

Ved.projektant	ING.ŠAFAŘIK					
Hlav.inž.projektu	ING.ŠAFAŘIK					
Zodp.projektant	ING.ŠAFAŘIK					
Kreslil	ING.ŠAFAŘIK					
Objednatel	STATUTÁRNÍ MĚSTO KARLOVY VARY			Formát		
Investor	STATUTÁRNÍ MĚSTO KARLOVY VARY					
MÚ	KARLOVY VARY	SÚ	KARLOVY VARY	Datum	02/2013	
Stavba	KARLOVY VARY, LIBUŠINA UL.					
Akce	OPRAVA HAVARIJNÍHO STAVU OPĚRNÉ ZDI NA POZEMKU PARC.Č.125/1				Slupeň	DPS
					Č. zakázky	02/ST/2013
Objekt					Měřítko	Č.přílohy
Dílčí část						
Obsah	STATICKÝ VÝPOČET					F.1.2

## Posouzení pažící konstrukce

### Vstupní data

#### Projekt

Akce : Oprava havarijního stavu opěrné zdi-Libušina ul. K. Vary  
Autor : Ing. Martin Šafařík  
Odběratel : Statutární město Karlovy Vary  
Datum : 26.2.2013

#### Geometrie konstrukce

Celková délka konstrukce = 6.00 m

#### Úsek konstrukce čís. 1 - délka 3.00 m

Typ konstrukce: Železobetonová obdélníková stěna  
Norma : EN 1992 1-1 (EC2)  
Materiál : C 20/25  
Tloušťka průřezu  $h = 0.15$  m  
Koef.redukce tlaku před stěnou = 1.00

Plocha průřezu  $A = 1.500E-01$  m<sup>2</sup>/m  
Moment setrvačnosti  $I = 2.813E-04$  m<sup>4</sup>/m  
Modul pružnosti  $E = 29000.00$  MPa  
Modul pružnosti ve smyku  $G = 11340.00$  MPa


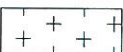
#### Úsek konstrukce čís. 2 - délka 3.00 m

Typ konstrukce: Ocelový I-průřez  
Průřez : HE 100 B  
Osová vzdálenost průřezů  $a = 1.50$  m  
Koef.redukce tlaku před stěnou = 1.00



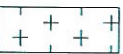
Plocha průřezu  $A = 1.733E-03$  m<sup>2</sup>/m  
Moment setrvačnosti  $I = 2.993E-06$  m<sup>4</sup>/m  
Modul pružnosti  $E = 210000.00$  MPa  
Modul pružnosti ve smyku  $G = 81000.00$  MPa

Modul reakce podloží vypočten z přetvárných charakteristik zemin.



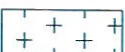
#### Základní parametry zemin

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{su}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\delta_a$ [°]	$\delta_p$ [°]
1	Třída F6, konzistence tuhá		19.00	12.00	21.00	12.00	8.00	8.00
2	Granit zcela zvětralý - R5		28.00	6.00	22.00	12.00	10.00	10.00
3	Granit silně zvětralý - R4		34.00	100.00	24.00	14.00	11.00	11.00

#### Parametry zemin pro výpočet tlaku v klidu

Číslo	Název	Vzorek	Typ výpočtu	$\varphi$ [°]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$K_r$ [-]
1	Třída F6, konzistence tuhá		soudržná	-	0.40	-	-
2	Granit zcela zvětralý - R5		soudržná	-	0.20	-	-
3	Granit silně zvětralý - R4		soudržná	-	0.25	-	-

#### Parametry zemin pro výpočet modulu reakce podloží (iterovat)

Číslo	Název	Vzorek	$\nu$ [-]	$E_{oed}$ [MPa]	$E_{def}$ [MPa]	$m$ [-]
1	Třída F6, konzistence tuhá		0.40	-	3.00	0.40
2	Granit zcela zvětralý - R5		0.20	-	75.00	0.20
3	Granit silně zvětralý - R4		0.25	-	125.00	0.25

