



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Analýza průhybů železobetonových desek

Analysis of deformation of reinforced slabs

Příloha 3

Přetvoření železobetonové desky o třech polích

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

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

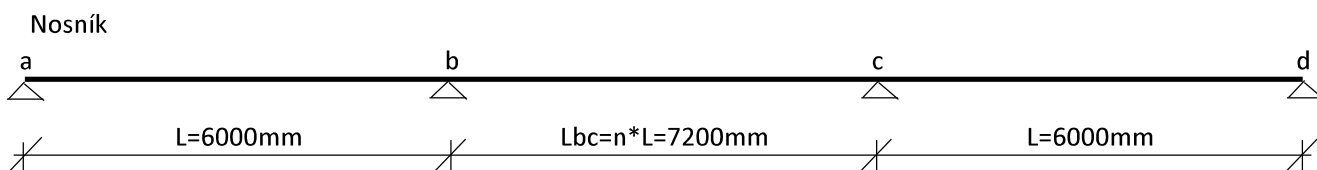
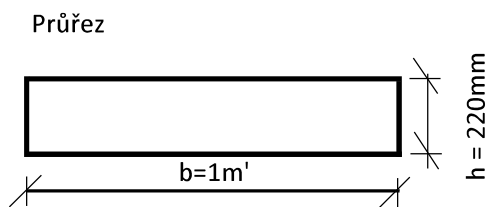
Vypracoval: Bc. Ondřej Vaněček

Praha 2018

Vstupní údaje, nosník o třech polích

Geometrie

Výška průřezu h	h=	0,22	m
Šířka průřezu b	b=	1	m
Plocha průřezu Ac	Ac=	0,22	m
Délka nosníku	L=	6	m
	n=	1,2	
	Lbc=	7,2	m



Materiálové vlastnosti

Beton		C 30/37
Charakteristická pevnost betonu	fck=	30 Mpa
Návrhová pevnost betonu	fcd=	20,0 Mpa
Pevnost betonu v tahu	fctm=	2,9 Mpa
Nominální pevnost betonu v tlaku	fcmm=	38,0 Mpa
	fcm0=	10,0 Mpa
Střední hodnota modulu pružnosti	Ecm=	33,0 Gpa

Ocel		B500A
Charakteristická mez kluzu ocele	fyk=	500 Mpa
Návrhová mez kluzu ocele	fyd=	435 Mpa
Modul pružnosti ocele	Es=	200 Gpa
Typ cementu		R

Časové údaje

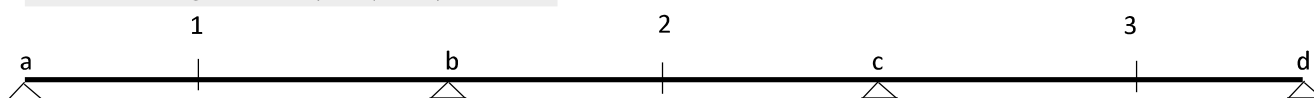
Konec zatěžování (životnost konstrukce)	t∞=	50 let
	t∞=	18250 dní
Stáří betonu na konci ošetřování	ts=	7 dní
Stáří betonu na začátku zatěžování	t0=	28 dní

Prostředí

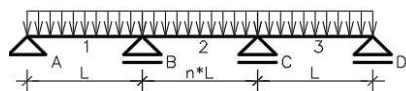
Relativní vlhkost	RH=	50 %
-------------------	-----	------

Zatížení a vnitřní síly

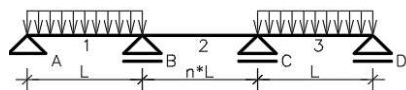
Popis	Tloušťka [m]	Objemová tíha [kN*m ³]	Plošné zatížení [kN*m ²]	γ [-]	Plošné zatížení návrhové
Stálé zatížení					
Vlastní tíha	0,22	25	5,5	1,35	7,425
Podlaha			1,5		2,025
Příčky			1,5		2,025
Celkem stálé			8,5		11,475
Hlavní Proměnné dlouhodobé					
			1	1,5	1,5
Hlavní Proměnné krátkodobé					
			1	1,5	1,5
Kategorie A: obytné plochy				ψ ₂	0,3



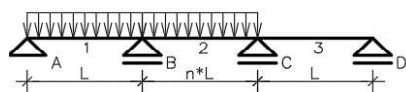
	M1	Mb	M2	Mc
Návrhová kombinace stálé zat.	29,54	-50,32	24,04	-50,32
Charakt. kombinace stálé zat.	21,88	-37,27	17,81	-37,27



