s2} \cdot (\alpha_{e,lt} - 1) \cdot d}{A_{s1} \cdot (\alpha_{e,lt} - 1) - A_{s2} \cdot (\alpha_{e,lt} - 1) + b \cdot h} \quad (34)$$

kde

- $x_{i,lt}$  je výška tlačené oblasti průřezu bez trhlin pro dlouhodobé působení zatížení
- $b$  je šířka průřezu
- $h$  je výška průřezu
- $A_{s1}$  je plocha dolní výztuže
- $A_{s2}$  je plocha horní výztuže

$$a_{i,lt} = x_{i,lt} - \frac{h}{2} \quad (35)$$

kde

- $a_{i,lt}$  je vzdálenost těžiště ideálního průřezu od těžiště betonu

$$I_{y,lt} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot a_{i,lt}^2 + \alpha_{e,lt} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_{i,lt})^2 + \alpha_{e,lt} \cdot A_{s2} \cdot (x_{i,lt} - d_2)^2 \quad (36)$$

kde

- $I_{y,lt}$  je moment setrvačnosti ideálního průřezu bez trhlin pro dlouhodobé působení zatížení
- $d$  je vzdálenost těžiště dolní výztuže od horního okraje průřezu
- $d_2$  je vzdálenost těžiště horní výztuže od horního okraje průřezu

$$C_{i,lt} = \frac{1}{E_{c,eff,lt} \cdot I_{y,lt}} \quad (37)$$

kde



- $C_{I,lt}$  je ohybová poddajnost průřezu bez trhlin pro dlouhodobé působení zatížení

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{y,I,lt}}{h - x_{i,I,lt}} \quad (38)$$

kde

- $M_{cr,lt}$  je ohybový moment na mezi vzniku trhlin pro dlouhodobé působení zatížení

Pokud je tento ohybový moment na mezi vzniku trhlin větší než ohybový moment na desce (moment převzatý ze SCIA Engineer) trhliny nebudou vznikat a průhyb se dopočítá dle následujícího vztahu.

$$y_{I,lt} = y_{SCIA} \cdot \frac{E_{cm}}{E_{c,eff,lt}} \cdot \frac{I_C}{I_{y,I,lt}} \quad (39)$$

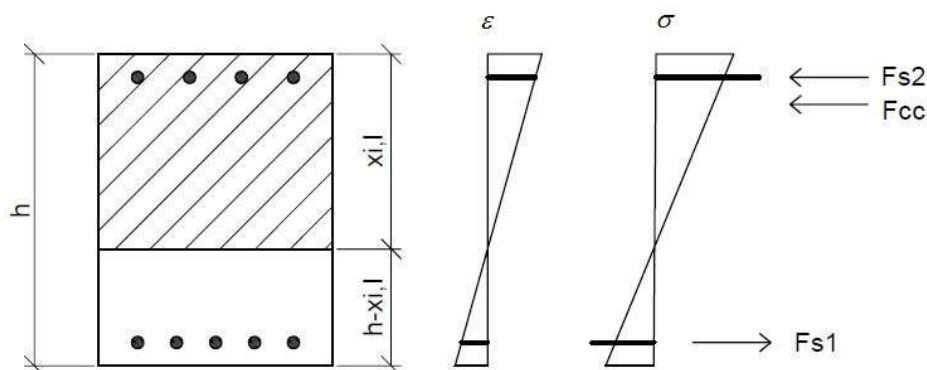
kde

- $y_{I,lt}$  je celkový průhyb průřezu bez trhlin pro dlouhodobé působení zatížení
- $y_{SCIA}$  je pružný průhyb získaný z programu SCIA Engineer
- $I_C$  je moment setrvačnosti betonového průřezu ( $I_C = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$ )

V případě, že by ohybový moment na mezi vzniku trhlin byl menší než ohybový moment na desce, znamenalo by to, že na průřezu budou vznikat trhliny. Dojde k oslabení průřezu, které je nutno zohlednit. Primárně byla posuzována kvazistálá kombinace zatížení, pokud ale trhliny pro tuto kombinaci nevznikly, byla posouzena charakteristická kombinace zatížení. Pokud při charakteristické kombinaci trhliny vznikly, bylo uvažováno oslabení průřezu trhlínami.



### 2.1.2.2 Průřez s trhlinami (index II)



Obrázek 4-Průřez s trhlinami

$$x_{i,II,lt} = \frac{\alpha_{e,lt}}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2}{\alpha_{e,lt} \cdot (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \quad (40)$$

kde

- $x_{i,II,lt}$  je výška tlačené oblasti průřezu s trhlinami pro dlouhodobé působení zatížení

$$I_{y,II,lt} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{i,II,lt}^3 + (\alpha_{e,lt} - 1) \cdot [A_{s1} \cdot (d - x_{i,II,lt})^2 + A_{s2} \cdot (x_{i,II,lt} - d_2)^2] \quad (41)$$

kde

- $I_{y,II,lt}$  je moment setrvačnosti průřezu s trhlinami pro dlouhodobé působení zatížení

$$C_{II,lt} = \frac{1}{E_{c,eff,lt} \cdot I_{y,II,lt}} \quad (42)$$

kde

- $C_{II,lt}$  je ohybová poddajnost průřezu s trhlinami pro dlouhodobé působení zatížení

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left( \frac{M_{cr,lt}}{M_{qp}} \right)^2 \quad (43)$$

kde

- $\zeta$  je součinitel vyjadřující tahové zpevnění betonu
- $\beta = 0,5$  pro dlouhodobý stav
- $M_{qp}$  je ohybový moment od kvazistálé kombinace

$$I_{lt} = \frac{I_{y,I,lt} \cdot I_{y,II,lt}}{\zeta \cdot I_{y,I,lt} + (1 - \zeta) \cdot I_{y,II,lt}} \quad (44)$$

kde



- $I_{lt}$  je moment setrvačnosti oslabeného průřezu pro dlouhodobé působení zatížení

$$y_{II,lt} = y_{SCIA} \cdot \frac{E_{cm}}{E_{c,eff,lt}} \cdot \frac{I_C}{I_{lt}} \quad (45)$$

kde

- $y_{II,lt}$  je celkový průhyb průřezu s trhlinami pro dlouhodobé působení zatížení

### 2.1.2.3 Stanovení průhybu od smršťování

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad (46)$$

kde

- $\varepsilon_{cs}$  je celkové poměrné smršťování
- $\varepsilon_{cd}$  je poměrné smršťování vysycháním
- $\varepsilon_{ca}$  je poměrné autogenní smršťování

$$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,t_s)} \cdot \varepsilon_{cd,\infty} \quad (47)$$

$$\beta_{ds(t,t_s)} = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} \quad (48)$$

kde

- $t$  je čas na konci životnosti konstrukce ve dnech
- $t_s$  je čas, kdy začíná působit zatížení smršťováním ve dnech
- $h_0$  dle vztahu (27)

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad (49)$$

kde

- součinitel  $k_h$  získáme interpolací pro příslušné  $h_0$  dle tabulky 1

$h_0$ [mm]	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥500	0,70

Tabulka 1-Tabulka pro získání součinitele  $k_h$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \quad (50)$$

kde



- $\alpha_{ds1} = 6$  pro cement R
- $\alpha_{ds2} = 0,11$  pro cement R
- $f_{cm0} = 10$  MPa

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{RH}{100} \right)^3 \right] \quad (51)$$

$$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \cdot \varepsilon_{ca(\infty)} \quad (52)$$

$$\varepsilon_{ca(\infty)} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad (53)$$

$$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0,2t^{0,5}) \quad (54)$$

$$E_{c,ef,sh} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{c,sh}} \quad (55)$$

kde

- $\varphi_{c,sh}$  je součinitel dotvarování pro časový interval smršťování stanovený dle vztahu (21)

$$\alpha_{e,sh} = \frac{E_s}{E_{c,ef,sh}} \quad (56)$$

### 2.1.2.3.1 Charakteristiky průřezu bez trhliny

$$A_{I,ef,sh} = A_c + \alpha_{e,sh} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \quad (57)$$

$$a_{I,ef,sh} = [A_c \cdot a_c + \alpha_{e,sh} \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)] / A_{I,ef,sh} \quad (58)$$

kde

- $a_c$  je vzdálenost těžiště betonového průřezu od horního okraje
- $a_{I,ef,sh}$  je vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje

$$I_{I,ef,sh} = I_c + A_c \cdot (a_{I,ef,sh} - a_c)^2 + \alpha_{e,sh} \cdot [A_{s1} \cdot (d - a_{I,ef,sh})^2 + A_{s2} \cdot (a_{I,ef,sh} - d_2)^2] \quad (59)$$

$$S_{I,ef,sh} = A_s \cdot (d - a_{I,ef,sh}) \quad (60)$$

kde

- $S_{I,ef,sh}$  je statický moment průřezové plochy k těžišti výztuže



### 2.1.2.3.2 Charakteristiky průřezu s trhlinou

$$x_{cr,ef,sh} = \frac{\alpha_{e,sh}}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2}{\alpha_{e,sh} \cdot (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \quad (61)$$

$$I_{II,ef,sh} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{cr,ef,sh}^3 + \alpha_{e,sh} \cdot \left[ A_{s1} \cdot (d - x_{cr,ef,sh})^2 + A_{s2} \cdot (x_{cr,ef,sh} - d_2)^2 \right] \quad (62)$$

$$S_{II,ef,sh} = A_s \cdot (d - a_{I,ef,sh}) \quad (63)$$

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{cs} = \varepsilon_{cso} \cdot \alpha_{e,sh} \cdot \left[ (1 - \zeta) \cdot \frac{S_{I,ef,sh}}{I_{I,ef,sh}} + \zeta \cdot \frac{S_{II,ef,sh}}{I_{II,ef,sh}} \right] \quad (64)$$

kde

- $\left( \frac{1}{r} \right)_{cs}$  je výsledná křivost od smršťování

$$y_{sh} = \omega_{sh} \cdot l^2 \cdot \left( \frac{1}{r} \right)_{cs} \quad (65)$$

kde

- $y_{sh}$  je průhyb od smršťování
- $\omega_{sh}$  je součinitel pro přibližný výpočet průhybu od smršťování
- $l$  je rozpon desky



## 2.2 Omezení napětí

Z důvodu zabránění vzniku podélných trhlin nebo velkému dotvarování je tlakové napětí betonu omezeno dle následujících vztahů:

$$\sigma_{CC,k} = \frac{M_{Ek}}{I_{st/l}} \cdot x_{i,II,st/l} \leq 0,6 \cdot f_{ck} \quad (66)$$

kde

- $\sigma_{CC,k}$  je tahové napětí v betonu od charakteristické kombinace
- $f_{ck}$  je charakteristická pevnost betonu v tlaku
- dolní indexy  $st/l$  znamenají příslušnou veličinu pro dané působení zatížení (krátkodobé/dlouhodobé)

$$\sigma_{CC,qp} = \frac{M_{Eqp}}{I_{st/l}} \cdot x_{i,II,st/l} \leq 0,45 \cdot f_{ck} \quad (67)$$

kde

- $\sigma_{CC,qp}$  je tahové napětí v betonu od kvazistálé kombinace

Dále bude kontrolováno napětí ve výztuži (jak v horní, tak dolní) a to z důvodu zabránění vzniku nepružných poměrných přetvoření, nepřijatelných trhlin a deformací. Napětí ve výztuži bude omezeno dle následujících vztahů:

$$\sigma_{s1} = (\alpha_{e,st/l} - 1) \cdot \frac{M_{Ek}}{I_{st/l}} \cdot (d - x_{i,II,st/l}) \leq 0,8 \cdot f_{yk} \quad (68)$$

kde

- $\sigma_{s1}$  je napětí v dolní výztuži od charakteristické kombinace
- $f_{yk}$  je charakteristická pevnost oceli v tahu

$$\sigma_{s2} = (\alpha_{e,st/l} - 1) \frac{M_{Ek}}{I_{st/l}} \cdot (x_{i,II,st/l} - d_2) \leq 0,8 \cdot f_{yk} \quad (69)$$

kde

- $\sigma_{s2}$  je napětí v horní výztuži od charakteristické kombinace



## 2.3 Omezení šířky trhlin

Šířka trhliny bude vypočítána dle následujícího vztahu:

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (70)$$

kde

- $w_k$  je šířka trhliny
- $s_{r,\max}$  je maximální vzdálenost trhlin
- $\varepsilon_{sm}$  je průměrné poměrné přetvoření výztuže
- $\varepsilon_{cm}$  je průměrné poměrné přetvoření betonu mezi trhlinami

$$s_{r,\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{\text{eff}}} \quad (71)$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{1}{E_s} \cdot \left[ \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,\text{eff}}}{\rho_{\text{eff}}} (1 + \alpha_{e,\text{lt}} \cdot \rho_{\text{eff}}) \right] \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (72)$$

kde

- $k_1$  je součinitel vlivu povrchu výztuže
- $k_2$  je součinitel vlivu rozdělení poměrných přetvoření po výšce průřezu
- $k_3$  je součinitel krycí vrstvy
- $k_4$  je součinitel vlivu soudržnosti betonu a výztuže
- $c$  je tloušťka krycí vrstvy
- $\phi$  je průměr tažené výztuže
- $\rho_{\text{eff}}$  je účinný stupeň vyztužení pro železobeton
- $E_s$  je modul pružnosti oceli
- $\sigma_s$  je tahové napětí výztuže při vzniku primární trhliny
- $k_t$  je součinitel závisící na době trvání zatížení
- $f_{ct,\text{eff}}$  je efektivní tahová pevnost betonu
- $k_1 = 0,8$  (0,8 pro žebříkovou výztuž; 1,6 pro hladkou výztuž)
- $k_2 = 0,5$  (0,5 pro namáhání ohybem; 1 pro namáhání centrickým tahem)
- $k_3 = 3,4 \cdot \left( \frac{25}{c} \right)^{2/3} \leq 3,4$  (pro hodnoty betonového krytí  $c \leq 25$  [mm] je  $k_3 = 3,4$ )
- $k_4 = 0,425$
- $k_t = 0,4$  (0,4 pro dlouhodobé namáhání; 0,6 pro krátkodobé namáhání)

$$\rho_{\text{eff}} = \frac{A_s}{A_{c,\text{eff}}} \quad (73)$$

kde





- $A_s$  je plocha tažené výztuže
- $A_{c,eff}$  je efektivní plocha betonu obklopující taženou výztuž

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff} \quad (74)$$

kde

- $h_{c,eff}$  je efektivní výška průřezu

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h-d); \frac{h-x}{3}; \frac{h}{2} \right\} \quad (75)$$

$$\sigma_s = \alpha_{e,lt} \cdot \frac{M_{Eqp}}{I_{lt}} \cdot (d - x_{i,II,lt}) \quad (76)$$

$f_{ct,eff} = 0,5 \cdot f_{ctm}$  ( $0,5 f_{ctm}$  pro betony s normálním nárůstem pevnosti;  $f_{ctm}$  pro betony s pomalým nárůstem pevnosti)



### 3 Varianty podepření

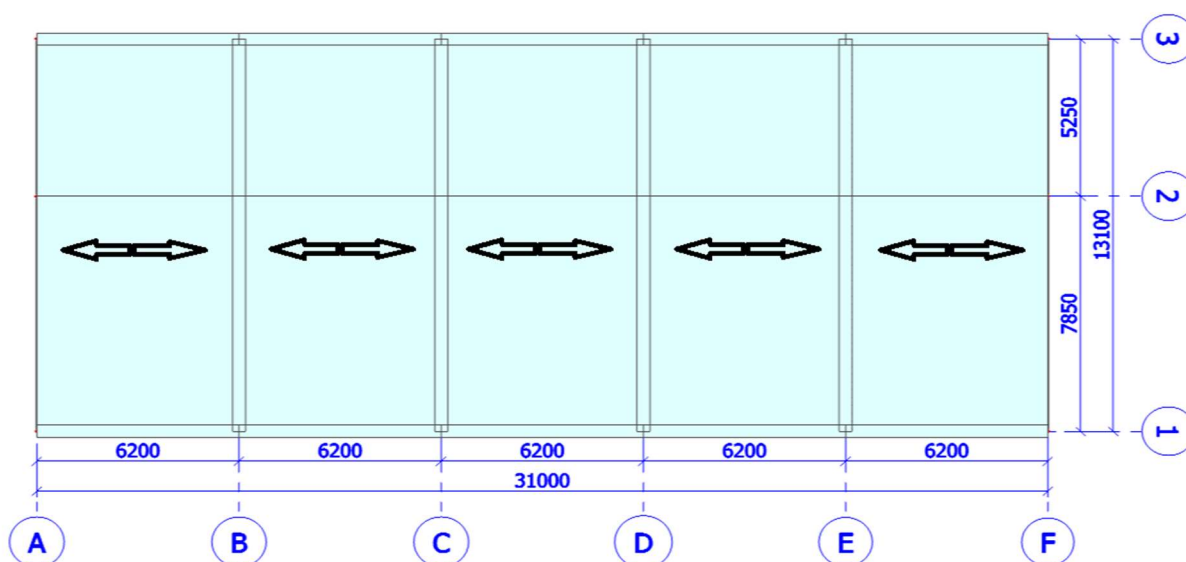
V následující části této práce jsou popsány jednotlivé řešené varianty podepření. Konkrétně se jedná o varianty jednosměrně pnuté desky, obousměrně pnuté desky – po obvodě a lokálně podepřené. Všechny tyto varianty byly vymodelovány ve SCIA Engineer (jako 2D modely). Po vymodelování byly zadány jednotlivé dílčí zatěžovací stavy a z nich následně charakteristická, návrhová a kvazistálá kombinace. Z těchto kombinací byly získány ohybové momenty a pro kvazistálou, případně charakteristickou kombinaci zatížení a hodnota pružného průhybu. Tyto veličiny byly využity pro další výpočty ve vytvořeném programu v MS Excel.