### Parametry zemín

#### Třída F6, konzistence tuhá

Objemová tíha :	$\gamma$ = 21.00 kN/m <sup>3</sup>
Napjatost :	efektivní
Úhel vnitřního tření :	$\varphi_{ef}$ = 19.00 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef}$ = 12.00 kPa
Třecí úhel aktivní :	$\delta_{act}$ = 8.00 °
Třecí úhel pasivní :	$\delta_{pas}$ = 8.00 °
Zemina :	soudržná
Poissonovo číslo :	$\nu$ = 0.40
Modul přetvárnosti :	$E_{def}$ = 3.00 MPa
Poissonovo číslo :	$\nu$ = 0.40
Koef. strukturní pevnosti :	$m$ = 0.10
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat}$ = 22.00 kN/m <sup>3</sup>

#### Granit zcela zvětralý - R5



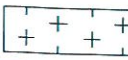
Objemová tíha :	$\gamma$ = 22.00 kN/m <sup>3</sup>
Napjatost :	efektivní
Úhel vnitřního tření :	$\varphi_{ef}$ = 28.00 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef}$ = 6.00 kPa
Třecí úhel aktivní :	$\delta_{act}$ = 10.00 °
Třecí úhel pasivní :	$\delta_{pas}$ = 10.00 °
Zemina :	soudržná
Poissonovo číslo :	$\nu$ = 0.20
Modul přetvárnosti :	$E_{def}$ = 75.00 MPa
Poissonovo číslo :	$\nu$ = 0.20
Koef. strukturní pevnosti :	$m$ = 0.20
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat}$ = 22.00 kN/m <sup>3</sup>

#### Granit silně zvětralý - R4

Objemová tíha :	$\gamma$ = 24.00 kN/m <sup>3</sup>
Napjatost :	efektivní
Úhel vnitřního tření :	$\varphi_{ef}$ = 34.00 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef}$ = 100.00 kPa
Třecí úhel aktivní :	$\delta_{act}$ = 11.00 °
Třecí úhel pasivní :	$\delta_{pas}$ = 11.00 °
Zemina :	soudržná
Poissonovo číslo :	$\nu$ = 0.25
Modul přetvárnosti :	$E_{def}$ = 125.00 MPa
Poissonovo číslo :	$\nu$ = 0.25
Koef. strukturní pevnosti :	$m$ = 0.25
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat}$ = 24.00 kN/m <sup>3</sup>

### Geologický profil a přiřazení zemín



Číslo	Vrstva [m]	Přirazená zemina	Vzorek
1	3.00	Třída F6, konzistence tuhá	
2	1.00	Granit zcela zvětralý - R5	
3	-	Granit silně zvětralý - R4	

### Hloubení

Zemina před stěnou je odebrána do hloubky 3.00 m.

Sklon zeminy před zdí  $\beta = -25.00^\circ$

### Tvar terénu

Terén za konstrukcí je rovný.

### Vliv vody

Hladina podzemní vody je pod úrovní konstrukce.

### Zadaná plošná přitížení

Číslo	Přítížení nové změna	Typ	Název	Vel.1 [kN/m <sup>2</sup> ]	Vel.2 [kN/m <sup>2</sup> ]	Poř.x x [m]	Délka l [m]	Hloubka z [m]
1	ANO	Celopl.	Zatížení dopravou	10.00				na terénu

### Zadané kotvy

Číslo	Nová kotva	Hloubka z [m]	Délka l [m]	Kořen l <sub>k</sub> [m]	Sklon $\alpha$ [°]	Vzd. mezi b [m]
1	ANO	0.60	5.00	4.00	35.00	2.50

Číslo	Průměr d [mm]	Plocha A [mm <sup>2</sup> ]	Modul E [MPa]	Dopnutí	Síla F [kN]
1	32.0		50000.00		120.00

### Nastavení výpočtu

Výpočet aktivního tlaku - Coulomb (ČSN 730037)

Výpočet pasivního tlaku - Caquot-Kerisel (ČSN 730037)

Počet dělení stěny na konečné prvky = 20

Výpočet proveden podle ČSN 730037 (s redukcí vstupních parametrů zemin).

Minimální dimenzační tlak je uvažován hodnotou  $\sigma_{z,min} = 0.10\sigma_z$ .