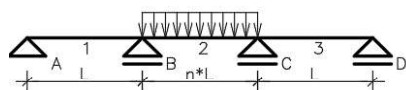
Návrhová kombinace	37,26	-63,47	30,33	-63,47
Charakteristická kombinace (dlouhodobé)	24,45	-41,66	19,90	-41,66
Charakteristická kombinace (krátkodobé)	27,03	-46,04	22,00	-46,04
Kvazi stálá kombinace (dlouhodobé)	22,65	-38,59	18,44	-38,59
Kvazi stálá kombinace (krátkodobé)	0,77	-1,32	0,63	-1,32



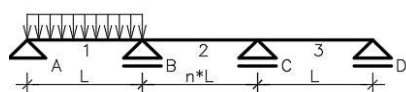
Návrhová kombinace	40,74	-55,13	-	-55,13
Charakteristická kombinace (dlouhodobé)	25,61	-38,88	-	-38,88
Charakteristická kombinace (krátkodobé)	29,35	-40,48	-	-40,48
Kvazi stálá kombinace (dlouhodobé)	23,00	-37,75	-	-37,75
Kvazi stálá kombinace (krátkodobé)	1,12	-0,48	-	-0,48



Návrhová kombinace	36,59	-65,27	32,96	-56,84
Charakteristická kombinace (dlouhodobé)	25,61	-38,88	20,78	-38,88
Charakteristická kombinace (krátkodobé)	26,58	-47,24	23,76	-41,62
Kvazi stálá kombinace (dlouhodobé)	22,58	-38,77	18,70	-37,92
Kvazi stálá kombinace (krátkodobé)	0,71	-1,50	0,89	-0,65



Návrhová kombinace	-	-58,64	35,14	-58,64
Charakteristická kombinace (dlouhodobé)	-	-40,05	21,51	-40,05
Charakteristická kombinace (krátkodobé)	-	-42,82	25,21	-42,82
Kvazi stálá kombinace (dlouhodobé)	-	-38,10	18,92	-38,10
Kvazi stálá kombinace (krátkodobé)	-	-0,83	1,11	-0,83



Návrhová kombinace	39,93	-56,95	-	-48,51
Charakteristická kombinace (dlouhodobé)	25,34	-39,48	-	-36,67
Charakteristická kombinace (krátkodobé)	28,81	-41,69	-	-36,07
Kvazi stálá kombinace (dlouhodobé)	22,92	-37,93	-	-37,09
Kvazi stálá kombinace (krátkodobé)	1,04	-0,66	-	0,18

MSÚ

Krycí vrstva

$c_{nom} = 0,025$ m

Výztuž v poli

Největší návrhový moment v poli v místě 1

Med,1= 40,74 kN*m

Největší návrhový moment v poli v místě 2

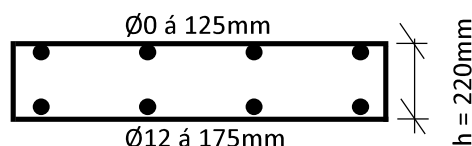
Med,2= 35,14 kN*m

Horní/vedlejší výztuž

\emptyset 0 á 125 mm $A_{sprov} = 0$ mm²

Spodní/hlavní výztuž

\emptyset 12 á 175 mm $A_{sprov} = 646,27$ mm²



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

	A_{sprov} [mm ²]	d [m]	x [m]	z [m]	m_{Rd} [kN*m]	ξ
Horní/vedlejší výztuž	0	0,025	-	-	-	-
Spodní/hlavní výztuž	646,27	0,189	0,0176	0,18197532	51,13	0,0929

Vyhoví 79,67 %

Výztuž nad podporou

Největší návrhový moment v podpoře v místě b

Med,b= 65,27 kN*m

Největší návrhový moment v podpoře v místě c

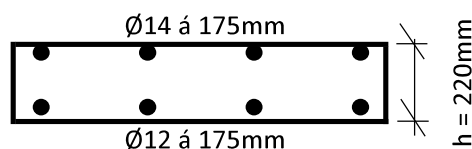
Med,c= 58,64 kN*m

Horní/hlavní výztuž

\emptyset 14 á 175 mm $A_{sprov} = 879,65$ mm²

Spodní/vedlejší výztuž (z pole napříč celou konstrukcí)