V excelu byly nejprve jednotlivé desky stejně vyztuženy a měnila se jejich tloušťka tak, aby vyhověly na MSÚ a MSP. Vzniklo tak porovnání jednotlivých variant podepření při zhruba stejném vyztužení. Výpočet byl prováděn pro více tříd betonu. Jednotlivé výstupy z tohoto programu budou uvedeny pro jednotlivé varianty podepření níže.

Po porovnání byly některé tloušťky desek zrealněny přidáním vyztuže.

#### 3.1 Varianta jednosměrně pnutá 1

Schéma desky



Obrázek 5-Schéma jednosměrně pnuté desky

Tato varianta desky je pnutá na rozpon 6,2 m, nosné průvlaky jsou umístěny v příčném směru. V podélném směru je proveden obvodový ztužující průvlak. V místě příčných průvlaků jsou umístěny liniové kloubové podpory a v krajích A a F (viz obrázek 5) je deska vetknuta do železobetonových monolitických stěn.



### 3.1.1 Výchozí tloušťka desky

Návrh výchozí tloušťky desky byl proveden dle následujícího empirického vztahu.

$$h_d = \left( \frac{1}{30} - \frac{1}{25} \right) \cdot l = \left( \frac{1}{30} - \frac{1}{25} \right) \cdot 6200 = 207 - 243 \rightarrow 230 \text{ mm} \quad (77)$$

kde

- $h_d$  je tloušťka desky
- $l$  je rozpětí desky

Tato tloušťka byla použita jako výchozí pro model ve SCIA Engineer. Následně byla měněna a bylo zkoumáno chování desky.

### 3.1.2 Rozměr průvlaku

Návrh rozměru průvlaku byl proveden dle empirického vztahu.

$$h_p = \left( \frac{1}{12} - \frac{1}{10} \right) \cdot l_p = \left( \frac{1}{12} - \frac{1}{10} \right) \cdot 7850 = 654,2 - 785 \approx 730 \text{ mm} \quad (78)$$

kde

- $h_p$  je výška průvlaku
- $l_p$  je rozpětí průvlaku

$$b_p = \left( \frac{1}{3} - \frac{2}{3} \right) \cdot h_p = \left( \frac{1}{3} - \frac{2}{3} \right) \cdot 730 = 243,3 - 486,7 \rightarrow 400 \text{ mm} \quad (79)$$

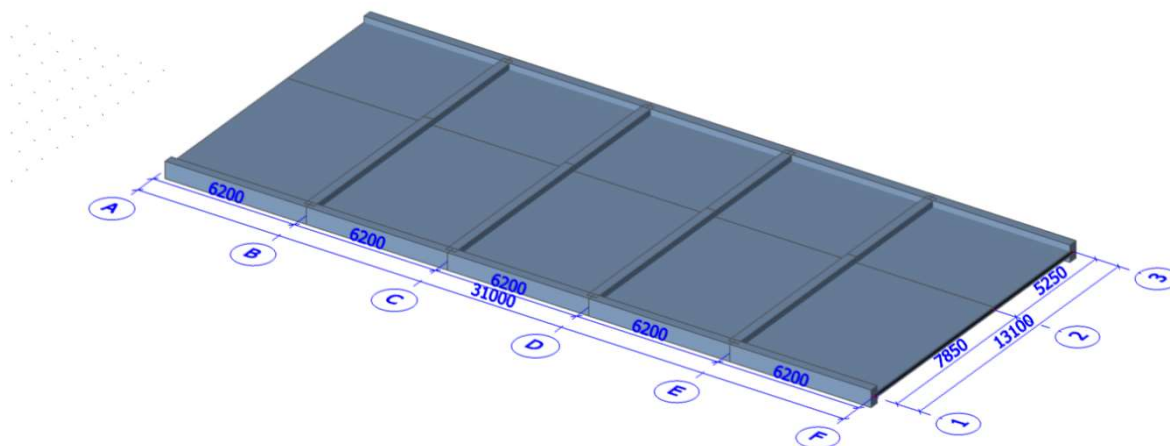
kde

- $b_p$  je šířka průvlaku

Obvodový ztužující průvlak je proveden ve stejných rozměrech.

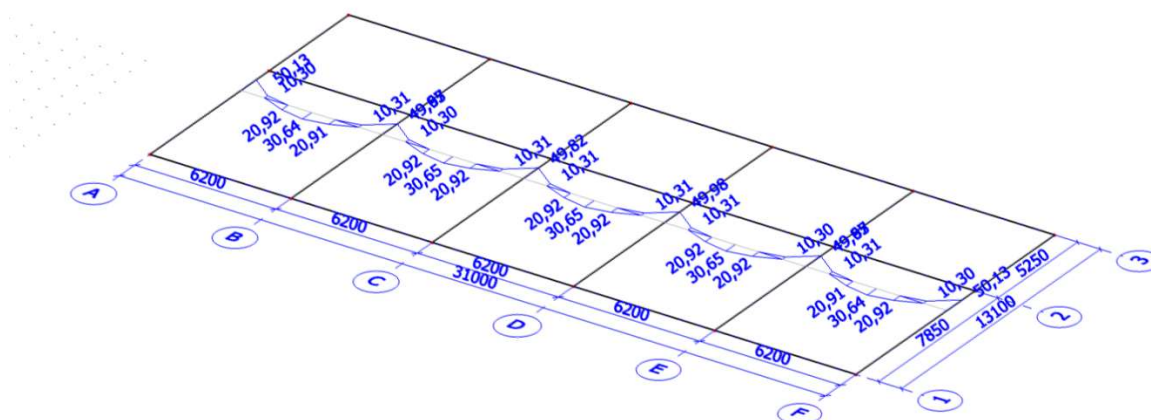


### 3.1.3 SCIA Engineer



Obrázek 6-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro jednosměrně pnutou variantu

Na obrázku 6 je zobrazena deska, která byla vytvořena jako 2D model. Tento model byl zatížen potřebnými kombinacemi zatížení (charakteristickou, návrhovou a kvazistálou). Jak již bylo zmíněno, pod příčnými průvlaky se nacházejí liniové kloubové podpory, kraje A F jsou vetknuty do monolitické stěny.

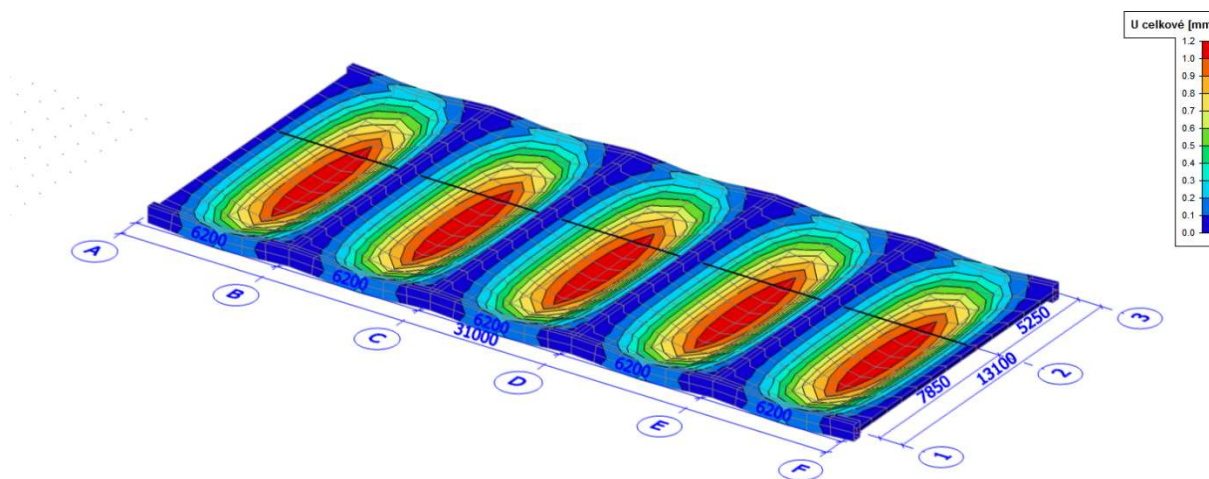


Obrázek 7-Průběh momentů

Na obrázku 7 jsou vykresleny ohybové momenty ve vybraném řezu. Zde konkrétně od návrhové kombinace zatížení. Při vykreslování ohybových momentů byly použity



průměrovací pásy. Tyto pásy měly šířku 400 mm, tedy shodou se šířkou podpor. Pásy byly umístěny v místech podpor. Pro další posouzení byly zohledněny maximální nadpodporové i mezpodporové momenty.



Obrázek 8-Průhyb

Na obrázku 8 je zobrazen pružný průhyb. Pro další výpočet byl uvažován maximální průhyb.

### 3.1.4 Výpočet ve vytvořeném programu pro jednosměrně pnutou variantu 1

Získané hodnoty z programu SCIA Engineer byly zadány do vytvořeného programu v MS Excel. Vstup je zobrazen na obrázku 9.



Průřez					
b	1000	mm			
h	230	mm			
l	6200	mm			
c	30	mm			
d	194	mm			
d1	36	mm			
d2	34	mm			
Beton	C 30/37		Ocel	B500B	
fck	30	MPa	fyk	500	Mpa
Ecm	33000	MPa	Es	200	Gpa
fctm	2,9	MPa			
fcm	38	MPa			
Cement	R				
SVP	XC2		Stupeň vlivu prostředí		
fcm0	10	MPa			
Horní tlačená			Dolní tažená		
Profil	8	mm	Profil	12	mm
počet	5	ks	počet	6	ks
As2	251,4	mm <sup>2</sup>	As1	678,6	mm <sup>2</sup>
			asmax	300	VYHOVUJE
			asmin	21	VYHOVUJE
			as	166,6666667	mm
Momenty SCIA					
Mek	34,71	kNm	Moment od charakteristické kombinace		
Mefr	0	kNm	Moment od časté kombinace		
Meqp	27,97	kNm	Moment od kvazistálé kombinace		
Průhyb SCIA	1,4	mm			

Obrázek 9-Zadání vstupních hodnot do vytvořeného programu v MS Excel

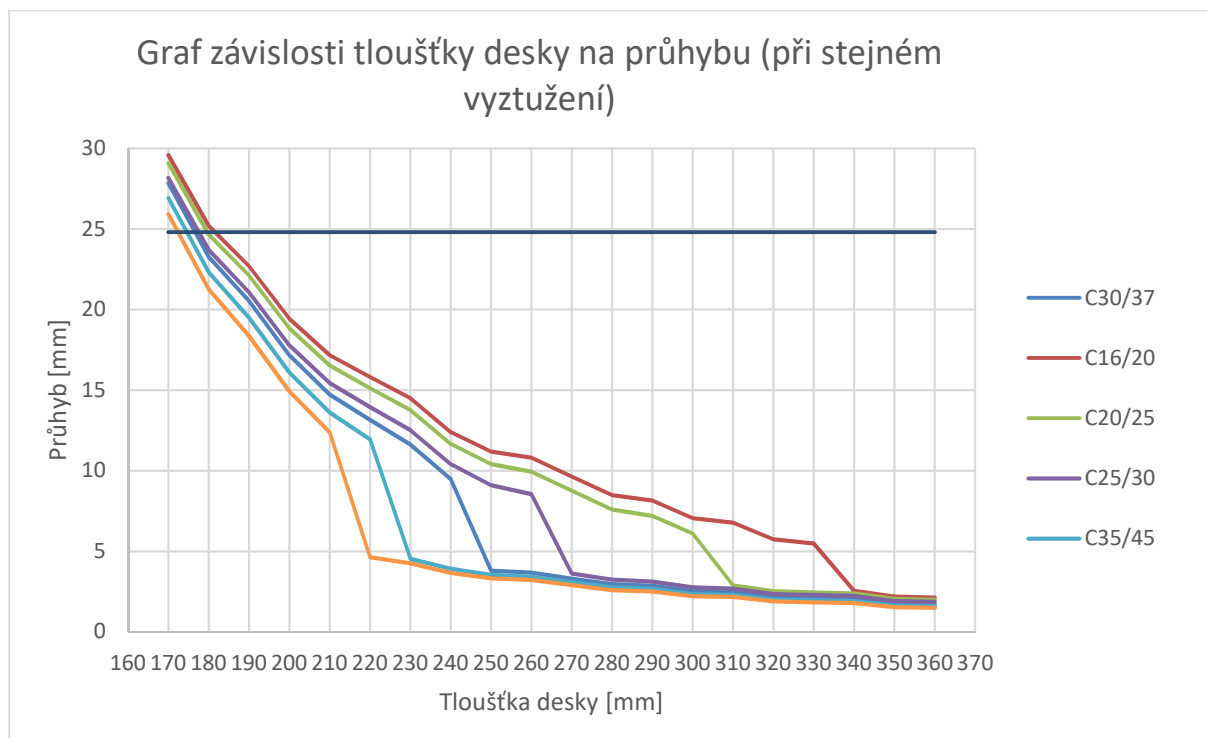
Kromě zadání jednotlivých hodnot ohybových momentů a průhybu byly dále specifikovány materiály a rozměry průřezu. Dále bylo nutno nadefinovat horní a dolní výztuž. Pro prvotní porovnání jednotlivých varianty byla zachována stejná výztuž pro všechny průřezy. Pro horní výztuž bylo zvoleno 5 ks profilů 8 mm a pro spodní výztuž 6 ks profilů 12 mm.