## Výsledky výpočtu

### Průběhy tlaků na konstrukci (před a za stěnou)

Hloubka [m]	T <sub>a,p</sub> [kPa]	T <sub>k,p</sub> [kPa]	T <sub>p,p</sub> [kPa]	T <sub>a,z</sub> [kPa]	T <sub>k,z</sub> [kPa]	T <sub>p,z</sub> [kPa]
0.00	-0.00	-0.00	-0.00	4.98	8.00	47.18
1.10	0.00	0.00	0.00	4.98	26.42	97.61
3.00	-0.00	-0.00	-0.00	24.91	58.40	185.20
3.00	-0.00	-0.00	-9.67	21.69	21.69	251.94
3.60	-0.00	-2.99	-26.62	26.48	26.48	294.62
4.00	-2.49	-4.99	-37.99	29.69	29.69	323.24
4.00	-0.00	-6.83	-234.27	8.50	36.54	713.88
6.00	-0.00	-21.72	-323.56	13.30	55.00	924.52

### Průběhy modulu reakce podloží a vnitřních sil po konstrukci

Hloubka [m]	kh,p [MN/m <sup>3</sup> ]	kh,z [MN/m <sup>3</sup> ]	Deformace [mm]	Tlak [kPa]	Pos.síla [kN/m]	Moment [kNm/m]
0.00	0.00	0.00	2.61	8.00	0.00	-0.00
0.30	0.00	4.81	1.64	20.83	-4.67	0.66
0.60	0.00	10.66	0.67	25.01	-11.96	3.15
0.60	0.00	10.66	0.67	25.01	27.36	3.15
0.90	0.00	10.78	-0.32	19.60	20.63	-4.02
1.20	0.00	1.61	-1.27	25.45	14.51	-9.31
1.50	0.00	0.00	-2.13	9.21	9.45	-12.68
1.80	0.00	0.00	-2.84	12.35	6.22	-15.05
2.10	0.00	0.00	-3.39	15.49	2.04	-16.31
2.40	0.00	0.00	-3.76	18.63	-3.08	-16.18
2.70	0.00	0.00	-3.95	21.77	-9.14	-14.37
2.99	0.00	0.00	-3.99	24.80	-15.89	-10.76
3.01	0.00	0.00	-3.99	11.82	-16.32	-10.44
3.30	0.00	0.00	-3.32	5.93	-18.90	-5.29
3.60	0.00	0.00	-1.90	-0.17	-19.76	0.55
3.90	0.00	0.00	-0.56	-6.26	-18.80	6.38
4.20	1198.68	0.00	-0.00	-1.72	19.24	3.80
4.50	0.00	1198.79	0.01	52.10	5.35	-0.36
4.80	1198.90	1198.90	-0.02	-6.99	-1.79	-0.44
5.10	1199.00	1199.00	-0.01	-2.26	-0.03	-0.21
5.40	1199.11	1199.11	-0.01	0.74	0.09	-0.25
5.70	1199.21	1199.21	-0.01	3.18	-0.52	-0.20
6.00	1199.32	1199.32	-0.02	-15.22	0.00	-0.00

Celkový provedený počet iterací modulu reakce podloží - 11.

Maximální posouvající síla = 27.36 kN/m  
Maximální moment = 16.31 kNm/m  
Maximální deformace = 4.0 mm