$A_{sprov} = 646,27$ mm²

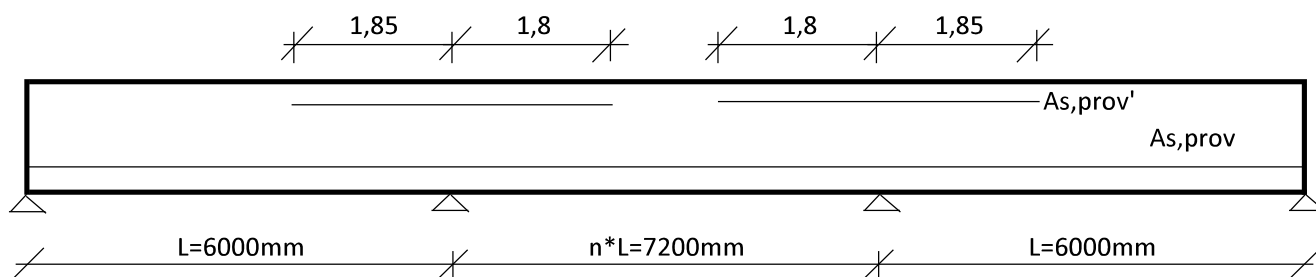


$$x = \frac{a_{s,prov} f_{yd}}{0,8 b f_{cd}} \quad z = d - 0,4 x \quad m_{Rd} = a_{s,prov} f_{yd} z \quad \xi = \frac{x}{d}$$

	A_{sprov} [mm ²]	d [m]	x [m]	z [m]	m_{Rd} [kN*m]	ξ
Horní/hlavní výztuž	879,65	0,188	0,0239	0,17843863	68,24	0,1271
Spodní/vedlejší výztuž	646,27	0,031	-	-	-	-

Vyhoví 95,65 %

Pozice horní výztuže (doporučené hodnoty k Med=0)



Tabulka výsledných průhybů

V krajním poli (bod 1)

	Přepočtená křivost	Dvojnásobné ζ	Proměnná tuhost
Dlouhodobé	16,3	11,9	10,0
Krátkodobé	0,4	0,2	0,1
Smršťování	6,8	4,5	4,4
Celkem	23,5	16,7	14,5
L/x	30		
x= 200	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví
Limitní průhyby	24		
L/250	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví
Kapitola	4.3	4.4	4.1

Ve vnitřním poli (bod 2)

Přepočtená křivost	Dvojnásobné ζ
9,6	7,0
0,2	0,1
8,5	6,3
18,3	13,4
36	
Vyhoví	Vyhoví
28,8	
Vyhoví	Vyhoví
4.3	4.4

Součinitel dotvarování

Náhraní výška (deska)	$h_0 = \frac{2xA_g}{u} =$	h0=	0,22	m
	$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} =$	α1=	0,94	
	$\alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} =$	α2=	0,98	
	$\alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5} =$	α3=	0,96	
	$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{\left(1 - \frac{RH}{100}\right)}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1\right] * \alpha_2 =$	φRH=	1,75	
	$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} =$	β(fcm)=	2,73	
	$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} =$	β(t0)=	0,49	
	$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) =$	φ0=	2,33	
	$\beta_H = \min(1,5 * [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 * \alpha_3; 1500 * \alpha_3)$	βH=	569,96	
	$\beta(t/t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}\right]^{0,3} =$	β(t/t0)=	0,99	
	$\varphi = \varphi_0 * \beta\left(\frac{t}{t_0}\right) =$	φ=	2,312	
	$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}}$	<i>pro $f_{cm} \leq 35MPa$</i>		
	$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1\right] * \alpha_2$	<i>pro $f_{cm} > 35MPa$</i>		
	$\beta_H = 1,5[1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 \leq 1500$	<i>pro $f_{cm} \leq 35MPa$</i>		
	$\beta_H = 1,5[1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3$	<i>pro $f_{cm} > 35MPa$</i>		

Poměrné smrštění

	α_{ds1}	α_{ds2}
R	6	0,11
N	4	0,12
S	3	0,13

$$\alpha_{ds1} = 6$$

$$\alpha_{ds2} = 0,11$$

Součinitel k_h závisící na náhradní tloušťce h_0

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

$$h_0 = 220 \text{ m}$$

$$k_h = 0,935$$

Poměrné autonomní smršťování

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = \varepsilon_{ca}(\infty) = 0,00005$$

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

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = \varepsilon_{ca}(t) = 5E-05$$

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

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

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

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

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = \varepsilon_{cs} = 0,00067448$$

$$\varepsilon_{cs} = 0,6744789 \cdot 10^{-3}$$

Průřezové charakteristiky

Efektivní modul pružnosti

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi_{(t,t_0)}} = 9,96 \text{ Mpa}$$