Program následně provedl posouzení na MSÚ a MSP. Všechny výsledné hodnoty byly zaznamenávány do následující tabulky 2. Pro názornost byly průběhy průhybů vyneseny do grafu na obrázku 10.



Varianta		jednosměrně pnutá C30/37		C16/20		C20/25		C25/30		C35/45		C40/50		Mrd				
hd [mm]	Mek [kNm]	Mqp [kNm]	yscia [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ylim [mm]	Med [kNm]	Mrd [kNm]			
360	49,11	41,71	0,4	1,72	VYHOVUJE	2,14	VYHOVUJE	2	VYHOVUJE	1,87	VYHOVUJE	1,6	VYHOVUJE	1,5	VYHOVUJE	24,8		
350	48,16	40,8	0,4	1,76	VYHOVUJE	2,19	VYHOVUJE	2,06	VYHOVUJE	1,92	VYHOVUJE	1,64	VYHOVUJE	1,54	VYHOVUJE	24,8		
340	47,22	39,89	0,5	2,05	VYHOVUJE	2,55	VYHOVUJE	2,39	VYHOVUJE	2,24	VYHOVUJE	1,91	VYHOVUJE	1,8	VYHOVUJE	24,8		
330	46,28	38,98	0,5	2,11	VYHOVUJE	5,48	VYHOVUJE	2,45	VYHOVUJE	2,3	VYHOVUJE	1,96	VYHOVUJE	1,84	VYHOVUJE	24,8		
320	45,33	38,07	0,5	2,16	VYHOVUJE	5,74	VYHOVUJE	2,52	VYHOVUJE	2,36	VYHOVUJE	2,01	VYHOVUJE	1,89	VYHOVUJE	24,8		
310	44,39	37,16	0,6	2,47	VYHOVUJE	6,78	VYHOVUJE	2,88	VYHOVUJE	2,69	VYHOVUJE	2,3	VYHOVUJE	2,17	VYHOVUJE	24,8		
300	43,44	36,26	0,6	2,54	VYHOVUJE	7,06	VYHOVUJE	6,1	VYHOVUJE	2,77	VYHOVUJE	2,36	VYHOVUJE	2,22	VYHOVUJE	24,8		
290	42,49	35,35	0,7	2,87	VYHOVUJE	8,16	VYHOVUJE	7,2	VYHOVUJE	3,13	VYHOVUJE	2,67	VYHOVUJE	2,51	VYHOVUJE	24,8		
280	41,54	34,44	0,7	2,96	VYHOVUJE	8,48	VYHOVUJE	7,6	VYHOVUJE	3,24	VYHOVUJE	2,76	VYHOVUJE	2,59	VYHOVUJE	24,8		
270	40,59	33,54	0,8	3,31	VYHOVUJE	9,64	VYHOVUJE	8,76	VYHOVUJE	3,62	VYHOVUJE	3,08	VYHOVUJE	2,9	VYHOVUJE	24,8		
260	39,63	32,62	0,9	3,68	VYHOVUJE	10,81	VYHOVUJE	9,93	VYHOVUJE	8,54	VYHOVUJE	3,42	VYHOVUJE	3,22	VYHOVUJE	24,8		
250	38,65	31,69	0,9	3,81	VYHOVUJE	11,18	VYHOVUJE	10,41	VYHOVUJE	9,11	VYHOVUJE	3,54	VYHOVUJE	3,33	VYHOVUJE	24,8		
240	37,66	30,75	1	9,49	VYHOVUJE	12,41	VYHOVUJE	11,67	VYHOVUJE	10,42	VYHOVUJE	3,91	VYHOVUJE	3,67	VYHOVUJE	24,8		
230	36,68	29,82	1,2	11,63	VYHOVUJE	14,51	VYHOVUJE	13,78	VYHOVUJE	12,52	VYHOVUJE	4,53	VYHOVUJE	4,26	VYHOVUJE	24,8		
220	35,69	28,89	1,3	13,15	VYHOVUJE	15,82	VYHOVUJE	15,13	VYHOVUJE	13,95	VYHOVUJE	11,95	VYHOVUJE	4,64	VYHOVUJE	24,8		
210	34,71	27,97	1,4	14,73	VYHOVUJE	17,17	VYHOVUJE	16,54	VYHOVUJE	15,44	VYHOVUJE	13,62	VYHOVUJE	12,38	VYHOVUJE	24,8		
200	33,74	27,05	1,6	17,16	VYHOVUJE	19,44	VYHOVUJE	18,84	VYHOVUJE	17,78	VYHOVUJE	16,09	VYHOVUJE	14,92	VYHOVUJE	24,8		
190	32,78	26,15	1,9	20,54	VYHOVUJE	22,68	VYHOVUJE	22,11	VYHOVUJE	21,08	VYHOVUJE	19,5	VYHOVUJE	18,36	VYHOVUJE	24,8		
180	31,82	25,25	2,1	23,27	VYHOVUJE	25,19	NEVYHOVUJE	24,66	VYHOVUJE	23,71	VYHOVUJE	22,31	VYHOVUJE	21,26	VYHOVUJE	24,8		
170	30,88	24,37	2,5	27,84	NEVYHOVUJE	29,58	NEVYHOVUJE	29,09	NEVYHOVUJE	28,17	NEVYHOVUJE	26,92	NEVYHOVUJE	25,92	NEVYHOVUJE	24,8		
																52,085	VYHOVUJE	
																48,31	49,136	VYHOVUJE
																46,98	46,188	NEVYHOVUJE
																45,67	43,239	NEVYHOVUJE
																44,36	40,29	NEVYHOVUJE
																43,08	37,341	NEVYHOVUJE

Tabulka 2-Srovnání jednotlivých tloušťek jednosměrně pnuté varianty 1



Obrázek 10-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu

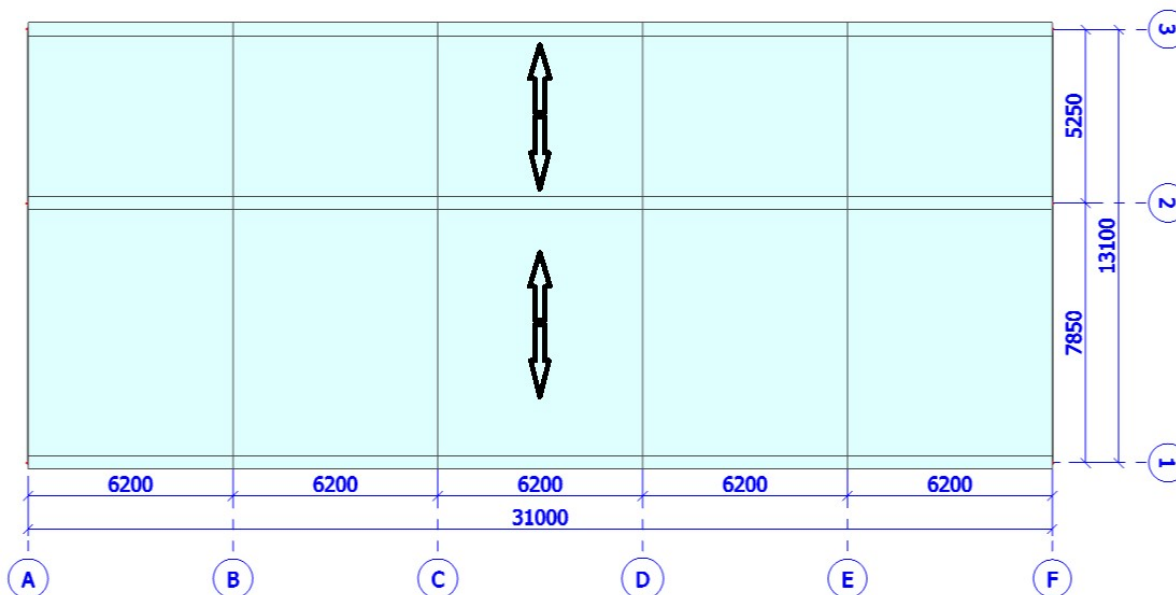
Výchozí třídou betonu byla třída C30/37. Z tabulky 2 je patrné, že z hlediska MSP by vyhověla deska tloušťky 180 mm. Tato tloušťka by ale nevyhověla z hlediska MSÚ. Jako vyhovující byla vybrána tloušťka desky 210 mm. Pro tuto variantu je zhotoven výkres tvaru viz. výkres č. 1.





## 3.2 Varianta jednosměrně pnutá 2

Schéma desky



Obrázek 11-Schéma desky

Tato varianta desky je pnutá na rozpon 7,85 m, nosné průvlaky jsou umístěny v podélném směru. V místě podélných průvlaků jsou umístěny liniové kloubové podpory a v krajích A a F je deska vetknuta.

### 3.2.1 Výchozí tloušťka desky

Návrh výchozí tloušťky desky byl proveden dle následujícího empirického vztahu.

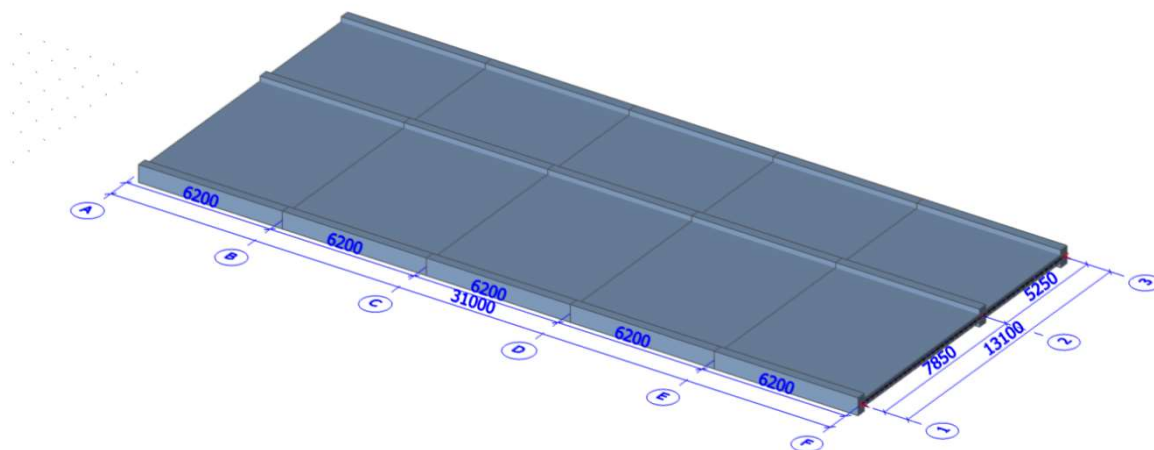
$$h_d = \left( \frac{1}{30} - \frac{1}{25} \right) \cdot l = \left( \frac{1}{30} - \frac{1}{25} \right) \cdot 7850 = 261,7 - 314 \rightarrow 300 \text{ mm} \quad (80)$$

### 3.2.2 Rozměr průvlaku

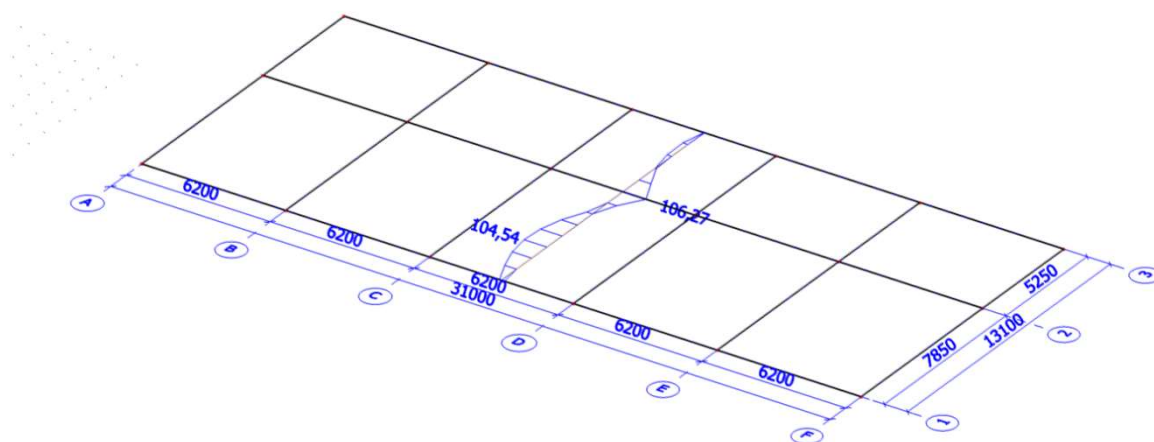
Rozměry průvlaků jsou shodné jako v kapitole 3.1.2.



### 3.2.3 SCIA Engineer

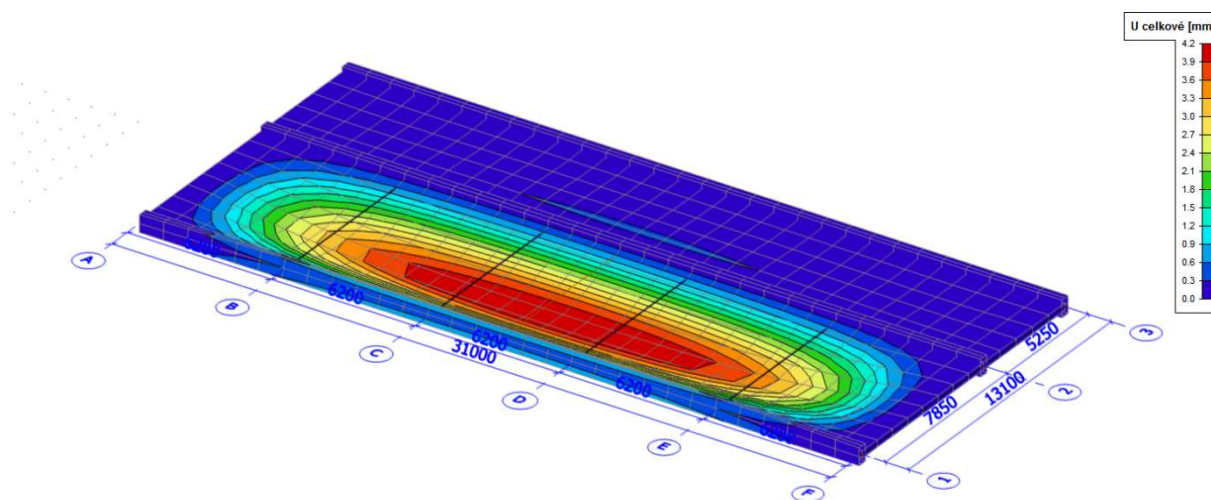


Obrázek 12-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro jednosměrně prnutou variantu 2



Obrázek 13-Průběh momentů

Na obrázku 13 je zobrazen typický průběh ohybových momentů na jednosměrně prnuté desce. Zde pro návrhovou kombinaci zatížení. Znovu bylo využito průměrovacích pásů, stejně jako v předchozí variantě desky. Pro další výpočet je uvažován maximální moment nad vnitřní podporou.



Obrázek 14-Průhyb

Z obrázku 14 je patrné, že největší průhyb je uprostřed delšího pole. Tento průhyb je dále uvažován do výpočtu.

