

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Analýza průhybů železobetonových desek

Analysis of deformation of reinforced slabs

Příloha 4

Přetvoření středního pole železobetonové desky nosné ve dvou směrech $h=220$ mm

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.

Vypracoval: Bc. Ondřej Vaněček

Praha 2018

Vstupní údaje

Geometrie

Výška průřezu h

Šířka průřezu b

Plocha průřezu A_c

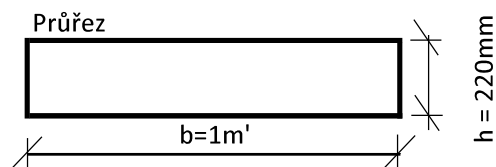
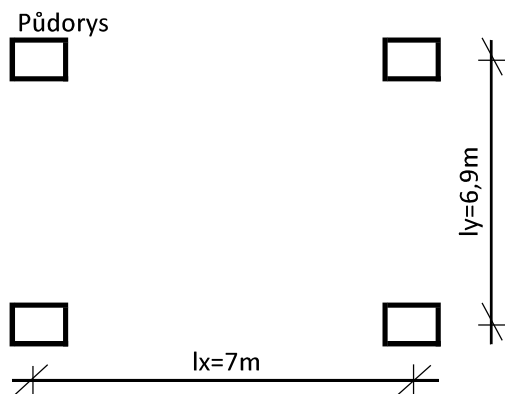
$h = 0,22$ m

$b = 1$ m

$A_c = 0,22$ m

$l_x = 7$ m

$l_y = 6,9$ m



Materiálové vlastnosti

Beton

Charakteristická pevnost betonu

Návrhová pevnost betonu

Pevnost betonu v tahu

Nominální pevnost betonu v tlaku

Střední hodnota modulu pružnosti

C 25/30

$f_{ck} = 25$ Mpa

$f_{cd} = 16,67$ Mpa

$f_{ctm} = 2,6$ Mpa

$f_{cm} = 33$ Mpa

$f_{cm0} = 10$ Mpa

$E_{cm} = 30,5$ Gpa

Typ cementu R

Ocel B500A

Charakteristická mez kluzu ocele

Návrhová mez kluzu ocele

Modul pružnosti ocele

$f_{yk} = 500$ Mpa

$f_{yd} = 435$ Mpa

$E_s = 200$ Gpa

Časové údaje

Konec zatěžování (životnost konstrukce)

Stáří betonu na konci ošetřování

Stáří betonu na začátku zatěžování

$t_{\infty} = 50$ let

$t_{\infty} = 18250$ dní

$t_s = 7$ dní

$t_0 = 28$ dní

Prostředí

Relativní vlhkost

$RH = 50$ %

MSÚ

Krycí vrstva

cnom= 0,025 m

Základní síť

Navržená výztuž ve směru X při dolním povrchu

∅ 12 á 200 mm Asprov= 565,49 mm²

Navržená výztuž ve směru Y při dolním povrchu

∅ 12 á 200 mm Asprov= 565,49 mm²

Navržená výztuž ve směru X při horním povrchu

∅ 10 á 200 mm Asprov= 392,7 mm²

Navržená výztuž ve směru Y při horním povrchu

∅ 10 á 200 mm Asprov= 392,7 mm²

Výztuž ve směru x je blíže povrchu

dx= 0,177 m

Účinná výška ve směru x

dy= 0,189 m

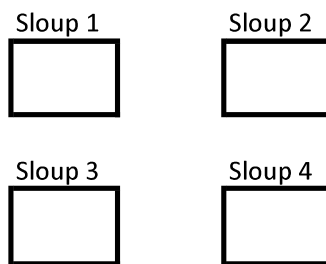
Účinná výška ve směru y

d'x= 0,043 m

d'y= 0,031 m

$$x = \frac{a_{s,prov} f_{yd}}{0,8 b f_{cd}} \quad z = d - 0,4x \quad m_{Rd} = a_{s,prov} f_{yd} z \quad \xi = \frac{x}{d}$$

	Asprov [mm ²]	d [m]	x [m]	z [m]	m _{Rd} [kN*m]	ξ
Dolní povrch						
Základní síť směr X	565,49	0,177	0,0184	0,1696	41,704	0,1042
Základní síť směr Y	565,49	0,189	0,0184	0,1816	44,655	0,0976
Horní povrch						
Základní síť směr X	392,7	0,177	0,0128	0,1719	29,346	0,0723
Základní síť směr Y	392,7	0,189	0,0128	0,1839	31,395	0,0678