Poměr modulů pružnosti dlouhodobý

$$\alpha_{e,lt} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 20,07$$

Poměr modulů pružnosti krátkodobý

$$\alpha_{e,st} = \frac{E_s}{E_{cm}} = 6,06$$

Ideální moment setrvačnosti bez trhlin, dlouhodobý LT, v poli

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

$$A_{i,Lt} = 0,2330 \text{ m}^2$$

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

$$a_{gi,Lt} = 0,1144 \text{ m}$$

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

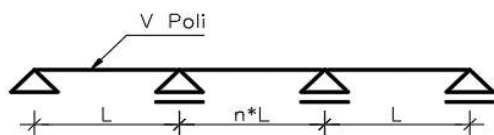
$$I_{i,Lt} = 0,000964 \text{ m}^4$$

Ideální moment setrvačnosti bez trhlin, krátkodobý ST, v poli

$$A_{i,st} = 0,2239 \text{ m}^2$$

$$a_{gi,st} = 0,1114 \text{ m}$$

$$I_{i,st} = 0,000911 \text{ m}^4$$



Ideální moment setrvačnosti s plně rozvinutými trhlinami, dlouhodobý LT, v poli

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

$$x_{II,Lt} = 0,0582 \text{ m}$$

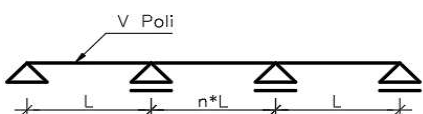
$$I_{ir} = \frac{1}{3} b \cdot x^3 + \alpha_e [A_s \cdot (d - x)^2 + A'_s \cdot (x - d')^2] =$$

$$I_{III,Lt} = 0,00029 \text{ m}^4$$

Ideální moment setrvačnosti s plně rozvinutými trhlinami, krátkodobý ST, v poli

$$x_{II,st} = 0,0348 \text{ m}$$

$$I_{III,st} = 0,0001072 \text{ m}^4$$



Ideální moment setrvačnosti bez trhlin, dlouhodobý LT, v podpoře

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

$$A_{i,Lt} = 0,2506 \text{ m}^2$$

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

$$a_{gi,Lt} = 0,1114 \text{ m}$$

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

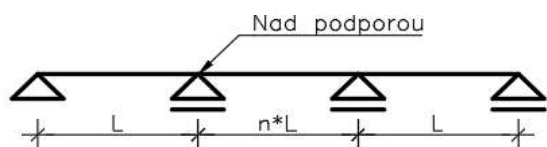
$$I_{i,Lt} = 0,001075 \text{ m}^4$$

Ideální moment setrvačnosti bez trhlin, krátkodobý ST, v podpoře

$$A_{i,st} = 0,2292 \text{ m}^2$$

$$a_{gi,st} = 0,1105 \text{ m}$$

$$I_{i,st} = 0,000944 \text{ m}^4$$



Ideální moment setrvačnosti s plně rozvinutými trhlinami , dlouhodobý LT, v podpoře

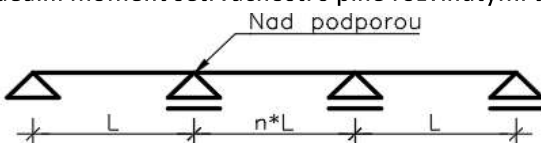
$$x = \frac{\alpha_e}{b} \cdot (A_s + A'_s) \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot A_s \cdot d + A'_s \cdot d'}{\alpha_e \cdot (A_s + A'_s)^2}} \right] =$$

xII,Lt= 0,0609 m

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

III,Lt= 0,00037 m⁴

Ideální moment setrvačnosti s plně rozvinutými trhlinami , krátkodobý ST, v podpoře



xII,st= 0,0391 m

III,st= 0,0001384 m⁴

Křivosti od smršťování v poli

$$\left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_I = \varepsilon_{sh} \cdot \alpha_e \cdot \frac{A_s \cdot (d - x_I) + A'_s \cdot (x_I - d')}{I_I}$$

1/rshI.lt= 0,000677 m⁻¹

$$\left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_{II} = \varepsilon_{sh} \cdot \alpha_e \cdot \frac{A_s \cdot (d - x_{II}) + A'_s \cdot (x_{II} - d')}{I_{II}}$$

1/rshII.lt= 0,0039772 m⁻¹

Křivosti od smršťování nad podporou

$$\left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_I = \varepsilon_{sh} \cdot \alpha_e \cdot \frac{A_s \cdot (d - x_I) + A'_s \cdot (x_I - d')}{I_I}$$

1/rshI.lt= 0,000194 m⁻¹

$$\left(\frac{1}{r_{sh}} \right)_{II} = \varepsilon_{sh} \cdot \alpha_e \cdot \frac{A_s \cdot (d - x_{II}) + A'_s \cdot (x_{II} - d')}{I_{II}}$$

1/rshII.lt= 0,0033635 m⁻¹

Výpočet průhybů

Maximální charakteristický moment v krajním poli (dlouhodobý)

Med,b,LT= 25,61 kN*m

Maximální charakteristický moment v krajním poli (krátkodobý)