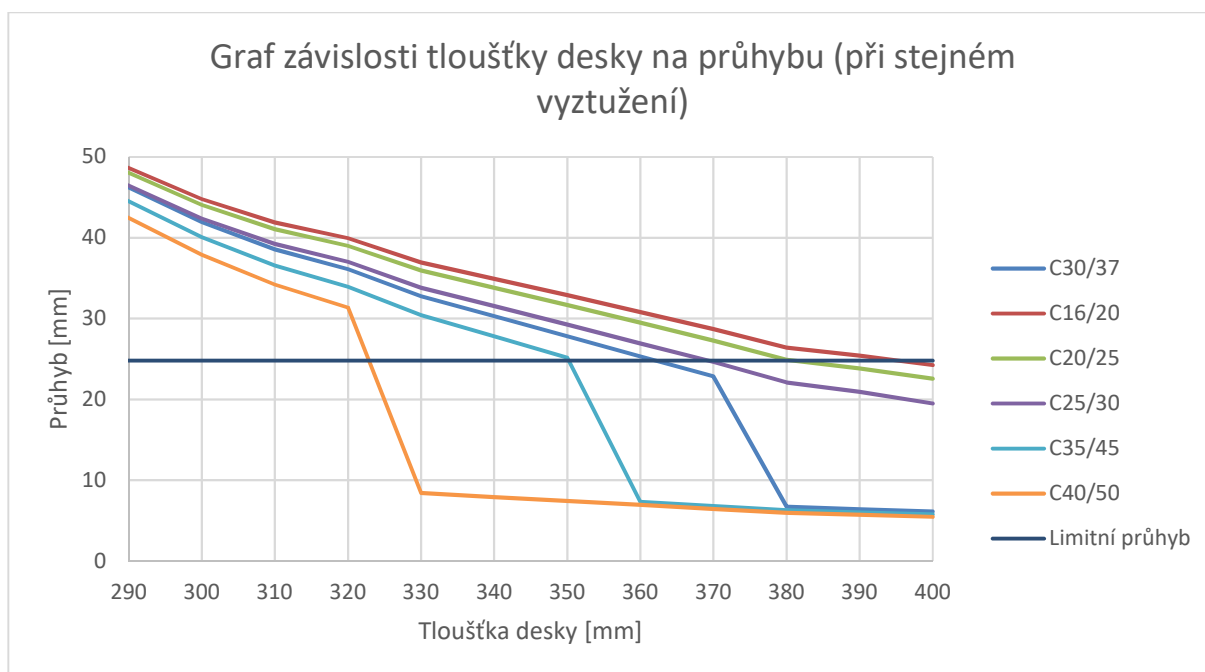
### 3.2.4 Výpočet ve vytvořeném programu pro jednosměrně pnutou variantu 2

Následoval stejný postup zadávání jednotlivých hodnot do vytvořeného programu v MS Excel. Veškeré výstupy byly zaznamenávány do tabulky 3.



Varianta		jednosměrně pnutá		C30/37		C16/20		C20/25		C25/30		C35/45		C40/50		Y <sub>m</sub>	Med	Mird	
hd	Mek	M <sub>qp</sub>	yscía	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	Y <sub>celkový</sub>	[mm]	[kNm]	[kNm]	
400	89,43	76,36	2,2	6,13	VYHOVUJE	24,24	NE-max trhlina	22,56	NE-max trhlina	19,5	VYHOVUJE	5,77	VYHOVUJE	5,47	VYHOVUJE	24,8	123,53	105,16	NEVYHOVUJE
390	88,18	75,11	2,3	6,42	VYHOVUJE	25,4	NEVYHOVUJE	23,83	NE-max trhlina	20,93	NE-max trhlina	6,03	VYHOVUJE	5,72	VYHOVUJE	24,8	121,84	102,22	NEVYHOVUJE
380	86,92	73,06	2,4	6,71	NE-max trhlina	26,42	NEVYHOVUJE	24,9	NEVYHOVUJE	22,1	NE-max trhlina	6,3	VYHOVUJE	5,98	VYHOVUJE	24,8	120,14	99,267	NEVYHOVUJE
370	85,66	72,61	2,6	22,84	NE-max trhlina	28,69	NEVYHOVUJE	27,29	NEVYHOVUJE	24,64	NE-max trhlina	6,81	NE-max ∩ s1	6,46	NE-max ∩ s1	24,8	118,43	96,318	NEVYHOVUJE
360	84,39	71,35	2,8	25,3	NEVYHOVUJE	30,8	NEVYHOVUJE	29,48	NEVYHOVUJE	26,94	NE-max trhlina	7,32	NE-max trhlina	6,95	NE-max ∩ s1	24,8	116,72	93,369	NEVYHOVUJE
350	83,12	70,09	3	27,78	NEVYHOVUJE	32,89	NEVYHOVUJE	31,66	NEVYHOVUJE	29,25	NEVYHOVUJE	25,15	NEVYHOVUJE	7,44	NE-max ∩ s1	24,8	115	90,421	NEVYHOVUJE
340	81,84	68,82	3,2	30,27	NEVYHOVUJE	34,94	NEVYHOVUJE	33,81	NEVYHOVUJE	31,54	NEVYHOVUJE	27,78	NEVYHOVUJE	7,93	NE-max ∩ s1	24,8	113,28	87,472	NEVYHOVUJE
330	80,56	67,55	3,4	32,74	NEVYHOVUJE	36,96	NEVYHOVUJE	35,94	NEVYHOVUJE	33,82	NEVYHOVUJE	30,42	NEVYHOVUJE	8,43	NE-max trhlina	24,8	111,54	84,523	NEVYHOVUJE
320	79,27	66,27	3,7	36,12	NEVYHOVUJE	39,94	NEVYHOVUJE	39,02	NEVYHOVUJE	37,01	NEVYHOVUJE	33,92	NEVYHOVUJE	31,35	NEVYHOVUJE	24,8	109,8	81,57	NEVYHOVUJE
310	77,97	64,98	3,9	38,57	NEVYHOVUJE	41,88	NEVYHOVUJE	41,07	NEVYHOVUJE	39,24	NEVYHOVUJE	36,56	NEVYHOVUJE	34,2	NEVYHOVUJE	24,8	108,04	78,63	NEVYHOVUJE
300	76,66	63,69	4,2	41,92	NEVYHOVUJE	44,77	NEVYHOVUJE	44,07	NEVYHOVUJE	42,38	NEVYHOVUJE	40,06	NEVYHOVUJE	37,89	NEVYHOVUJE	24,8	106,27	75,68	NEVYHOVUJE
290	75,34	62,39	4,6	46,22	NEVYHOVUJE	48,62	NEVYHOVUJE	48,02	NEVYHOVUJE	46,46	NEVYHOVUJE	44,49	NEVYHOVUJE	42,46	NEVYHOVUJE	24,8	104,49	72,73	NEVYHOVUJE
280	74,06	61,12	5	50,5	NEVYHOVUJE	52,41	NEVYHOVUJE	51,92	NEVYHOVUJE	50,51	NEVYHOVUJE	48,93	NEVYHOVUJE	47,08	NEVYHOVUJE	24,8	102,76	69,78	NEVYHOVUJE
270	72,78	59,85	5,4	54,76	NEVYHOVUJE	56,14	NEVYHOVUJE	55,77	NEVYHOVUJE	54,52	NEVYHOVUJE	53,35	NEVYHOVUJE	51,7	NEVYHOVUJE	24,8	101,02	66,83	NEVYHOVUJE
260	71,47	58,56	6	60,88	NEVYHOVUJE	61,73	NEVYHOVUJE	61,49	NEVYHOVUJE	60,37	NEVYHOVUJE	59,62	NEVYHOVUJE	58,13	NEVYHOVUJE	24,8	99,25	63,88	NEVYHOVUJE
250	70,16	57,27	6,5	66	NEVYHOVUJE	66,29	NEVYHOVUJE	66,17	NEVYHOVUJE	65,23	NEVYHOVUJE	64,92	NEVYHOVUJE	63,65	NEVYHOVUJE	24,8	97,48	60,93	NEVYHOVUJE
240	68,83	55,97	7,2	72,99	NEVYHOVUJE	72,67	NEVYHOVUJE	72,68	NEVYHOVUJE	71,91	NEVYHOVUJE	72,07	NEVYHOVUJE	70,99	NEVYHOVUJE	24,8	95,68	57,98	NEVYHOVUJE
230	67,5	54,66	8	80,87	NEVYHOVUJE	79,91	NEVYHOVUJE	80,06	NEVYHOVUJE	79,46	NEVYHOVUJE	80,12	NEVYHOVUJE	79,25	NEVYHOVUJE	24,8	93,88	55,03	NEVYHOVUJE
220	66,15	53,34	8,8	88,69	NEVYHOVUJE	87,08	NEVYHOVUJE	87,38	NEVYHOVUJE	86,95	NEVYHOVUJE	88,13	NEVYHOVUJE	87,48	NEVYHOVUJE	24,8	92,05	52,09	NEVYHOVUJE
210	64,75	52,01	9,9	99,32	NEVYHOVUJE	96,97	NEVYHOVUJE	97,43	NEVYHOVUJE	97,19	NEVYHOVUJE	98,94	NEVYHOVUJE	98,51	NEVYHOVUJE	24,8	90,21	49,14	NEVYHOVUJE
200	63,41	50,67	11,1	110,86	NEVYHOVUJE	107,74	NEVYHOVUJE	108,37	NEVYHOVUJE	108,32	NEVYHOVUJE	110,67	NEVYHOVUJE	110,5	NEVYHOVUJE	24,8	88,34	46,19	NEVYHOVUJE

Tabulka 3-Srovnání jednotlivých tloušťek jednosměrně pnuté varianty 2a

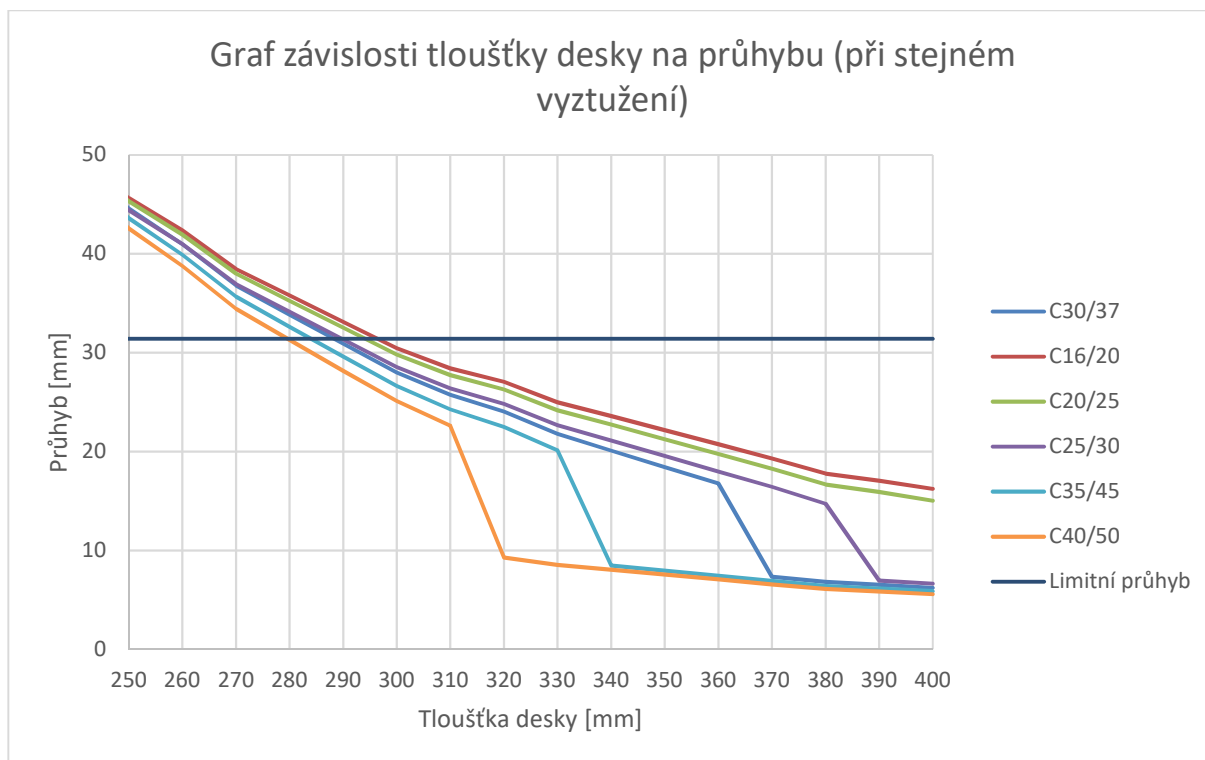


*Obrázek 15-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu*

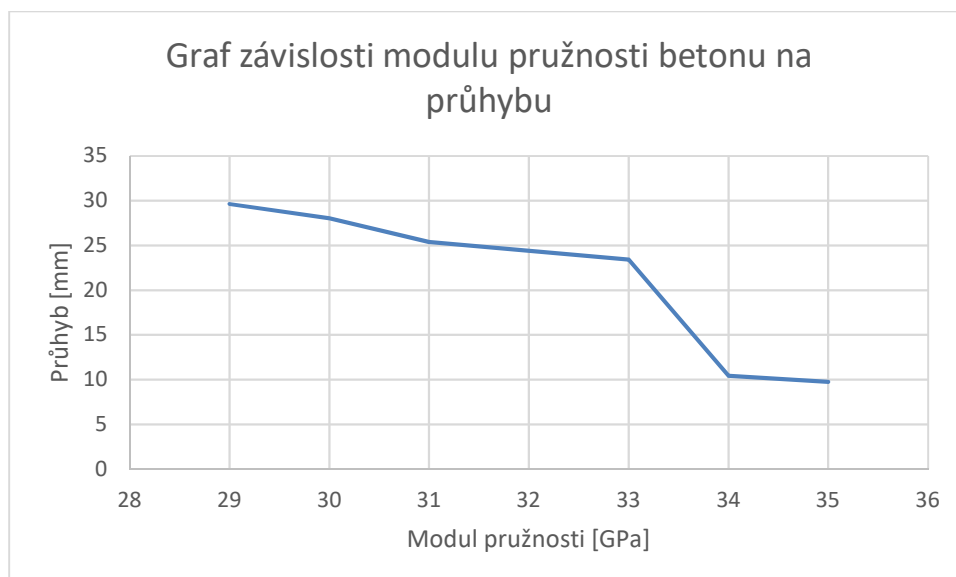
Z tabulky 3 je patrné, že při stejném vyztužení, by tloušťka desky musela být 390 mm. Poté by deska vyhověla na mezní stav použitelnosti, avšak nevyhověla by pro použitou výztuž v mezním stavu únosnosti. Pro zrealnění tloušťky konstrukce a splnění mezního stavu únosnosti byla změněna tažená výztuž z původních 6 ks 12 mm na nových 6 ks 16 mm. Pro tuto novou plochu výztuže byla vytvořena tabulka 4 a z ní následně graf (obrázek 16).