Dimenzační momenty (spočtené ve SCIA)

m _x D+	m _x D-	m _y D+	m _y D-
118 0 118	0 36 0	119 5 119	0 0 0
9 0 9	0 27 0	0 0 0	41 30 41
118 0 118	0 36 0	119 5 119	0 0 0

Příložky při horním povrchu (Asprov sečtena se základní sítí)

Navržená výztuž ve směru X

∅ 14 á 125 mm Asprov= 1624,2 mm²

Navržená výztuž ve směru Y

∅ 14 á 125 mm Asprov= 1624,2 mm²

Příložky sloup (nad všemi sloupy stejné)

$$x = \frac{a_{s,prov} f_{yd}}{0,8 b f_{cd}} \quad z = d - 0,4x \quad m_{Rd} = a_{s,prov} f_{yd} z \quad \xi = \frac{x}{d}$$

	Asprov	d	[mm ²]	[m]	[m]	[m]	[kN*m]	
Nad podporou směr X	1624,2	0,177		0,053		0,1558	110,03	0,2992
Nad podporou směr Y	1624,2	0,189		0,053		0,1678	120,88	0,2802

m_xD+		m_yD+				Asprov,y horní	Asprov,y spodní	Asprov,x horní	Asprov,x spodní
105	0	105	119	2,3	119				
14	0	14	0	0	0				
105	0	105	119	2,3	119				

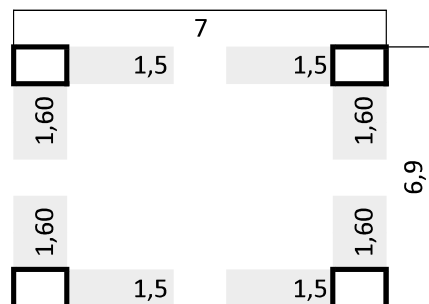
Navržená výztuž ve směru X

Sloup 1		Sloup 2		Sloup 3		Sloup 4
1624	393	1624	393	1624	393	1624
565	565	565	565	565	565	565
393	393	393	393	393	393	393
565	565	565	565	565	565	565

Navržená výztuž ve směru Y

Sloup 1		Sloup 2		Sloup 3		Sloup 4
1624	393	1624	393	1624	393	1624
565	565	565	565	565	565	565
393	393	393	393	393	393	393
565	565	565	565	565	565	565

Celkové rozměry a délky příložek od osy podpory směrem k poli bez lk



Lineární tuhost průřezu

Moment setrvačnosti průřezu

$$I_y = 0,00088733 \text{ m}^4$$

Elastická tuhost

$$E_{cm} \cdot I_y = 27063,6667 \text{ m}^4$$

Tabulka výsledných průhybů

	Lineární průhyby	Výpočet dle ČSN	Softwarem dle	Součinitel Kf dle	
		73 1201 dle 5.1	5.2	5.3	6.1.1
Dlouhodobé	5,0	20,6	19,5	Kei 0,6	Kei 0,95
Krátkodobé	0,4	0,6			
Smršťování		0,9			
Celkem	5,4	22,1	20,4	38,7	21,8
	Zvětšení ku elastickému	22,1/5,4	20,4/5,4	38,7/5,4	21,8/5,4
		4,093	3,778	7,167	4,037
	L/x	34,5			
x=	200	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví
	Limitní průhyby	27,6			
	L/250	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví
	Kapitola	5.1	5.2	5.3	6.1.1