Med,b,ST= 29,35 kN*m

Součinitel dzéta v poli

$$M_{cr,lt} = f_{ct,ef} \cdot \frac{I_{I,lt}}{h - x_{I,lt}} =$$

$$\beta_{it} = \frac{g \cdot \beta_{dl} + q \cdot \beta_{kr}}{g + q} =$$

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

Mcr,Lt= 26,4672 kN*m βLt= 0,50 - ζIt= 0,5000 -

$$M_{cr,st} = f_{ct,ef} \cdot \frac{I_{st}}{h - x_{I,st}} =$$

$$\beta_{st} = 1$$

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

Mcr,st= 24,3322 kN*m βst= 1,0 - ζst= 0,3125 -

Maximální charakteristický moment v podpoře (dlouhodobý)

Med,b,LT= 41,66 kN*m

Maximální charakteristický moment v podpoře (krátkodobý)

Med,b,St= 47,24 kN*m

Součinitel dzéta v podpoře

$$M_{cr,lt} = f_{ct,ef} * \frac{I_{I,lt}}{h - x_{I,lt}} = \beta_{lt} = \frac{g * \beta_{dl} + q * \beta_{kr}}{g + q} = \zeta_{lt} = 1 - \beta_{lt} \left(\frac{M_{cr}}{M_{E,k(char)}} \right)^2 =$$

Mcr,Lt= 28,7137 kN*m βLt= 0,50 ζlt= 0,7624

$$M_{cr,st} = f_{ct,ef} * \frac{I_{st}}{h - x_{I,st}} = \beta_{st} = 1 = \zeta_{st} = 1 - \beta_{st} \left(\frac{M_{cr}}{M_{E,k(char)}} \right)^2 =$$

Mcr,st= 24,9971 kN*m βst= 1,0 ζst= 0,7200

Maximální charakteristický moment v prostředním poli (dlouhodobý)

Med,b,LT= 21,51 kN*m

Maximální charakteristický moment v prostředním poli (krátkodobý)

Med,b,St= 25,21 kN*m

Součinitel dzéta v podpoře

$$M_{cr,lt} = f_{ct,ef} * \frac{I_{I,lt}}{h - x_{I,lt}} = \beta_{lt} = \frac{g * \beta_{dl} + q * \beta_{kr}}{g + q} = \zeta_{lt} = 1 - \beta_{lt} \left(\frac{M_{cr}}{M_{E,k(char)}} \right)^2 =$$

Mcr,Lt= 26,4672 kN*m βLt= 0,50 ζlt= 0,5000

$$M_{cr,st} = f_{ct,ef} * \frac{I_{st}}{h - x_{I,st}} = \beta_{st} = 1 = \zeta_{st} = 1 - \beta_{st} \left(\frac{M_{cr}}{M_{E,k(char)}} \right)^2 =$$

Mcr,st= 24,3322 kN*m βst= 1,0 ζst= 0,0685

Výpočet přepočtem křivosti

Výpočet průhybů v krajním poli

Maximální kvazistálý dlouhodobý moment

Mek,Lt= 23,00 kN*m

Momenty při krajních podporách

Ma= 0,00

Mb= -37,75

Maximální kvazistálý krátkodobý moment

Mek,st= 1,12 kN*m

Momenty při krajních podporách

Ma= 0,00

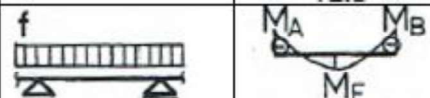
Mb= -0,48

$$\frac{1}{r_{m,g,lt}} = \frac{M_{ek,lt}}{E_{c,eff} * I_{I,lt}} * (1 - \zeta_{lt}) + \frac{M_{ek,lt}}{E_{c,eff} * I_{II,lt}} * \zeta_{lt} =$$

1/rm,lt= 0,005 m

$$\frac{1}{r_{m,g,st}} = \frac{M_{ek,st}}{E_{cm} * I_{I,st}} * (1 - \zeta_{st}) + \frac{M_{ek,st}}{E_{cm} * I_{II,st}} * \zeta_{st} =$$

1/rm,st= 0,0001 m

7		$\frac{5}{48} * \left(1 - 0,1 \frac{ M_a + M_b }{M_F} \right)$	k,Lt= 0,087 k,st= 0,100
---	---	---	----------------------------

$$f = kl^2 * \frac{1}{r_m}$$

f,Lt= 0,016 m

16,3294072 mm

f,st= 0,000 m

0,44697455 mm

Výpočet průhybů v krajním poli

Maximální kvazistálý dlouhodobý moment

Momenty při krajních podporách

Maximální kvazistálý krátkodobý moment

Momenty při krajních podporách

	Mek,Lt=	18,92	kN*m
Ma=	Mb=	-38,10	
	Mek,st=	1,11	kN*m
Ma=	Mb=	-0,83	

$$\frac{1}{r_{m_{g,lt}}} = \frac{M_{ek,lt}}{E_{c,eff} * I_{I,lt}} * (1 - \zeta_{lt}) + \frac{M_{sk,lt}}{E_{c,eff} * I_{II,lt}} * \zeta_{lt} =$$