Obrázek 16-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu



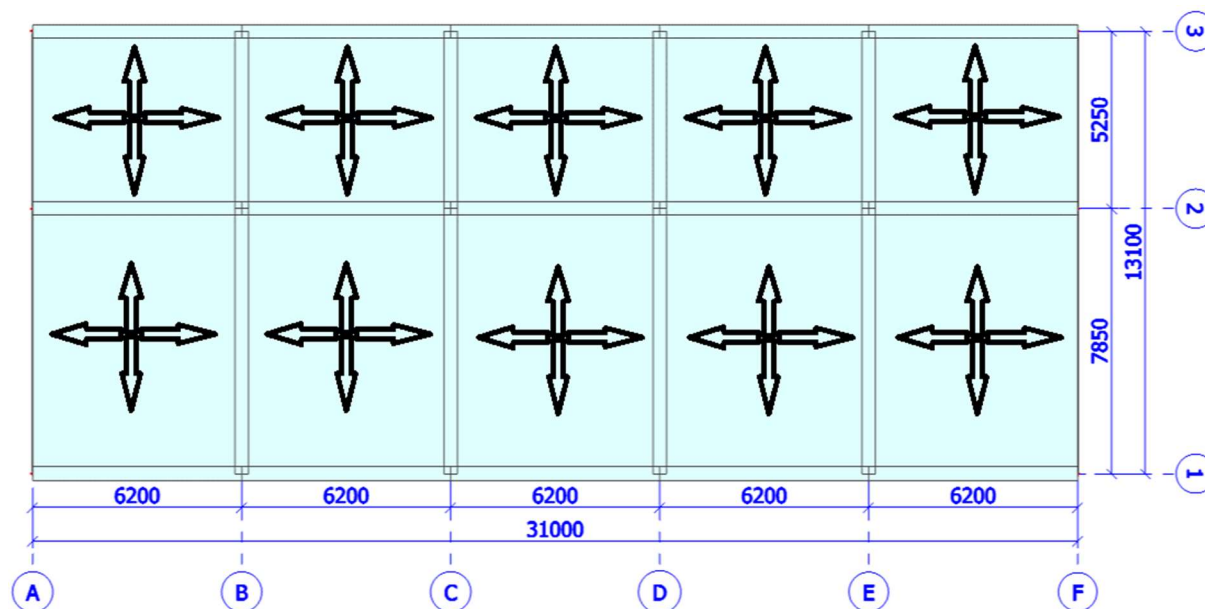
Obrázek 17-Graf závislosti modulu pružnosti betonu na průhybu (tl. desky 150 mm)

Po přepočítání všech parametrů byla vybrána deska o tloušťce 290 mm. Pro tuto variantu je zhotoven výkres tvaru viz. výkres č. 2.



### 3.3 Varianta obousměrně pnutá

Schéma



Obrázek 18-Schéma obousměrně podepřené desky

Tato varianta desky je pnutá na rozpon 7,85 x 6,2 m, nosné průvlaky jsou umístěny v obou směrech. V místech průvlaků jsou umístěny liniové kloubové podpory a v krajích A a F je deska vetknuta do monolitické stěny.

#### 3.3.1 Výchozí tloušťka desky

Návrh výchozí tloušťky desky byl proveden dle následujícího empirického vztahu.

$$h_d = \frac{l_x + l_y}{75} = \frac{6200 + 7850}{75} = 188 \rightarrow 190 \text{ mm} \quad (81)$$

#### 3.3.2 Rozměry průvlaku

Rozměry průvlaků jsou shodné jako v kapitole 3.1.2, tedy:

$$h_p = 730 \text{ mm}$$

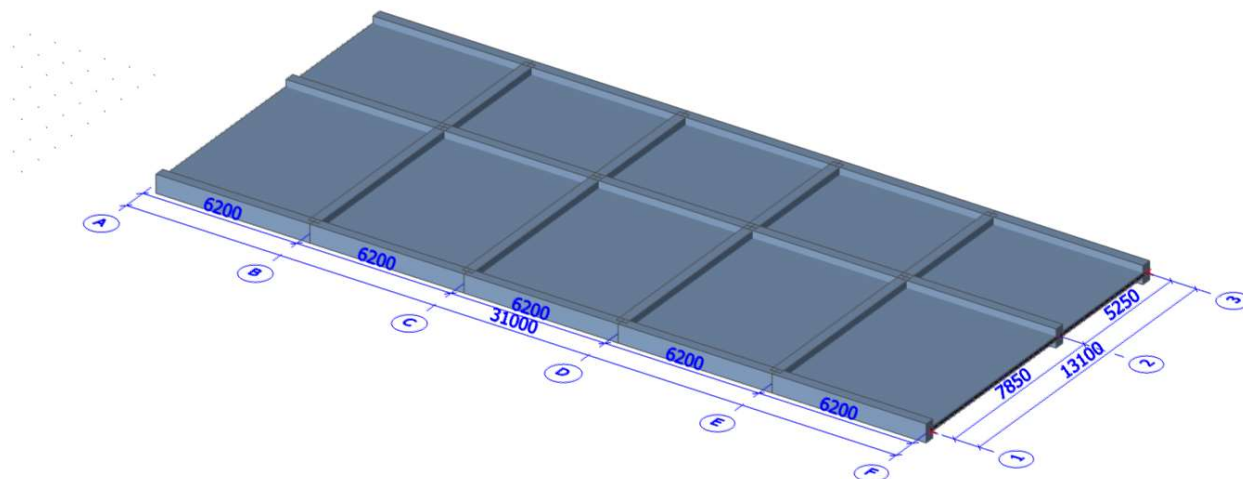
$$b_p = 400 \text{ mm}$$

Tyto rozměry jsou pro všechny průvlaky stejné.

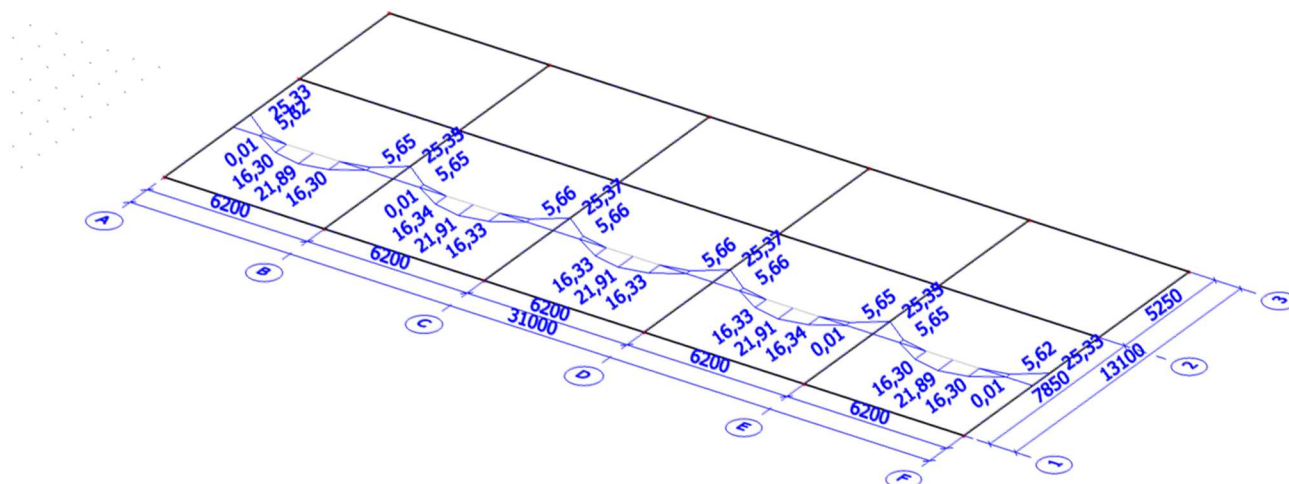




### 3.3.3 SCIA Engineer

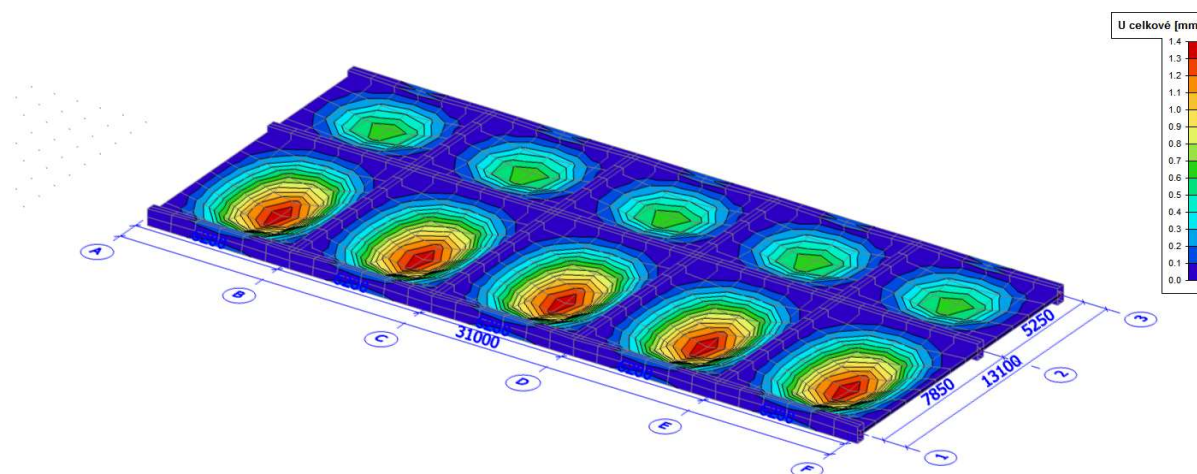


Obrázek 19-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro obousměrně podepřenou variantu



Obrázek 20-Průběh momentů

Na obrázku 19 je zobrazen typický průběh ohybových momentů na obousměrně pruté desce od návrhové kombinace zatížení. Zobrazen je průběh ve směru osy x, jelikož se jedná o dominantní směr. Znovu bylo použito průměrovacích pásů, stejně jako v předchozí variantě desky. Pro další výpočet je uvažován maximální moment nad podporou i maximální mezipodporový moment.



Obrázek 21-Průhyby

Největší průhyb je uprostřed největších polí. Tento průhyb je následně upravován.

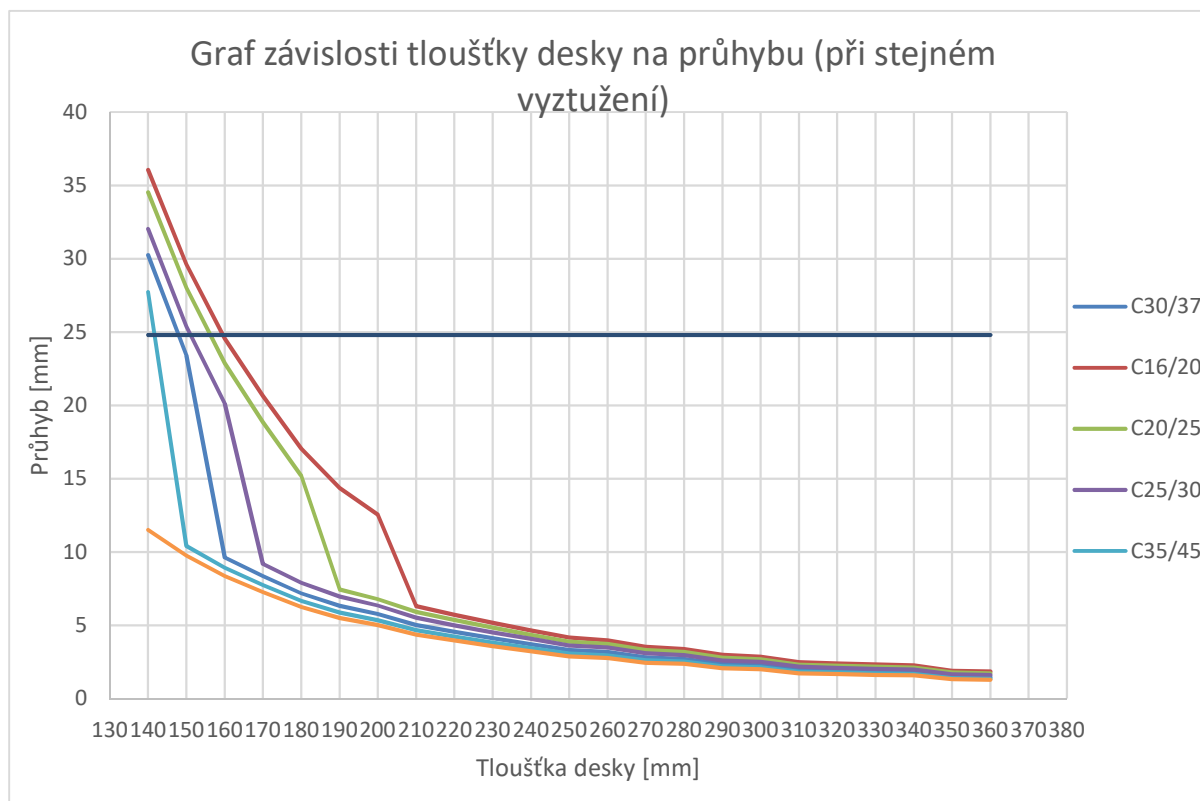


### 3.3.4 Výpočet ve vytvořeném programu pro obousměrně pnutou variantu

Obdobný postup jako v předchozích variantách. Výsledkem je tabulka 5 a graf viz obrázek 21.

Varianta křížem pnutá		C30/37		C16/20		C20/25		C25/30		C35/45		C40/50		Mrd	
hd [mm]	Mek [kNm]	Mqp [kNm]	yscia [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Ycelkový [mm]	Y <sub>lim</sub> [mm]	Med [kNm]	Mrd [kNm]
360	26,23	23,34	0,3	1,47	VYHOVUJE	1,73	VYHOVUJE	1,61	VYHOVUJE	1,36	VYHOVUJE	1,28	VYHOVUJE	24,8	
350	25,8	21,75	0,3	1,51	VYHOVUJE	1,78	VYHOVUJE	1,66	VYHOVUJE	1,4	VYHOVUJE	1,32	VYHOVUJE	24,8	
340	25,36	21,32	0,4	1,81	VYHOVUJE	2,11	VYHOVUJE	1,98	VYHOVUJE	1,68	VYHOVUJE	1,58	VYHOVUJE	24,8	
330	24,92	20,89	0,4	1,86	VYHOVUJE	2,18	VYHOVUJE	2,03	VYHOVUJE	1,73	VYHOVUJE	1,62	VYHOVUJE	24,8	
320	24,47	20,45	0,4	1,91	VYHOVUJE	2,25	VYHOVUJE	2,1	VYHOVUJE	1,78	VYHOVUJE	1,67	VYHOVUJE	24,8	
310	24,02	20,02	0,4	1,97	VYHOVUJE	2,32	VYHOVUJE	2,17	VYHOVUJE	1,83	VYHOVUJE	1,72	VYHOVUJE	24,8	
300	23,57	19,58	0,5	2,29	VYHOVUJE	2,68	VYHOVUJE	2,51	VYHOVUJE	2,13	VYHOVUJE	2	VYHOVUJE	24,8	
290	23,12	19,14	0,5	2,37	VYHOVUJE	2,79	VYHOVUJE	2,6	VYHOVUJE	2,2	VYHOVUJE	2,07	VYHOVUJE	24,8	
280	22,65	18,7	0,6	2,71	VYHOVUJE	3,18	VYHOVUJE	2,97	VYHOVUJE	2,52	VYHOVUJE	2,37	VYHOVUJE	24,8	
270	22,19	18,24	0,6	2,82	VYHOVUJE	3,31	VYHOVUJE	3,09	VYHOVUJE	2,61	VYHOVUJE	2,45	VYHOVUJE	24,8	
260	21,71	17,79	0,7	3,18	VYHOVUJE	3,73	VYHOVUJE	3,49	VYHOVUJE	2,95	VYHOVUJE	2,77	VYHOVUJE	24,8	
250	21,23	17,33	0,7	3,31	VYHOVUJE	3,89	VYHOVUJE	3,63	VYHOVUJE	3,07	VYHOVUJE	2,88	VYHOVUJE	24,8	
240	20,74	16,86	0,8	3,7	VYHOVUJE	4,35	VYHOVUJE	4,07	VYHOVUJE	3,44	VYHOVUJE	3,22	VYHOVUJE	24,8	
230	20,24	16,39	0,9	4,12	VYHOVUJE	4,84	VYHOVUJE	4,52	VYHOVUJE	3,82	VYHOVUJE	3,58	VYHOVUJE	24,8	
220	19,74	15,92	1	4,55	VYHOVUJE	5,36	VYHOVUJE	5	VYHOVUJE	4,23	VYHOVUJE	3,96	VYHOVUJE	24,8	
210	19,23	15,44	1,1	5,02	VYHOVUJE	5,91	VYHOVUJE	5,52	VYHOVUJE	4,66	VYHOVUJE	4,36	VYHOVUJE	24,8	
200	18,72	14,96	1,3	5,77	VYHOVUJE	6,78	VYHOVUJE	6,34	VYHOVUJE	5,35	VYHOVUJE	5,02	VYHOVUJE	24,8	
190	18,2	14,47	1,4	6,32	VYHOVUJE	7,44	VYHOVUJE	6,95	VYHOVUJE	5,86	VYHOVUJE	5,49	VYHOVUJE	24,8	
180	17,68	13,99	1,6	7,18	VYHOVUJE	15,19	VYHOVUJE	7,9	VYHOVUJE	6,66	VYHOVUJE	6,23	VYHOVUJE	24,8	
170	17,16	13,5	1,9	8,36	VYHOVUJE	18,86	VYHOVUJE	9,19	VYHOVUJE	7,75	VYHOVUJE	7,26	VYHOVUJE	24,8	
160	16,64	13,03	2,2	9,62	VYHOVUJE	24,56	VYHOVUJE	20,13	VYHOVUJE	8,92	VYHOVUJE	8,35	VYHOVUJE	24,8	23,24
150	16,13	12,55	2,6	23,42	VYHOVUJE	29,63	NEVYHOVUJE	28,02	NEVYHOVUJE	10,42	VYHOVUJE	9,76	VYHOVUJE	24,8	22,54
140	15,62	12,09	3,1	30,25	NEVYHOVUJE	36,06	NEVYHOVUJE	34,53	NEVYHOVUJE	27,72	NEVYHOVUJE	11,51	VYHOVUJE	24,8	21,85
															28,5