Součinitel dotvarování

Náhraní výška (deska)	$h_0 = \frac{2xA_c}{u} =$	$h_0 =$	0,220 m
	$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} =$	$\alpha_1 =$	1,00 m
	$\alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} =$	$\alpha_2 =$	1,00 m
	$\alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5} =$	$\alpha_3 =$	1,00 m
	$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{\left(1 - \frac{RH}{100}\right)}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1\right] * \alpha_2 =$	$\varphi_{RH} =$	1,83 m
	$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} =$	$\beta(f_{cm}) =$	2,92 m
	$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} =$	$\beta(t_0) =$	0,49 m
	$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) =$	$\varphi_0 =$	2,61 m
	$\beta_H = \min(1,5 * [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 * \alpha_3; 1500 * \alpha_3)$	$\beta_H =$	580,03 m
	$\beta(t/t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right]^{0,3} =$	$\beta(t/t_0) =$	0,99 m
	$\varphi = \varphi_0 * \beta\left(\frac{t}{t_0}\right) =$	$\varphi =$	2,587 m
	$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}}$	$pro f_{cm} \leq 35MPa$	
	$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1\right] * \alpha_2$	$pro f_{cm} > 35MPa$	
	$\beta_H = 1,5[1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 \leq 1500$	$pro f_{cm} \leq 35MPa$	
	$\beta_H = 1,5[1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3$	$pro f_{cm} > 35MPa$	

Průřezové charakteristiky

Efektivní modul pružnosti

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi_{(t,t_0)}} = 8,50 \text{ Mpa}$$

Poměr modulů pružnosti dlouhodobý

$$\alpha_{e,lt} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 23,52$$

Poměr modulů pružnosti krátkodobý

$$\alpha_{e,st} = \frac{E_s}{E_{cm}} = 6,56$$

Ideální moment setrvačnosti bez trhlin, dlouhodobý LT

$$A_i = A_c + \alpha_e (A_s + A'_s) =$$

$$a_{gi} = \frac{A_c a_{gc} + \alpha_e (A_s d + A'_s d')}{A_i} =$$

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_{gc})^2 + \alpha_e [A_s (d - a_{gi})^2 + A'_s (a_{gi} - d')^2] =$$

Ai
agi
Ii

Směr X

0,27150686	0,24253887	0,27150686
0,11614549	0,10887724	0,11614549
0,00110829	0,0009882	0,00110829
0,24253887	0,24253887	0,24253887
0,10887724	0,10887724	0,10887724
0,0009882	0,0009882	0,0009882
0,27150686	0,24253887	0,27150686
0,11614549	0,10887724	0,11614549
0,00110829	0,0009882	0,00110829

Směr Y

0,27151	0,10275	0,00119	0,24254	0,11132	0,00103	0,27151	0,10275	0,00119
0,24254	0,11132	0,00103	0,24254	0,11132	0,00103	0,24254	0,11132	0,00103
0,27151	0,10275	0,00119	0,24254	0,11132	0,00103	0,27151	0,10275	0,00119

Ideální moment setrvačnosti bez trhlin, krátkodobý ST

Směr X

0,23435862	0,22628319	0,23435862
0,11198474	0,10966452	0,11198474
0,00095087	0,00091551	0,00095087
0,22628319	0,22628319	0,22628319
0,10966452	0,10966452	0,10966452
0,00091551	0,00091551	0,00091551
0,23435862	0,22628319	0,23435862
0,11198474	0,10966452	0,11198474
0,00095087	0,00091551	0,00095087

Směr Y

0,23436	0,10766	0,0010	0,2263	0,1104	0,0009	0,2344	0,1077	0,0010
0,22628	0,1104	0,0009	0,2263	0,1104	0,0009	0,2263	0,1104	0,0009
0,23436	0,10766	0,0010	0,2263	0,1104	0,0009	0,2344	0,1077	0,0010

Ideální moment setrvačnosti s plně otevřenými trhlinami, dlouhodobý

$$x = \frac{\alpha_e}{b} \cdot (A_s + A'_s) \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot A_s \cdot d + A'_s \cdot d'}{\alpha_e \cdot (A_s + A'_s)^2}} \right] =$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b \cdot x^3 + \alpha_e \cdot [A_s \cdot (d - x)^2 + A'_s \cdot (x - d')^2] =$$

xII
III

Směr X

0,0801045 0,00054835	0,04761756 0,0001909	0,0801045 0,00054835
0,04761756 0,0001909	0,04761756 0,0001909	0,04761756 0,0001909
0,0801045 0,00054835	0,04761756 0,0001909	0,0801045 0,00054835

Směr Y

0,08236 0,00066	0,04692 0,00022	0,08236 0,00066
0,04692 0,00022	0,04692 0,00022	0,04692 0,00022
0,08236 0,00066	0,04692 0,00022	0,08236 0,00066