$$1/r_{m,lt} = 0,004 \text{ m}$$

$$\frac{1}{r_{m_{g,st}}} = \frac{M_{ek,st}}{E_{cm} * I_{I,st}} * (1 - \zeta_{st}) + \frac{M_{sk,st}}{E_{cm} * I_{II,st}} * \zeta_{st} =$$

$$1/r_{m,st} = 0,0001 \text{ m}$$

7		$\frac{5}{48} * \left(1 - 0,1 \frac{ M_a + M_b }{M_F} \right)$	k,Lt= 0,062 k,st= 0,089
---	--	---	----------------------------

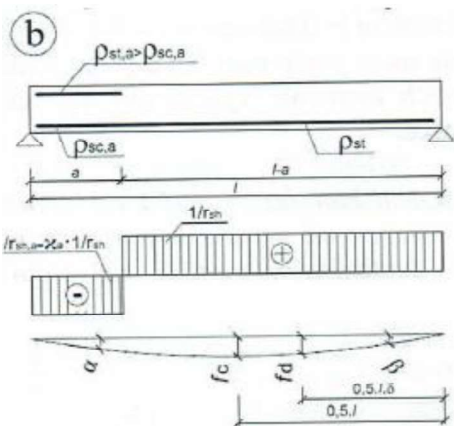
$$f = kl^2 * \frac{1}{r_m}$$

f,Lt=	0,010	m
	9,59761528	mm
f,st=	0,000	m
	0,17813621	mm

Výpočet průhybů od smršťování

V poli $\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}_I} \right) * (1 - \zeta_{it}) + \left(\frac{1}{r_{sh}_{II}} \right) * \zeta_{it} =$ $1/r_{sh,pole} = 0,002327 \text{ m}^{-1}$

V podpoře $\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}_I} \right) * (1 - \zeta_{it}) + \left(\frac{1}{r_{sh}_{II}} \right) * \zeta_{it} =$ $1/r_{sh,podp} = 0,00261 \text{ m}^{-1}$



$$\alpha = \left[\frac{a}{l} \cdot \left(\frac{a}{l} - 2 \right) (1 + \chi_a) + 1 \right] \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{r_{sh}}$$

$$\beta = \left[1 - \frac{a^2}{l^2} \cdot (1 + \chi_a) \right] \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{r_{sh}}$$

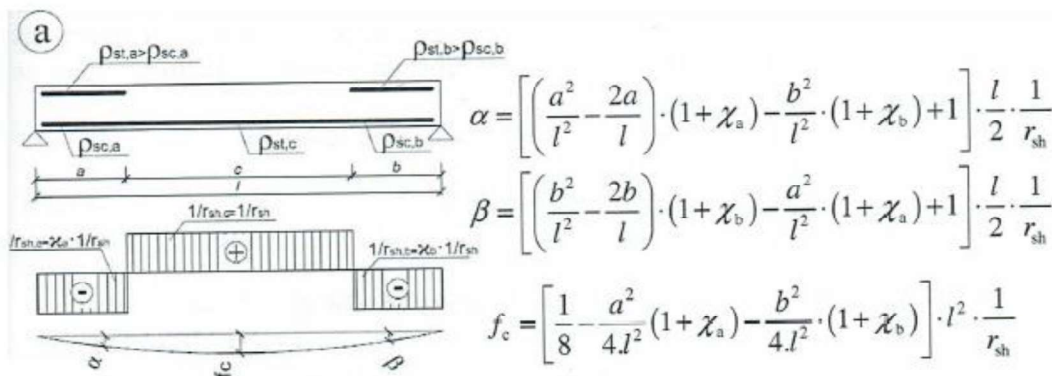
$$f_c = \left[\frac{1}{8} - \frac{a^2}{4l^2} (1 + \chi_a) \right] \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{sh}}$$

$$f_d = \left[\frac{\delta}{8} \cdot (2 - \delta) - \frac{a^2}{4l^2} (1 + \chi_a) \cdot \delta \right] \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{sh}}$$

χa=	1,1217
a/L=	0,30833333
α=	-0,000745 rad
β=	0,00557342 rad
fc=	0,00624771 m

V poli $\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}}\right)_I * (1 - \zeta_{it}) + \left(\frac{1}{r_{sh}}\right)_{II} * \zeta_{it} =$ $1/r_{sh,pole} = 0,002327 \text{ m}^{-1}$

V podpoře $\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}}\right)_I * (1 - \zeta_{it}) + \left(\frac{1}{r_{sh}}\right)_{II} * \zeta_{it} =$ $1/r_{sh,podp} = 0,00261 \text{ m}^{-1}$