#### Síly v kotvách

Číslo	Hloubka [m]	Deformace [mm]	Síla v kotvě [kN]
1	0.60	0.7	120.00

#### Název : Výpočet

Fáze : 1

##### Geometrie konstrukce

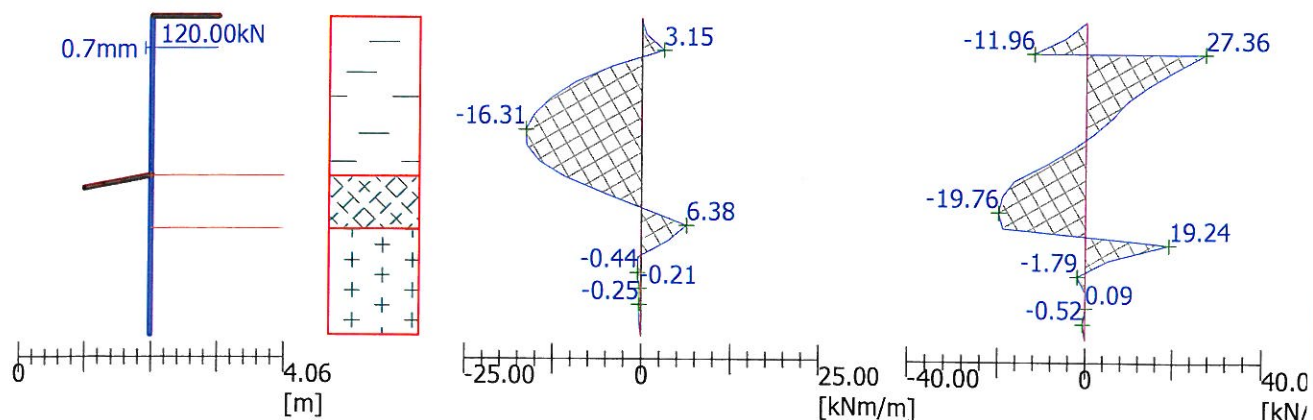
Délka konstrukce = 6.00m

##### Ohybový moment

Max. M = 16.31kNm/m

##### Posouvající síla

Max. Q = 27.36kN/m



#### Vnitřní stabilita kotevního systému - mezivýsledky



$$E_A = 61.68 \text{ kN/m} \quad \delta = 7.95^\circ$$

Řada kotev	$E_{A1}$ [kN/m]	$\delta_1$ [°]	G [kN/m]	C [kN/m]	$\theta$ [°]	Započítané řady kotev	Q [kN/m]	F [kN/m]	$FK_{MAX}$ [kN]
1	63.60	19.74	541.41	575.13	-4.44		1083.63	823.88	2059.70

#### Posouzení vnitřní stability kotevního systému

Číslo	Síla v kotvě [kN]	Max.příp.síla [kN]	Stupeň bezpečnosti
1	120.00	2059.70	17.164

Rozhodující řada kotev : 1

Požadovaný stupeň bezp.  $SB = 1.50 < 17.16 = SB_{minim.}$

**Celkové posouzení vnitřní stability VYHOVUJE**

Prvek Trámec kotvený 850/700 mm

## Posouzení obdélníku

Rozpětí stropní kce L = 1,5 m

### Vstupní údaje

Stupeň vlivu prostředí

XC4

Návrhová životnost

80

let

Požární odolnost

REI

Materiály:

### Zadání vnitřních sil

$m_{Ed} = 42$  kNm

$m_{Ed,g} = 31,00$   $m_{Ed,ch} = 31,00$  kNm

$V_{Ed} = 66,4$  kN

### Zadání geometrie

h = 850 mm

b = 700 mm

<b>Třída betonu :</b>	<b>C30/37</b>	<b>Výztuž :</b>	<b>10 505 R</b>
$f_{ck} = 30$ Mpa		$f_{yk} = 500$ Mpa	
$\alpha_{cc} = 1$	v ČR se uvažuje hodnotou 1	$\gamma_s = 1,15$	součinitel spolehlivosti materiálu
$\gamma_c = 1,50$	součinitel spolehlivosti materiálu	$E_s = 200,00$ Gpa	
$f_{ctm} = 2,9$ Mpa		$f_{yk} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78$ Mpa	
$E_{cm} = 32,8$ Gpa		$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yk}}{E_s} = 2,17$ [‰]	
$\epsilon_{cu3} = 3,5$ [‰]			

Rovnoměrné rozdělení napětí betonu v tlaku po výšce  $\lambda x$

$$\eta = 1 \quad \xi_{bal,1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{cu3}} = 0,617$$