Tabulka 5-Srovnání tlouštěk po obvodě podepřené varianty



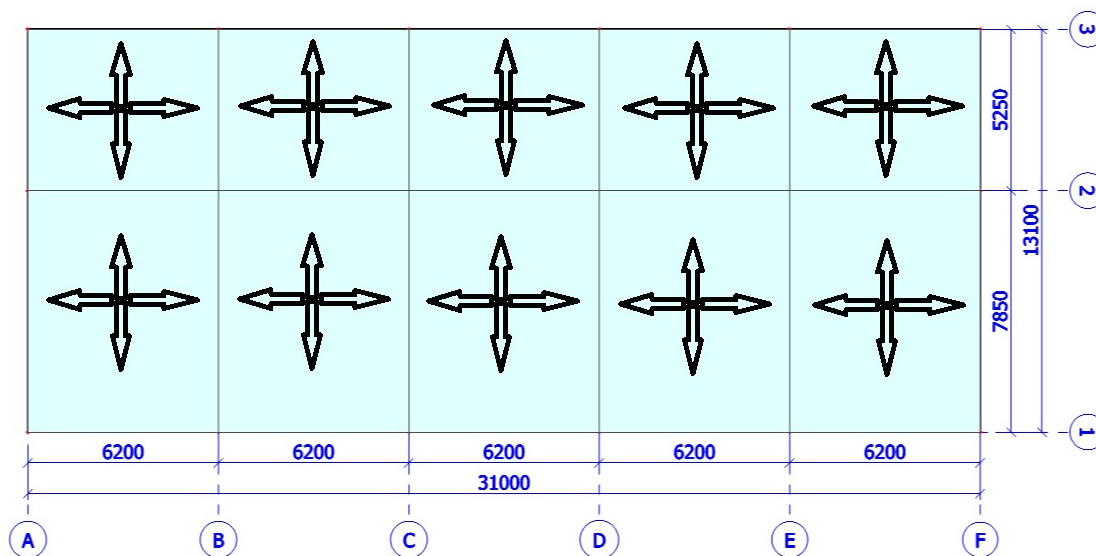
Obrázek 22-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu

Výchozí třídou betonu byla třída C30/37. Z tabulky 5 je patrné, že z hlediska obou mezních stavů vyhoví tloušťka desky 150 mm. Pro tuto variantu je zhotoven výkres tvaru viz. výkres č. 3.



### 3.4 Varianta lokálně podepřená

Schéma desky



Obrázek 23-Schéma lokálně podepřené varianty

Tato varianta desky je lokálně podepřená, středové sloupy přebírají zatížení z plochy 6,2 x 6,55 m. V místech sloupů jsou umístěny bodové kloubové podpory. Příčné kraje jsou vetknuty.

#### 3.4.1 Výchozí tloušťka desky

Návrh výchozí tloušťky desky byl proveden dle následujícího empirického vztahu.

$$h_d = \frac{1}{30} \cdot l_{n,\max} + 10\% = \frac{1}{30} \cdot 7450 \cdot 1,1 = 273 \rightarrow 280\text{mm} \quad (82)$$

kde

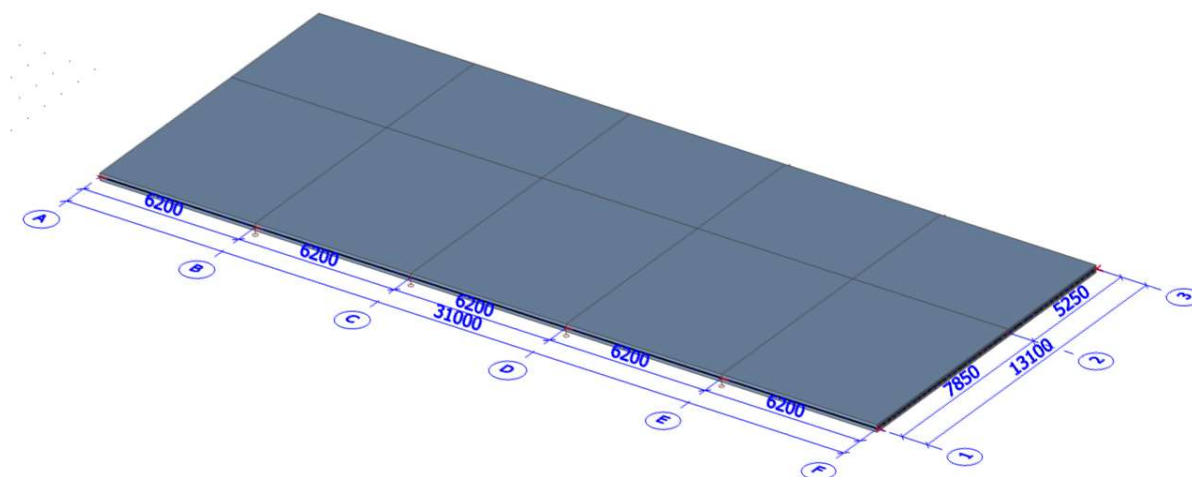
- $l_{n,\max}$  maximální světlá vzdálenost mezi sloupy

#### 3.4.2 Rozměry sloupu

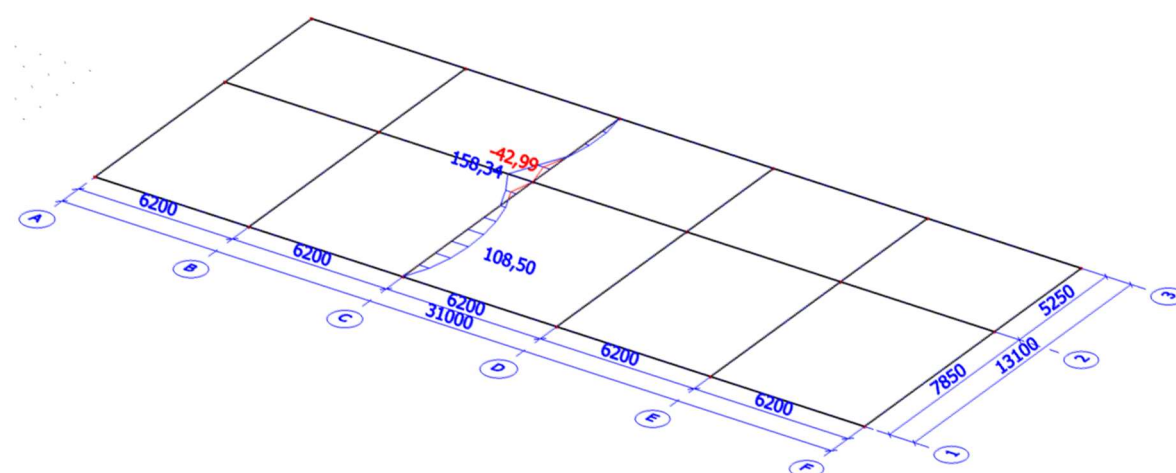
Dle maximální síly v patě sloupu byl navržen sloup o rozměrech 400 x 400 mm.



### 3.4.3 SCIA Engineer



Obrázek 24-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro lokálně podepřenou variantu

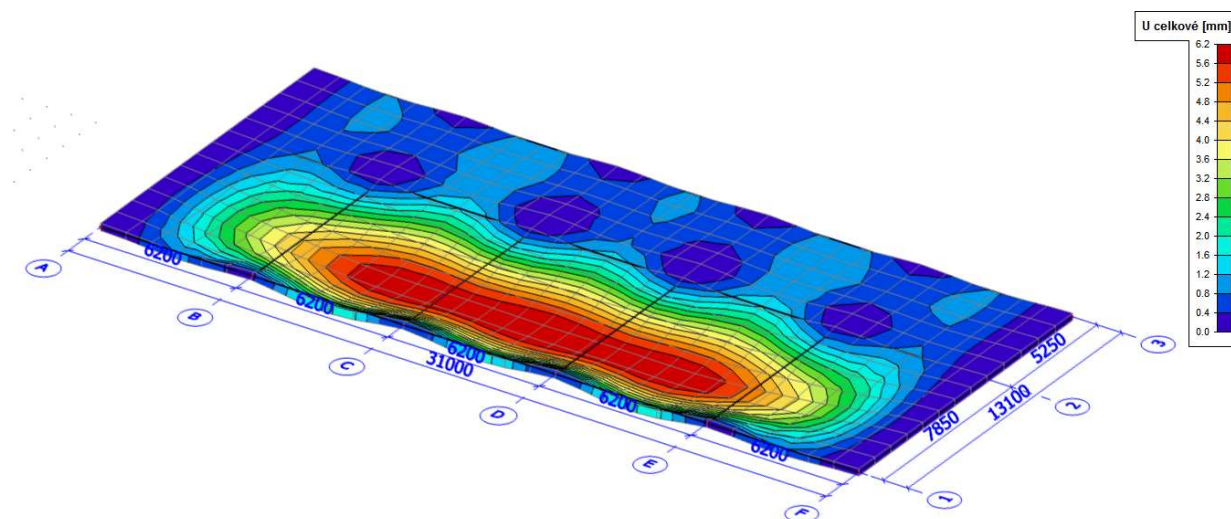


Obrázek 25-Průběh momentů





Na obrázku 24 je zobrazen typický průběh ohybových momentů na lokálně podepřené desce od návrhové kombinace zatížení. V tomto případě bylo použito průměrovacích bodů o rozměrech 400 x 400 mm, tedy shodných s rozměrem sloupu. Pro další výpočet je uvažován maximální moment v poli i největší mezipodporový moment.



Obrázek 26-Průhyb



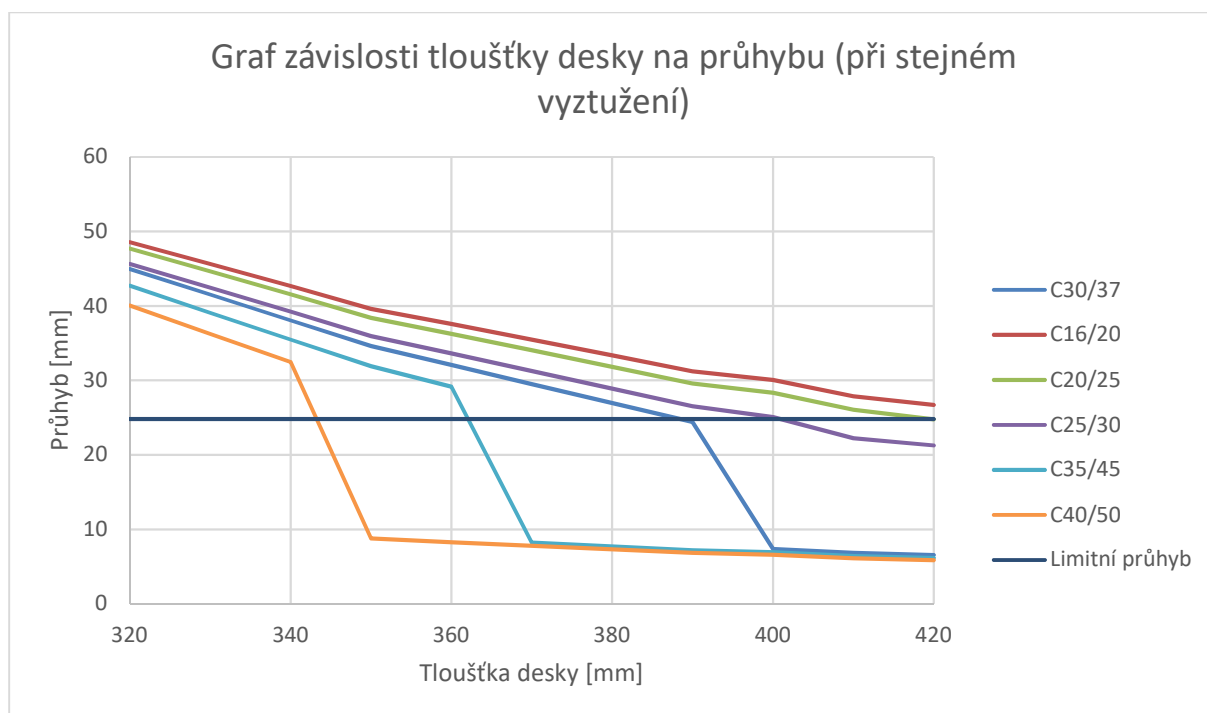
### 3.4.4 Výpočet ve vytvořeném programu pro lokálně podepřenou variantu

Po zadání všech hodnot do excelu je výstupem tabulka 6 a graf (obrázek 26).