$\chi_a =$	1,12171	$\chi_b =$	1,12171
$a/L =$	0,25	$b/L =$	0,25
		$\alpha =$	-0,0005099 rad
		$\beta =$	-0,0005099 rad
		$f_c =$	0,00708136 m

a	b	c	d
φ_{ab}	$\varphi_{ba} \varphi_{bc}$	$\varphi_{cb} \varphi_{cd}$	φ_{dc}
0,00557342	-0,0007448 -0,0005099	-0,0005099 -0,0007448	0,00557342

$$M_a \frac{L_{ab}}{6EI} + M_b \left(\frac{L_{ab}}{3EI} + \frac{L_{bc}}{3EI} \right) + M_c \frac{L_{bc}}{6EI} + \varphi_{ba} + \varphi_{bc} = 0$$

0,000138344	Mb	3,77301E-05	Mc	+	-0,000744803	+	-0,000509856	=	0
3,77301E-05	Mb	0,000138344	Mc	+	-0,000509856	+	-0,000744803	=	0

Mb	Mc		
0	0	-0	0
0	0	-0	0

$M_a = -7,12575763$
 $M_b = -7,12575763$

Přídavné průhyby do krajního pole konstrukce $f_{c1} = 0,000504 \text{ m}$
 Přídavné průhyby do vnitřního pole konstrukce $f_{c2} = 0,00145182 \text{ m}$

Průhyby od smršťování v krajním poli konstrukce celkem $f_{sh1} = 0,006752 \text{ m}$
 Průhyby od smršťování v vnitřním poli konstrukce celkem $f_{sh2} = 0,00853318 \text{ m}$

Použití dvojitého součinitele ζ

$$I_{II,eff,lt} = \frac{I_{I,lt} * I_{II,lt}}{I_{I,lt} * \zeta_{lt} + I_{II,lt} * (1 - \zeta_{lt})} =$$

$$I_{II,lt,eff} = 0,000443 \text{ m}$$

$$I_{II,eff,st} = \frac{I_{I,st} * I_{II,st}}{I_{I,st} * \zeta_{st} + I_{II,st} * (1 - \zeta_{st})} =$$

$$I_{II,st,eff} = 0,000272 \text{ m}$$

Krajní pole

$$\frac{1}{r_{m_{g,lt}}} = \frac{M_{ek,lt}}{E_{c,eff} * I_{I,lt}} * (1 - \zeta_{lt}) + \frac{M_{ek,lt}}{E_{c,eff} * I_{II,lt}} * \zeta_{lt} =$$

$$1/r_{m,lt} = 0,004 \text{ m}$$

$$\frac{1}{r_{m_{a,st}}} = \frac{M_{ek,st}}{E_{cm} * I_{I,st}} * (1 - \zeta_{st}) + \frac{M_{ek,st}}{E_{cm} * I_{II,st}} * \zeta_{st} =$$

$$1/r_{m,st} = 0,0001 \text{ m}$$

$$f_{lt} = 0,012 \text{ m}$$

$$f_{st} = 0,000 \text{ m}$$

Vnitřní pole

$$\frac{1}{r_{m_{g,lt}}} = \frac{M_{ek,lt}}{E_{c,eff} * I_{I,lt}} * (1 - \zeta_{lt}) + \frac{M_{ek,lt}}{E_{c,eff} * I_{II,lt}} * \zeta_{lt} =$$

$$1/r_{m,lt} = 0,003 \text{ m}$$

$$\frac{1}{r_{m_{a,st}}} = \frac{M_{ek,st}}{E_{cm} * I_{I,st}} * (1 - \zeta_{st}) + \frac{M_{ek,st}}{E_{cm} * I_{II,st}} * \zeta_{st} =$$

$$1/r_{m,st} = 0,0000 \text{ m}$$

$$f_{lt} = 0,007 \text{ m}$$

$$f_{st} = 0,000 \text{ m}$$

Smršťování

V poli

$$\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}_I}\right) * (1 - \zeta_{lt}) + \left(\frac{1}{r_{sh}_{II}}\right) * \zeta_{lt} =$$

$$1/r_{sh,pole} = 0,001502 \text{ m}^{-1}$$

V podpoře

$$\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}_I}\right) * (1 - \zeta_{lt}) + \left(\frac{1}{r_{sh}_{II}}\right) * \zeta_{lt} =$$

$$1/r_{sh,podp} = 0,00204 \text{ m}^{-1}$$

V poli

$$\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}_I}\right) * (1 - \zeta_{lt}) + \left(\frac{1}{r_{sh}_{II}}\right) * \zeta_{lt} =$$

$$1/r_{sh,pole} = 0,001502 \text{ m}^{-1}$$

V podpoře

$$\frac{1}{r_{sh}} = \left(\frac{1}{r_{sh}_I}\right) * (1 - \zeta_{lt}) + \left(\frac{1}{r_{sh}_{II}}\right) * \zeta_{lt} =$$