Ideální moment setrvačnosti s plně otevřenými trhlinami, krátkodobý

Směr X

0,05118029 0,00021354	0,02935321 6,5256E-05	0,05118029 0,00021354
0,02935321 6,5256E-05	0,02935321 6,5256E-05	0,02935321 6,5256E-05
0,05118029 0,00021354	0,02935321 6,5256E-05	0,05118029 0,00021354

Směr Y

0,05244 0,00025	0,02897 7,4E-05	0,05244 0,00025
0,02897 7,4E-05	0,02897 7,4E-05	0,02897 7,4E-05
0,05244 0,00025	0,02897 7,4E-05	0,05244 0,00025

Výpočet průhybů

Momenty charakteristické kombinace zatížení (zadané z programu SCIA)

Směr X

-77,74	26,12	-77,74
-62,3	21,11	-62,3
-6,36	19,51	-6,36
-5,14	15,75	-5,14
-77,74	26,12	-77,74
-62,3	21,11	-62,3

Směr Y

-77,48	-62,58
-29,58	23,88
-77,48	-62,58

Med,ST
Med,LT

-3,48	-2,82	-77,48	-62,58
21,75	17,56	-29,58	23,88
-3,48	-2,82	-77,48	-62,58

Dlouhodobý moment na vzniku trhlin

$$M_{cr} = f_{ct,ef} * \frac{I_I}{h - x_j} =$$

Mcr
ζ

Součinitel ζ

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{E,k(char)}} \right)^2 =$$

βLt= 0,50
βst= 1,00

Směr X

27,7461551	23,1215623	27,7461551
0,90082561	0,5	0,90082561
23,1215623	23,1215623	23,1215623
0	0	0
27,7461551	23,1215623	27,7461551
0,90082561	0,5	0,90082561

Směr Y

26,4894	0,91041
24,584	0,5
26,4894	0,91041

24,584	24,584	0	26,4894	0,91041
24,584	24,584	0	24,584	0,5
24,584	0	26,4894	0,91041	

Moment na vzniku trhlin krátkodobý

Směr X

22,8879849	21,5736048	22,8879849
0,91331857	0,31781983	0,91331857
21,5736048	21,5736048	21,5736048
0	0	0
22,8879849	21,5736048	22,8879849
0,91331857	0,31781983	0,91331857

Směr Y

22,5807	0,91506
21,9784	0,44793
22,5807	0,91506

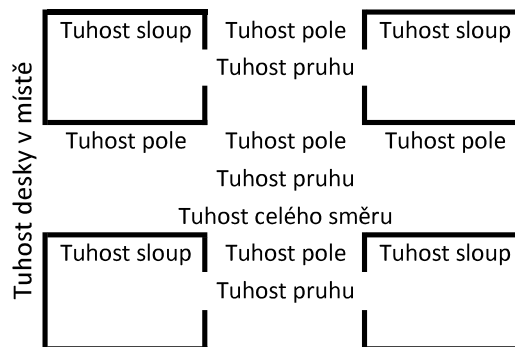
21,9784	21,9784	0	22,5807	0,91506
21,9784	21,9784	0	21,9784	0,44793
21,9784	0	22,5807	0,91506	

Tuhost konstrukce dlouhodobá

$$B_{r_{it}} = E_{ceff} * I_{ideal_{it}} = E_{ceff} * \frac{I_I * I_{II}}{I_I * \zeta + (1 - \zeta) * I_{II}}$$

$$B_{1rA} = 1,2 \frac{B_{11rA} + B_{13rA}}{b_1 + b_3} + 0,8 \frac{B_{12rA}}{b_2}$$

$$B_{2r} = 0,25(B_{1rA} + 2B_{1rc} + B_{1rb})$$



Tuhost dlouhodobá

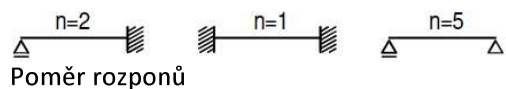
Směr X

4908,27476	2720,72175	4908,27476
	4470,764161	
8402,22707	8402,22707	8402,22707
	8402,227074	
	6436,495618	
4908,27476	2720,72175	4908,27476
	4470,764161	