hd [mm]	Mek [kNm]		Mqp [kNm]		yscia [mm]		C30/37		C16/20		C20/25		C25/30		C35/45		C40/50		Y <sub>lim</sub> [mm]	Med [kNm]	Mrd
	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]	Y <sub>elkovy</sub> [mm]				
420	96,8	83,03	2,4	6,56	VYHOVUJE	26,7	NEVYHOVUJE	24,77	VYHOVUJE	21,26	VYHOVUJE	6,17	VYHOVUJE	5,86	VYHOVUJE	24,8	133,63	111,06	NEVYHOVUJE		
410	95,46	81,7	2,5	6,84	NE-max $\leq$ s1	27,87	NEVYHOVUJE	26,06	NEVYHOVUJE	22,24	NE-max $\leq$ s1	6,43	VYHOVUJE	6,11	NE-max $\leq$ s1	24,8	131,83	108,11	NEVYHOVUJE		
400	94,13	80,38	2,7	7,37	NE-max trhlina	30,07	NE-max trhlina	28,33	NEVYHOVUJE	25,08	NEVYHOVUJE	6,93	NE-max $\leq$ s1	6,58	NE-max $\leq$ s1	24,8	130,03	105,16	NEVYHOVUJE		
390	92,8	79,06	2,8	24,43	NE-max trhlina	31,2	NEVYHOVUJE	29,59	NEVYHOVUJE	26,55	NEVYHOVUJE	7,2	NE-max $\leq$ s1	6,84	NE-max $\leq$ s1	24,8	128,23	102,22	NEVYHOVUJE		
380	91,47	77,73	3	26,96	NEVYHOVUJE	33,35	NEVYHOVUJE	31,83	NEVYHOVUJE	28,9	NEVYHOVUJE	7,71	NE-max $\leq$ s1	7,32	NE-max $\leq$ s1	24,8	126,43	99,27	NEVYHOVUJE		
370	90,14	76,41	3,2	29,5	NEVYHOVUJE	35,47	NEVYHOVUJE	34,05	NEVYHOVUJE	31,26	NEVYHOVUJE	8,21	NE-max trhlina	7,8	NE-max $\leq$ s1	24,8	124,63	96,32	NEVYHOVUJE		
360	88,81	75,09	3,4	32,06	NEVYHOVUJE	37,56	NEVYHOVUJE	36,24	NEVYHOVUJE	33,6	NEVYHOVUJE	29,16	NEVYHOVUJE	8,28	NE-max $\leq$ s1	24,8	122,84	93,37	NEVYHOVUJE		
350	87,48	73,77	3,6	34,6	NEVYHOVUJE	39,61	NEVYHOVUJE	38,41	NEVYHOVUJE	35,94	NEVYHOVUJE	31,89	NEVYHOVUJE	8,77	NE-max trhlina	24,8	121,04	90,42	NEVYHOVUJE		
340	86,16	72,45	3,9	38,06	NEVYHOVUJE	42,64	NEVYHOVUJE	41,54	NEVYHOVUJE	39,19	NEVYHOVUJE	35,48	NEVYHOVUJE	32,46	NEVYHOVUJE	24,8	119,25	87,47	NEVYHOVUJE		
330	84,83	71,13	4,2	41,52	NEVYHOVUJE	45,63	NEVYHOVUJE	44,63	NEVYHOVUJE	42,43	NEVYHOVUJE	39,09	NEVYHOVUJE	36,24	NEVYHOVUJE	24,8	117,46	84,52	NEVYHOVUJE		
320	83,5	69,81	4,5	44,96	NEVYHOVUJE	48,56	NEVYHOVUJE	47,68	NEVYHOVUJE	45,64	NEVYHOVUJE	42,71	NEVYHOVUJE	40,06	NEVYHOVUJE	24,8	115,66	81,57	NEVYHOVUJE		

Tabulka 6-Srovnání tloušťek desek lokálně podepřené varianty 1

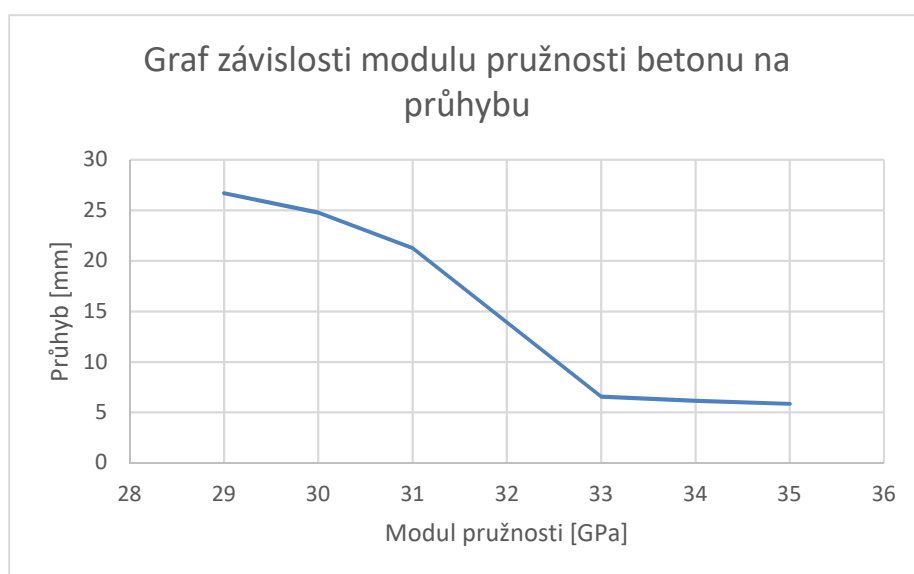




Obrázek 27-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu

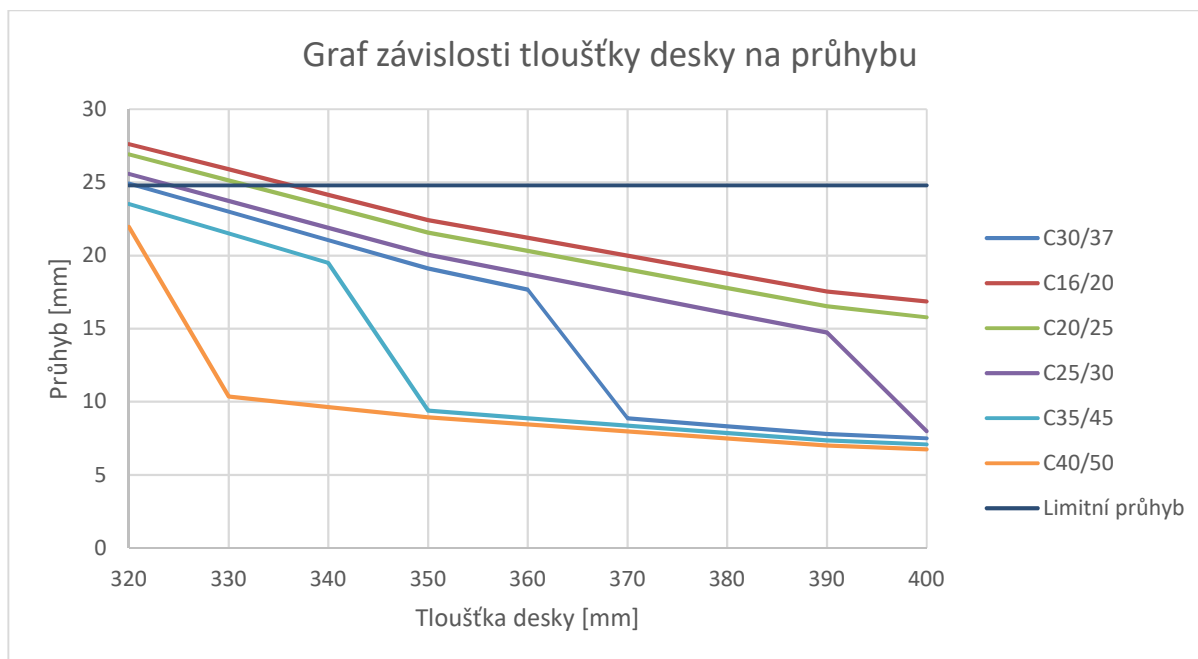
Dle tabulky 6 je zřejmé, že vyhovující tloušťka desky z hlediska MSP je 420 mm, ale tato tloušťka nevyhoví z hlediska MSÚ. Tento fakt byl zohledněn přidáním výztuže. V poli bylo umístěno 10 ks profilů 14 mm a nad podporou 10 ks profilů 16 mm. Výztuž byla přidána tak, aby se jednotlivé  $K_{\text{crack}}$  rovnaly. Pro následný dopočet průhybu byl uvažován pás, který měl větší  $K_{\text{crack}}$ . V tomto případě středový pás.

Vznikla tak tabulka 7 a graf (obrázek 27).



Obrázek 28-Graf závislosti modulu pružnosti betonu na průhybu (pro původní vyztužení pro tl. desky 420 mm)





*Obrázek 29-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu*

Po přepočítání všech parametrů byla vybrána deska o tloušťce 330 mm. Pro tuto variantu je zhotoven výkres tvaru viz. výkres č. 4.



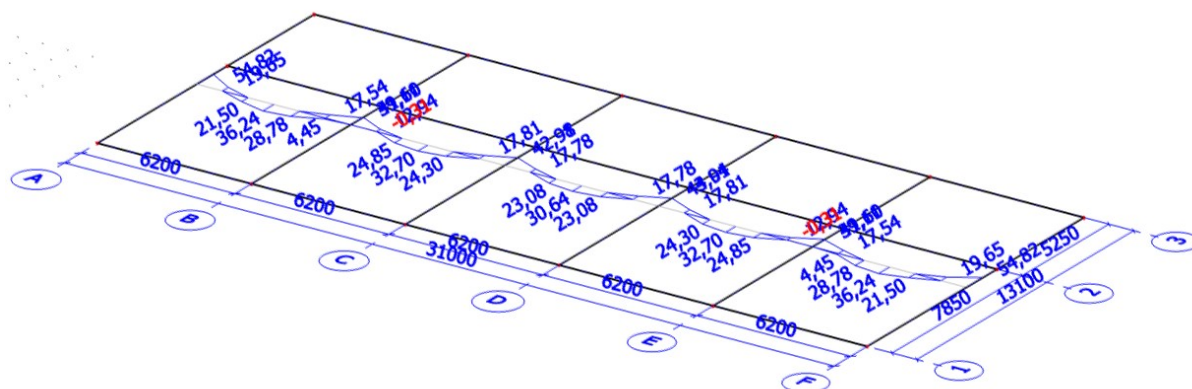
## 4 Návrh vybrané varianty

Pro podrobný návrh byla vybrána jednosměrně pnutá deska 1 tloušťky 210 mm.

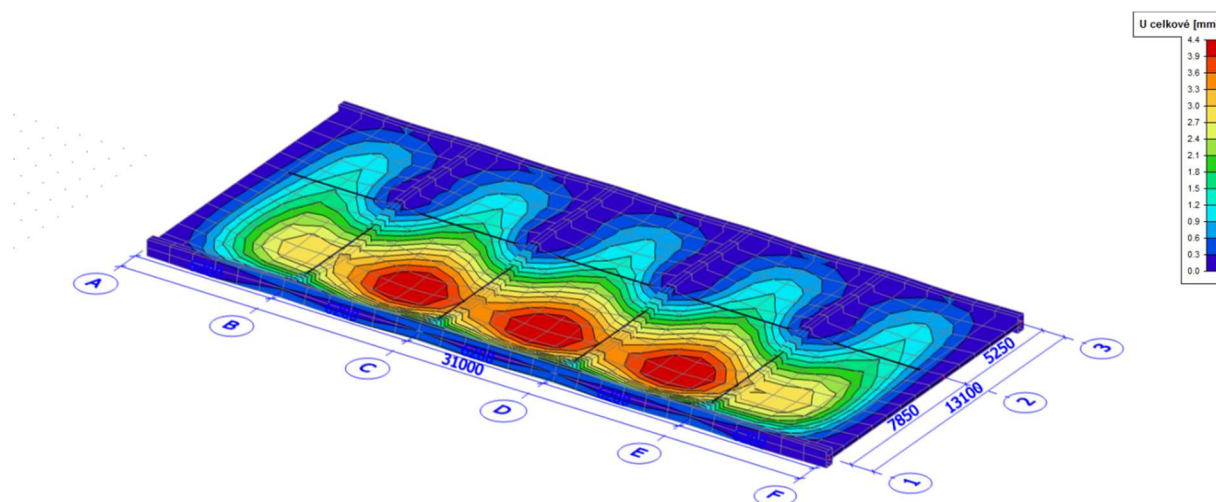
### 4.1 Úprava modelu ve SCIA Engineer

V předchozích kapitolách byly desky modelovány s liniovými kloubovými podporami. Pro tento návrh jednosměrně pnuté desky byly tyto podpory nahrazeny bodovými podporami a to v místech sloupů. V tomto modelu je respektována skutečná tuhost nosníků, které tvoří podpory deskových polí.

Výstupem z upraveného modelu jsou jiné průběhy ohybových momentů (obrázek 28) a jiné průběhy průhybů (obrázek 29).



Obrázek 30-Průběh ohybových momentů od návrhové kombinace zatížení



Obrázek 31-Průhyb na upraveném modelu konstrukce

## 4.2 Posouzení konstrukce na MSP a MSÚ

Posouzení bude provedeno pomocí vytvořeného programu. Jednotlivé veličiny jsou vyčísleny na následujících stránkách. Pro získání jednotlivých veličin jsou použity vzorce popsané v kapitolách 1 a 2.

Při zachování původního vyztužení (horní 5x8mm, dolní 6x12mm) konstrukce nevyhoví z hlediska MSP (zvětšil se pružný průhyb z 1,4 mm na 4,4 mm). Výsledný průhyb je 34,66 mm. Z tohoto důvodu byla dolní výztuž nahrazena 8x14 mm. Poté je výsledný průhyb 24,07 mm (limitní je 24,8).



Průřez				
b	1000	mm		
h	210	mm		
l	6200	mm		
c	30	mm		
d	173	mm		
d1	37	mm		
d2	34	mm		
Beton		C 30/37	Ocel	B500B
fck	30	MPa	fyk	500
Ecm	33000	MPa	Es	200
fctm	2,9	MPa		
fcm	38	MPa		
Cement	R		Stupeň vlivu prostředí	
SVP	XC1			
fcm0	10	MPa		
Horní tlačená			Dolní tažená	
Profil	8	mm	Profil	14
počet	5	ks	počet	8
As2	251,4	mm <sup>2</sup>	As1	1231,6
Kontrola konstrukčních zásad			asmax	300 VYHOVUJE
			asmin	21 VYHOVUJE
			as	125 mm
Momenty SCIA				
Mek	31,62	kNm	Moment od charakteristické kombinace	
Mefr	0	kNm	Moment od časté kombinace	
Meqp	25,38	kNm	Moment od kvazistálé kombinace	
Průhyb SCIA	4,4	mm		







Dlouhodobé působení				
I - bez trhlin				
alfa1	0,944058949			
alfa2	0,983686904			
alfa3	0,95971487			
f <sub>irh</sub>	1,296160194			
RH	80			
h <sub>0</sub>	210			
beta <sub>fcm</sub>	2,725319875			
t <sub>0</sub>	28			
t	18250			
beta <sub>t0</sub>	0,488449545			
Beta <sub>H</sub>	1439,572305			
beta <sub>actt0</sub>	0,977447273			
alfa	1			
t <sub>0</sub>	32,45826411			
f <sub>0</sub>	1,725424153			
f <sub>i</sub>	1,686511133			
		h <sub>0</sub>		210 mm
f <sub>i</sub>	1,686511133	cement	R	
E <sub>c,eff,lt</sub>	12283,58952	Mpa	t <sub>0</sub>	28 dní
alpha <sub>e,lt</sub>	16,28188565			
x <sub>i,l,lt</sub>	109,3284361	mm	Výška tlačené oblasti průřezu bez trhlin	
a <sub>i,l,lt</sub>	4,32843614	mm		
I <sub>y,l,lt</sub>	858406258,5	mm <sup>4</sup>	Moment setrvačnosti průřezu bez trhlin	
C <sub>i,lt</sub>	9,48379E-14		Ohybová poddajnost průřezu bez trhlin	
M <sub>cr,st</sub>	24,72771907	kNm	Ohybový moment na mezi vzniku trhlin	
y	10,62735245	mm	Průhyb průřezu bez trhlin	
y <sub>sh</sub>	4,236757583	mm	Průhyb od smršťování průřezu bez trhlin	
y <sub>celkový</sub>	14,86411003	mm	Celkový průhyb průřezu bez trhlin	