$$1/r_{sh,podp} = 0,00204 \text{ m}^{-1}$$

$$\chi_a = 1,3556$$

$$\chi_b = 1,3558$$

$$\alpha = -0,001031 \text{ rad}$$

$$\alpha = -0,0009615 \text{ rad}$$

$$\beta = 0,00349746 \text{ rad}$$

$$\beta = -0,0009615 \text{ rad}$$

$$f_c = 0,00373232 \text{ m}$$

$$f_c = 0,0040019 \text{ m}$$

Mb Mc _

$$\begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \quad Ma = -11,31352838$$

$$\begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \quad Mb = -11,31352838$$

Přidavné průhyby do krajního pole konstrukce

$$fc1 = 0,000800 \text{ m}$$

Přidavné průhyby do vnitřního pole konstrukce

$$fc2 = 0,00230505 \text{ m}$$

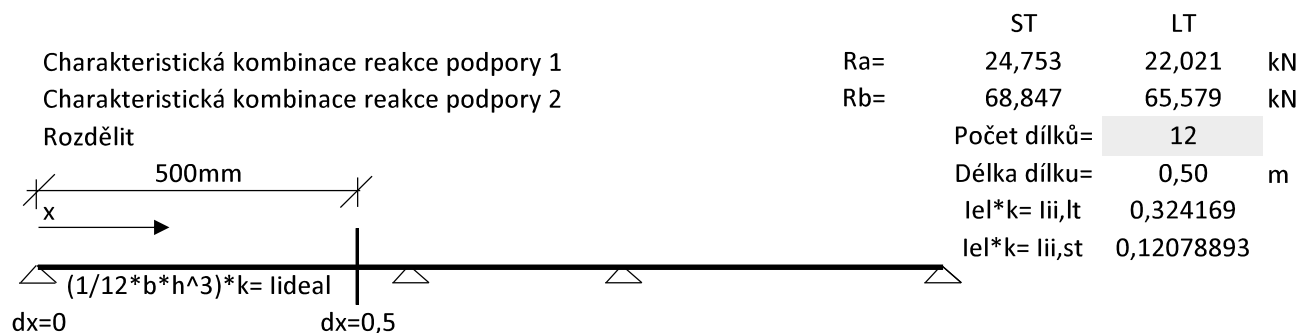
Průhyby od smršťování v krajním poli konstrukce celkem

$$fsh1 = 0,004533 \text{ m}$$

Průhyby od smršťování v vnitřním poli konstrukce celkem

$$fsh2 = 0,00630694 \text{ m}$$

Tabulka pro výpočet s proměnnou tuhostí (bod 1)



dx [m]	Mek char LT [kNm]	ζ^*,Lt	lideal,Lt [m ⁴]	Mek char ST [kNm]	ζ^*,st	lideal,st [m ⁴]	$I_{el} \cdot k = I_{ii,Lt}$	$I_{el} \cdot k = I_{ii,st}$	1/rsh [m ⁻¹] *10 ³
0	0,00	0	0,001	0,00	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
0,5	9,82	0	0,001	11,06	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
1	17,27	0	0,001	19,50	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
1,5	22,34	0	0,001	25,32	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
2	25,04	0,5	0,0004	28,51	0,0558	0,0006	0,7927	0,8755	1,5022
2,5	25,36	0,5	0,0004	29,07	0,0797	0,0006	0,4993	0,6833	2,3272
3	23,31	0	0,001	27,01	0	0,0009	0,7927	0,8349	1,5022
3,5	18,88	0	0,001	22,32	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
4	12,08	0	0,001	15,01	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
4,5	2,91	0	0,001	5,08	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
5	-8,65	0	0,0011	-7,49	0	0,0009	1,1489	1,0456	0,194
5,5	-22,57	0	0,0011	-22,67	0	0,0009	1,2117	1,064	0,194
6	-38,88	0,7683	0,0004	-40,48	0,6083	0,0002	0,853	0,6492	1,4115
6,5	-24,76	0,5	0,0006	-26,49	0,0346	0,0008	0,5587	0,56	2,2039
7	-13,03	0	0,0011	-15,13	0	0,0009	0,9174	0,9749	0,9864
7,5	-3,66	0	0,0011	-6,39	0	0,0009	1,2117	1,064	0,194
8	3,32	0	0,001	-0,28	0	0,0009	1,1489	1,0456	0,6772
8,5	7,94	0	0,001	3,21	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
9	10,17	0	0,001	4,07	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
9,5	10,04	0	0,001	2,31	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772
10	7,52	0	0,001	-2,08	0	0,0009	1,0862	1,0271	0,6772