Směr Y

5810,57		5810,57
	5034,794611	
3130,51	8736,96	8736,96
	8441,793181	
	6738,293896	
5810,57	3130,51	5810,57
	5034,794611	

Celková tuhost



$$B_e = \frac{1 + n_1 \lambda^4 / n_2}{B_{1r} + n_1 \lambda^4 B_{2r} / n_2} B_{1r} B_{2r}$$

n1= 1,00 n2= 1,00
 $\lambda = l_1 / l_2 =$ 1,01 m

6579,60 m

Tuhost krátkodobá

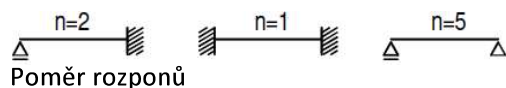
Směr X

7055,55129	3715,78952	7055,55129
	6387,59894	
27923,1491	27923,1491	27923,1491
	27923,14909	
	17155,37401	
7055,55129	3715,78952	7055,55129
	6387,59894	

Směr Y

8088,01		8088,01
	7058,642356	
4590,94	28258,6	28258,6
	27303,91198	
	17181,27717	
8088,01	4590,94	8088,01
	7058,642356	

Celková tuhost



$$B_e = \frac{1 + n_1 \lambda^4 / n_2}{B_{1r} + n_1 \lambda^4 B_{2r} / n_2} B_{1r} B_{2r}$$

n1= 1,00 n2= 1,00
 $\lambda = l_1 / l_2 =$ 1,01 m

17167,94 m

Dlouhodobé průhyby

Krátkodobé průhyby

$$f = f_{el} * \frac{B_{el}}{B_{ideal}}$$

wel,lt	Bel/Be
5	4,1133

wel,st	Bel/be
0,4	1,5764

Poměrné smrštění

	ads1	ads2
R	6	0,11
N	4	0,12
S	3	0,13

$$\begin{aligned} \alpha_{ds1} &= 6 \\ \alpha_{ds2} &= 0,11 \end{aligned}$$

Soušinitel k_h závisící na náhradní tloušťce h_0

$$\begin{aligned} h_0 &= 220 \text{ mm} \\ k_h &= 0,83 \end{aligned}$$

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

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = \varepsilon_{ca}(\infty) = 0,0000375$$

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

Poměrné autonomní smršťování

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = \varepsilon_{ca}(t) = 3,75E-05$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = \beta_{RH} = 1,36$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} = \varepsilon_{cd}(0) = 0,0007$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} = \beta_{ds}(t, t_s) = 1,0$$

Poměrné smršťování vysycháním

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = \varepsilon_{cd}(t) = 0,0006$$

Celkové poměrné smršťování

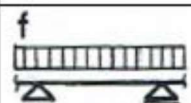
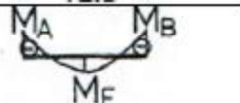
$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = \begin{aligned} \varepsilon_{cs} &= 0,00062319 \\ \varepsilon_{cs} &= 0,62319356 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Výpočet křivosti pro nepotrhaný a potrhaný průřez uprostřed pole

$$\left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_I = \varepsilon_{sh} \cdot \alpha_e \cdot \frac{A_s \cdot (d - x_I) + A'_s \cdot (x_I - d')}{I_I} \quad \begin{matrix} X \\ 1/r_{shI} = 0,00018769 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Y \\ 0,00017663 \end{matrix}$$

$$\left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_{II} = \varepsilon_{sh} \cdot \alpha_e \cdot \frac{A_s \cdot (d - x_{II}) + A'_s \cdot (x_{II} - d')}{I_{II}} \quad \begin{matrix} X \\ 1/r_{shII} = 0,00547887 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Y \\ 0,00484296 \end{matrix}$$

$$\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_I \cdot (1 - \zeta_{it}) + \left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_{II} \cdot \zeta_{it} = \begin{matrix} X \\ 1/r_{sh} = 0,00018769 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Y \\ 0,00017663 \end{matrix}$$

7			$\frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0,1 \frac{ M_a + M_b }{M_F} \right)$	$k_x = 0,097$
			$f = k l^2 \cdot \frac{1}{r_m}$	$k_y = 0,101$
				$f_{,sh,x} = 0,000895 \text{ m}$
				$f_{,sh,y} = 0,000873 \text{ m}$
				$f_{,sh} = 0,000884 \text{ m}$