II - s trhlinami			
xi,II,It	62,70080287	mm	Výška tlačené oblasti průřezu s trhlinami
Iir, It	314308520,2	mm <sup>4</sup>	Moment setrvačnosti průřezu s trhlinami
CII,It	2,59011E-13		Ohybová poddajnost průřezu s trhlinami
Beta	0,5		
ksí	0,525370328		Součinitel vyjadřující tahové zpevnění
IIt	449553125,9	mm <sup>4</sup>	Moment setrvačnosti oslabeného průřezu
Ic	771750000	mm <sup>4</sup>	Moment setrvačnosti betonového průřezu
yscia	4,4	mm	průhyb odečtený ze SCIA
Průhyb od smršťování			
t0sh	7	dny	konec ošetřování v čase t0sh
RH	80	%	vlhkost okolního prostředí
RH0	100	%	
h0	210	mm	
t	18250	dny	životnost 50
kh	0,84		viz tab list2
BETAds	0,993371665		
ALFAds1	6		pro CEM R
ALFAds2	0,11		pro CEM R
BETARH	0,7564		
epsiloncd0	0,000372493		
epsiloncd	0,00031082		poměrné smršťování vysycháním
BETAas	1		
epsilonca==	0,00005		
epsilonca	5E-05		poměrné autogenní smršťování
epsiloncs	0,00036082		celkové poměrné smršťování



Výpočet průhybu od smršťování			
alfa1	0,944058949		
alfa2	0,983686904		
alfa3	0,95971487		
fírh	1,296160194		
RH	80		
h0	210		
betafcm	2,725319875		
t0	7		
t	18250		
betat0	0,634609108		
BetaH	1439,572305		
betactt0	0,977471989		
alfa	1		
t0	7,151022298		
f0	2,241725665		
fí	2,191224044		
fí,sh	2,191224044	h0	210 mm
Ec,ef,sh	10340,85967 Mpa	cement	R
alfae,ef,sh	19,34075178	t0sh	7 dní
Průřez bez trhliny			
Ai,ef,sh	238682,3349		
ac	105 mm		
al,ef,sh	18,83754449		vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje
II,ef,sh	2898010545 mm <sup>4</sup>		moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti
SI,ef,sh	193678,3215 mm <sup>3</sup>		Statický moment průřezové plochy k těžišti výztuže
(1/r)	1,57453E-06		Křivost od smršťování průřezu bez trhliny
yIsh	4,236757583 mm		Průhyb od smršťování průřezu bez trhliny
Průřez s trhlínou			
xcr,ef,sh	68,24575463 mm		Výška tlačené oblasti
III,ef,sh	373041866,5 mm <sup>4</sup>		Moment setrvačnosti
SII,ef,sh	120405,9459 mm <sup>3</sup>		Statický moment plochy k těžišti výztuže
(1/r)cs	1,40473E-06 m <sup>-1</sup>		Výsledná křivost od smršťování
k	0,07		
ysh	3,779844273 mm		Průhyb od smršťování
ycelk	24,07240888 mm		Celkový průhyb



Mezní stav omezení napětí				
sigma CC	6,307813054	Mpa	od Mek	VYHOVUJE
sigma CC	5,063007442	Mpa	od Mqp	VYHOVUJE
sigmaS1	169,5723382	Mpa	od Mek	VYHOVUJE
sigmaS2	44,12418565	MPa	od Mek	VYHOVUJE
0,6*fck	18	Mpa		
0,45*fck	13,5	MPa		
0,8*fyk	400	Mpa		
Výpočet šířky trhliny				
k3	3,010865946			
c	30	mm		
k1	0,8			
k2	0,5			
k4	0,425			
profil	14	mm		
hc,eff	47,25141512	mm		
Ac,eff	47251,41512	mm <sup>2</sup>		
róp,eff	0,026064828			
sigmaS	159,0235336	MPa		
Es	200000	MPa		
kt	0,4			
fct,eff	1,45	Mpa		
wk	0,115637078	mm		
wmax	0,4	mm	VYHOVUJE	
Posouzení na MSÚ				
Med	43,94	kNm	Návrhový moment	
x	33,4673913	mm	Výška tlačené oblasti	
d	173	mm	Účinná výška průřezu	
z	159,6130435	mm	Rameno vnitřních sil	
Mrd	85,46931493	kNm	Moment únosnosti	
			VYHOVUJE	

Konstrukce vyhovuje na oba mezní stavy.



## 5 Závěr

Celkem byly porovnávány 4 varianty podepření desek. Dle porovnání jednotlivých variant při stejném vyztužení vychází jednoznačně nejlépe varianta po obvodě podepřená. Srovnání průhybů je zobrazeno v tabulce 8.

Tloušťka [mm]	Průhyb [mm]							
	Jednosměrně pnutá 1	Jednosměrně pnutá 2	Po obvodě podepřená	Lokálně podepřená				
420							6,56	VYHOVUJE
410							6,84	NE-max $\sigma_{s1}$
400			6,13	VYHOVUJE			7,37	NE-max trhlina
390			6,42	VYHOVUJE			24,43	NE-max trhlina
380			6,71	NE-max trhlina			26,96	NEVYHOVUJE
370			22,84	NE-max trhlina			29,5	NEVYHOVUJE
360	1,72	VYHOVUJE	25,3	NEVYHOVUJE	1,47	VYHOVUJE	32,06	NEVYHOVUJE
350	1,76	VYHOVUJE	27,78	NEVYHOVUJE	1,51	VYHOVUJE	34,6	NEVYHOVUJE
340	2,05	VYHOVUJE	30,27	NEVYHOVUJE	1,81	VYHOVUJE	38,06	NEVYHOVUJE
330	2,11	VYHOVUJE	32,74	NEVYHOVUJE	1,86	VYHOVUJE	41,52	NEVYHOVUJE
320	2,16	VYHOVUJE	36,12	NEVYHOVUJE	1,91	VYHOVUJE	44,96	NEVYHOVUJE
310	2,47	VYHOVUJE	38,57	NEVYHOVUJE	1,97	VYHOVUJE		
300	2,54	VYHOVUJE	41,92	NEVYHOVUJE	2,29	VYHOVUJE		
290	2,87	VYHOVUJE	46,22	NEVYHOVUJE	2,37	VYHOVUJE		
280	2,96	VYHOVUJE	50,5	NEVYHOVUJE	2,71	VYHOVUJE		
270	3,31	VYHOVUJE	54,76	NEVYHOVUJE	2,82	VYHOVUJE		
260	3,68	VYHOVUJE	60,88	NEVYHOVUJE	3,18	VYHOVUJE		
250	3,81	VYHOVUJE	66	NEVYHOVUJE	3,31	VYHOVUJE		
240	9,49	VYHOVUJE	72,99	NEVYHOVUJE	3,7	VYHOVUJE		
230	11,63	VYHOVUJE	80,87	NEVYHOVUJE	4,12	VYHOVUJE		
220	13,15	VYHOVUJE	88,69	NEVYHOVUJE	4,55	VYHOVUJE		
210	14,73	VYHOVUJE	99,32	NEVYHOVUJE	5,02	VYHOVUJE		
200	17,16	VYHOVUJE	110,86	NEVYHOVUJE	5,77	VYHOVUJE		
190	20,54	VYHOVUJE			6,32	VYHOVUJE		
180	23,27	VYHOVUJE			7,18	VYHOVUJE		
170	27,84	NEVYHOVUJE			8,36	VYHOVUJE		
160					9,62	VYHOVUJE		
150					23,42	VYHOVUJE		
140					30,25	NEVYHOVUJE		

Tabulka 8-Srovnání průhybů desek při variantním podepření

Tabulka 8 zobrazuje průhyby desek při řešených variantách podepření. Všechny varianty podepření byly stejně vyztuženy (tlačená výztuž 8 x 5 mm; tažená výztuž 6 x 12 mm). Průhyby byly počítány pro beton třídy C30/37. Z tabulky 8 je patrné že z hlediska MSP vyhovují tyto tloušťky desek: jednosměrně pnutá 1: 180 mm, jednosměrně pnutá 2: 390 mm, po obvodě podepřená: 150 mm, lokálně podepřená: 420 mm.





Varianty jednosměrně pnutá 2 ale pro danou tloušťku nevyhověla z hlediska MSÚ, z tohoto důvodu a z důvodu zrealnění tloušťky konstrukce byla změněna tažená výztuž (6 x 16 mm). Ze stejného důvodu byla změněna výztuž u lokálně podepřené varianty konstrukce (10 x 14 mm ve středovém pásu; 10 x 16 mm ve sloupovém pásu). Vznikla tak tabulka 9.

Tloušťka [mm]	Průhyb [mm]							
	Jednosměrně pnutá 1		Jednosměrně pnutá 2		Po obvodě podepřená		Lokálně podepřená	
400			6,22	VYHOVUJE			7,5	VYHOVUJE
390			6,51	VYHOVUJE			7,79	VYHOVUJE
380			6,81	VYHOVUJE			8,32	VYHOVUJE
370			7,34	VYHOVUJE			8,86	VYHOVUJE
360	1,72	VYHOVUJE	16,76	VYHOVUJE	1,47	VYHOVUJE	17,67	VYHOVUJE
350	1,76	VYHOVUJE	18,42	VYHOVUJE	1,51	VYHOVUJE	19,11	VYHOVUJE
340	2,05	VYHOVUJE	20,09	VYHOVUJE	1,81	VYHOVUJE	21,04	VYHOVUJE
330	2,11	VYHOVUJE	21,77	VYHOVUJE	1,86	VYHOVUJE	22,98	VYHOVUJE
320	2,16	VYHOVUJE	24,03	VYHOVUJE	1,91	VYHOVUJE	24,93	NEVYHOVUJE
310	2,47	VYHOVUJE	25,72	VYHOVUJE	1,97	VYHOVUJE		
300	2,54	VYHOVUJE	28	VYHOVUJE	2,29	VYHOVUJE		
290	2,87	VYHOVUJE	30,91	VYHOVUJE	2,37	VYHOVUJE		
280	2,96	VYHOVUJE	33,85	NEVYHOVUJE	2,71	VYHOVUJE		
270	3,31	VYHOVUJE	36,79	NEVYHOVUJE	2,82	VYHOVUJE		
260	3,68	VYHOVUJE	40,98	NEVYHOVUJE	3,18	VYHOVUJE		
250	3,81	VYHOVUJE	44,56	NEVYHOVUJE	3,31	VYHOVUJE		
240	9,49	VYHOVUJE	49,4	NEVYHOVUJE	3,7	VYHOVUJE		
230	11,63	VYHOVUJE	54,89	NEVYHOVUJE	4,12	VYHOVUJE		
220	13,15	VYHOVUJE	60,43	NEVYHOVUJE	4,55	VYHOVUJE		
210	14,73	VYHOVUJE	67,9	NEVYHOVUJE	5,02	VYHOVUJE		
200	17,16	VYHOVUJE	76,11	NEVYHOVUJE	5,77	VYHOVUJE		
190	20,54	VYHOVUJE			6,32	VYHOVUJE		
180	23,27	VYHOVUJE			7,18	VYHOVUJE		
170	27,84				8,36	VYHOVUJE		
160					9,62	VYHOVUJE		
150					23,42	VYHOVUJE		
140					30,25	NEVYHOVUJE		

Tabulka 9-Srovnání průhybů

Po přidání výztuže u některých variant stále vychází jako nejvýhodnější varianta po obvodě podepřená s tloušťkou desky 150 mm.



## 6 Seznam obrázků

Obrázek 1-Průřez bez trhlin.....	12
Obrázek 2-Průřez s trhlinami.....	14
Obrázek 3-Průřez bez trhlin.....	17
Obrázek 4-Průřez s trhlinami.....	19
Obrázek 5-Schéma jednosměrně pnuté desky .....	26
Obrázek 6-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro jednosměrně pnutou variantu .....	28
Obrázek 7-Průběh momentů.....	28
Obrázek 8-Průhyb.....	29
Obrázek 9-Zadání vstupních hodnot do vytvořeného programu v MS Excel .....	30
Obrázek 10-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu .....	32
Obrázek 11-Schéma desky .....	33
Obrázek 12-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro jednosměrně pnutou variantu 2 .....	34
Obrázek 13-Průběh momentů.....	34
Obrázek 14-Průhyb.....	35
Obrázek 15-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu .....	37
Obrázek 16-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu .....	39
Obrázek 17-Graf závislosti modulu pružnosti betonu na průhybu (tl. desky 150 mm).....	39
Obrázek 18-Schéma obousměrně podepřené desky .....	40
Obrázek 19-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro obousměrně podepřenou variantu .....	41
Obrázek 20-Průběh momentů.....	41
Obrázek 21-Průhyby .....	42
Obrázek 22-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu .....	44



Obrázek 23-Schéma lokálně podepřené varianty .....	45
Obrázek 24-Model vytvořený ve SCIA Engineer pro lokálně podepřenou variantu .....	46
Obrázek 25-Průběh momentů.....	46
Obrázek 26-Průhyb.....	47
Obrázek 27-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu .....	49
Obrázek 28-Graf závislosti modulu pružnosti betonu na průhybu (pro původní vyztužení pro tl. desky 420 mm).....	49
Obrázek 29-Graf závislosti tloušťky desky na průhybu .....	51
Obrázek 30-Průběh ohybových momentů od návrhové kombinace zatížení.....	52
Obrázek 31-Průhyb na upraveném modelu konstrukce .....	53



## 7 Seznam tabulek

Tabulka 1-Tabulka pro získání součinitele $k_n$ .....	20
Tabulka 2-Srovnání jednotlivých tloušťek jednosměrně pnuté varianty 1 .....	31
Tabulka 3-Srovnání jednotlivých tloušťek jednosměrně pnuté varianty 2a .....	36
Tabulka 4-Srovnání jednotlivých tloušťek jednosměrně pnuté varianty 2b .....	38
Tabulka 5-Srovnání tloušťek po obvodě podepřené varianty.....	43
Tabulka 6-Srovnání tloušťek desek lokálně podepřené varianty 1 .....	48
Tabulka 7-Srovnání tloušťek desek lokálně podepřené varianty 2 .....	50
Tabulka 8-Srovnání průhybů desek při variantním podepření .....	60
Tabulka 9-Srovnání průhybů .....	61





## 8 Seznam použité literatury

FOGLAR, Marek, Michaela FRANTOVÁ a Pavel JIŘÍČEK. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 9788001049433.

DRBOHLAVOVÁ, Lucie a Hana HANZLOVÁ. *Betonové a zděné konstrukce v architektuře 1: komentované případy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001048887.

KOHOUTKOVÁ, Alena, Jaroslav PROCHÁZKA a Jitka VAŠKOVÁ. *Navrhování železobetonových konstrukcí: příklady a postupy*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05587-8.

ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. *VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN* [online]. Praha: Beton TKS, s. r. o. červen 2014 [26. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-6-68\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-6-68_0.pdf)

ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. *VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN – 2. ČÁST* [online]. Praha: Beton TKS, s. r. o. leden 2015 [26. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-1-72\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-1-72_0.pdf)

ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. *VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN – 3. ČÁST* [online]. Praha: Beton TKS, s. r. o. březen 2015 [26. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-3-36\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-3-36_0.pdf)

VINKLER, Marek a Jaroslav PROCHÁZKA. *POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ ŠÍŘKY TRHLINY DLE RŮZNÝCH PŘÍSTUPŮ* [online]. Praha: Beton TKS, s. r. o. únor 2014 [26. 5. 2017]. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-2-72\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-2-72_0.pdf)



## 9 Seznam příloh

Příloha 1: Výkres č. 1

Příloha 2: Výkres č. 2

Příloha 3: Výkres č. 3

Příloha 4: Výkres č. 4

Příloha 5: Výkres č. 5

Příloha 6: Výkres č. 6

Příloha 7: Technická zpráva