- bilineární pracovní diagram s vodorovnou horní větví bez omezeného přetvoření

### Zadání plochy výztuže

Vrstva

Profil ve vrstvě

Počet prutů

Krytí profilu

Plocha na 1 mb

Celková plocha

Teoretická osa plochy výztuže

Účinná výška průřezu

Vzdálenost mezi pruty

Min světlost mezi pruty

	37 mm	37 mm	37 mm	37 mm
i =	1	2	3	4
$\phi_i$ =	18	0	0	0
ks =	4	0	0	0
ci =	50	0	0	0
ai =	1018	0	0	0
$a_{s1} =$	1018			
$d_1 =$	59			
$d =$	791			

s1 = 176 mm

$s \leq s_{s1,max}$

Ok

min. vzdálenosti prutů

$$s_{min} = \max(k_1 \cdot \phi_d + k_2 \cdot 20mm)$$

$$= s_{min}$$

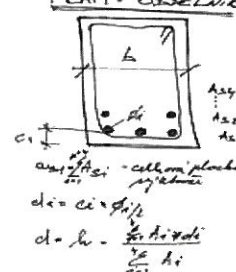
$$37 mm$$

$$k_1 = 1,2$$

$$k_2 = 5$$

$$d_g = 32 mm$$

TRAM - obdélník



### Posouzení

$$x = \frac{a_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 39,5 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,0500 < \xi_{bal,1} = 0,617$$

Vyhovuje

$$m_{Rd} = a_{s1} \cdot f_{yk} \cdot (d - 0,5 \lambda x) = 343,07 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed} = 42 < m_{Rd} = 343,07 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed} < m_{Rd} \text{ Vyhovuje}$$

### Kontrola vyztužení

$$a_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d}{f_{yk}}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\}$$

$$a_{s1} = 1018 > a_{s,min} = 834,0 \text{ mm}^2$$

$$a_{s1} > a_{s,min} \text{ Vyhovuje}$$

$$a_{s1} \leq 0,04 A_c = 34000 \text{ mm}^2$$

$$> a_{s1} = 1018 \text{ mm}^2$$

Vyhovuje

### Smyk

$$\min(V_{Rd,max}) = v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \left( \frac{\cot \Theta}{1 + \cot^2 \Theta} \right) = 1975,944 \text{ kN}$$

$$\cot \Theta = 2,5 - \text{volíme}$$

$$|V_{ed}| \leq \min(V_{Rd,max}) \rightarrow \text{Lze navrhnout smykovou výztuž za předpokladu } \cot \Theta = 2,5$$

$$v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,528$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 775 \text{ mm}$$

### Třminky

n = 2 počet stříhů na třmínku

$\phi_i$  = 8 mm - profil třmínku

a = 150 mm - osová vzdálenost třmínků

$A_{sw} = 101 \text{ mm}^2$  - plocha třmínků

$$a \leq s_{min}$$

Osová vzdálenost třmínků je OK

$$V_{rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yk}}{s} \cdot z \cdot \cot \Theta = 564,72 \text{ kN}$$

$$|V_{ed}| = 66,4 \text{ kN} \leq V_{rd,s} = 564,72 \text{ kN}$$

Navržený třmínek vyhovuje

### Návrh konstrukční smykové výztuže

- vzdálenost třmínků

$$s \leq 0,75 \cdot d = 593,3 \text{ mm}$$

$$s \leq 400 \text{ mm}$$

$$s_{v,min} = 400$$

- omezení stupně vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} \geq \rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,00088$$

$$s_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = 163,88 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \min(s_{v,min}, s_w) = 163,88 \text{ mm}$$

## Kontrola mezního stavu použitelnosti

### 1) Omezené napětí

- napětí v betonu při quasi-stálé kombinaci zatížení musí být  $|\sigma_c| \leq k_2 \cdot f_{ck}, k_2 = 0.45$
- tahové napětí ve výztuži při charakteristickém zatížení nesmí překročit  $|\sigma_s| \leq k_3 \cdot f_{yk}, k_3 = 0.80$
- pokud je napětí ve výztuži vyvozeno vynuceným přetvořením, je možné použít podmínku  $|\sigma_s| \leq k_4 \cdot f_{yk}, k_4 = 1.0$

Průřez bez trhlin :

$$\alpha'_e = E_s / E_{cm} = 6,091$$

$$A_i = b \cdot h + (\alpha'_e - 1) a_s = 0,60018 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + (\alpha'_e - 1) \cdot a_s \cdot d}{A_i} = 0,428 \text{ m}$$

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h (a_{gi} - 0,5h)^2 + (\alpha'_e - 1) a_s \cdot (d - a_{gi})^2 = 0,036512 \text{ m}^4$$

$$m_{cr} = \frac{I_i \cdot f_{cm}}{(h - a_{gi})} = 250,702 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,q} \leq m_{cr} \text{ - Pokud je podmínka splněna trhliny nevzniknou}$$

$$m_{Edq} = 31 \text{ kN/m} \leq m_{cr} = 250,702 \text{ kN/m}$$

**Trhliny nevzniknou**

Průřez s trhlínami:

$$x_r = \frac{\alpha'_e \cdot a_s}{b} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha'_e \cdot a_s}} \right) = 0,1098 \text{ m}$$

$$I_r = \frac{b \cdot x_r^3}{3} + \alpha'_e \cdot a_s \cdot (d - x_r)^2 = 0,0031857 \text{ m}^4$$

Posouzení napětí ve výztuži a v betonu

- Napětí v betonu kvazistálou kombinací zatížení

$$\sigma_c = \frac{m_{Ed,q} \cdot x_r}{I_r} = 1,069 \text{ Mpa} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 13,50 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

- Napětí ve výztuži pro charakteristickou kombinaci zatížení

$$\sigma_s = \alpha'_e \frac{m_{Ed,ch} \cdot (d - x_r)}{I_r} = 40,371 \text{ Mpa} \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 400,00 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

**Napětí splňuje omezující podmínky**



## 2) Kontrola trhlin

Výpočet hodnoty  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Šířku trhlin posuzujeme při kvazistálé kombinaci zatížení napětí ve výztuži

$\sigma_s =$  napětí v tažené výztuži vypočtené na průřezu porušeném trhlinou  $\sigma_s = \alpha_e \frac{m_{Ed,q} \cdot (d - x_r)}{I_r}$

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6,091$

poměr modulu pružnosti výztuže a betonu

$\rho_{p,eff} = (a_s + \xi_1^2 \cdot A_p) / A_{c,eff}$  je účinný stupeň vyztužení efektivní tažené oblasti betonu  $A_{c,eff}$

$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,ef} = 0,1033 \text{ m}^2$

$h_{c,ef} = \min\{2,5(h-d), (h-x)/3, h/2\}; \min\{147,50; 246,72; 425\} h_{c,ef} = 147,50 \text{ mm}$

Vliv doby trvání zatížení

- ☐ Krátkodobé zatížení, 0.6  
☒ Dlouhodobé zatížení, 0.4

$k_t = 0,4$

$a_s = 1018 \text{ mm}^2$   
 $a_p =$  předpřítlač výztuže

$\rho_{p,eff} = (a_s) / A_{c,eff} = 0,00986$

$f_{ct,eff} = 2,9 \text{ Mpa}$  - trhliny jsou očekávány po 28 dnech  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = -0,000421 \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,0001211$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,0001211$

Výpočet  $s_{r,max}$

Případ  $s \leq 5(c+\phi/2)$

$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} = 480,396 \text{ mm}$

Případ  $s > 5(c+\phi/2)$

$s_{r,max} = 1,3 \cdot (h - x) = 1053,63 \text{ mm}$

$c = 50$  krytí podélné výztuže  
 $k_1 = 0,8$  pruty s velkou soudržností  
 $k_2 = 0,5$  pro ohyb  
 $k_3 = 3,4$  doporučená hodnota  
 $k_4 = 0,425$  doporučená hodnota  
 $\phi = 18$  profil prutů

Rozhodnutí podle kterého případu se bude počítat  $s_{r,max}$

$5(c+\phi/2) = 295 \text{ mm}$   
 vzdálenost výztuže  $176,00 \text{ mm}$   
**Případ  $s \leq 5(c+\phi/2)$**   
 $s_{r,max} = 480,40 \text{ mm}$

Kontrola trhlin

$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max}$

$w_k = 0,0582 \text{ mm} \leq w_{max} = 0,3 \text{ mm}$

Šířka trhlin pro dané prostředí vyhovuje

Prvek Trámec na mikropilotách 500/500 mm

## Posouzení obdélníku

Rozpětí stropní kce L = 1,5 m

### Vstupní údaje

Stupeň vlivu prostředí

XC4

Návrhová životnost

80

let

Požární odolnost

REI

Materiály:

### Zadání vnitřních sil

$m_{Ed} = 15$  kNm

$m_{Ed,q} = 11,00$   $m_{Ed,chl} = 11,00$  kNm

$V_{Ed} = 40$  kN

### Zadání geometrie

h = 500 mm

b = 500 mm

Třída betonu :	C30/37	C30/37	Výztuž :	10 505 R	10 505 R
$f_{ck} = 30$ Mpa			$f_{yk} = 500$ Mpa		
$\alpha_{cc} = 1$			$\gamma_s = 1,15$		součinitel spolehlivosti materiálu
$\gamma_c = 1,50$			$E_s = 200,00$ Gpa		
$f_{ctm} = 2,9$ Mpa			$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78$ Mpa		
$E_{cm} = 32,8$ Gpa			$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,17$ [‰]		
$\epsilon_{cu3} = 3,5$ [‰]					

Rovnoměrné rozdělení napětí betonu v tlaku  $\eta f_{cd}$

po výšce  $\lambda x$

$$\eta = \frac{1}{0,8} \quad \xi_{bal,1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{cu3}} = 0,617$$

- bilineární pracovní diagram s vodorovnou horní větví bez omezeného přetvoření

### Zadání plochy výztuže

Vrstva

Profil ve vrstvě

Počet prutů

Krytí profilu

Plocha na 1 mb

Celková plocha

Teoretická osa plochy výztuže

Účinná výška průřezu

Vzdálenost mezi pruty

Min světlost mezi pruty

	37 mm	37 mm	37 mm	37 mm
i =	1	2	3	4
$\phi$ i =	12	0	0	0
ks =	4	0	0	0
ci =	50	0	0	0
ai =	452	0	0	0
$a_{s1} =$	452			
$d_1 =$	56			
$d =$	444			

$s_1 = 117$  mm

$s \leq s_{s1,max}$

Ok

### min. vzdálenosti prutů

$s_{min} = \max(k_1 \cdot \phi, d_g + k_2, 20mm)$

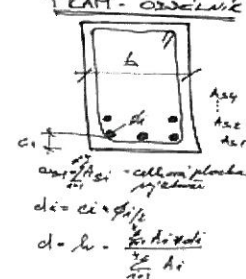
$s_{min} = 37$  mm

$k_1 = 1,2$

$k_2 = 5$

$d_g = 32$  mm

TRAM - OBDELNIK



### Posouzení

$$x = \frac{a_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 24,6 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,0554 < \xi_{bal,1} = 0,617$$

Vyhovuje

$$m_{Rd} = a_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 85,40 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed} = 15 < m_{Rd} = 85,40 \text{ kNm/m}$$

$m_{Ed} < m_{Rd}$  Vyhovuje

### Kontrola vyztužení

$$a_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d}{f_{yk}}, 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\}$$

$$a_{s1} = 452 > a_{s,min} = 334,4 \text{ mm}^2$$

$a_{s1} > a_{s,min}$  Vyhovuje

$$a_{s1} \leq 0,04 A_c = 20000 \text{ mm}^2$$

$$> a_{s1} = 452 \text{ mm}^2$$

Vyhovuje

### Smyk

$$\min(V_{Rd,max}) = v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \left( \frac{\cot \Theta}{1 + \cot^2 \Theta} \right) = 790,481 \text{ kN}$$

$\cot \Theta = 2,5$  - volime

$$|V_{Ed}| \leq \min(V_{Rd,max}) \rightarrow \text{Lze navrhnout smykovou výztuž za předpokladu } \cot \Theta = 2,5$$

$$v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,528$$

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 434 \text{ mm}$$

### Třminky

n = 4 počet stříhů na třmínku

$\phi$  i = 8 mm - profil třmínku

a = 300 mm - osová vzdálenost třmínků

$A_{sw} = 201 \text{ mm}^2$  - plocha třmínků

$a \leq s_{min}$

Osová vzdálenost třmínků je OK

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s} \cdot z \cdot \cot \Theta = 316,28 \text{ kN}$$

$$|V_{Ed}| = 40 \text{ kN} \leq V_{Rd,s} = 316,28 \text{ kN}$$

Navrhnutý třmínek vyhovuje

### Návrh konstrukční smykové výztuže

- vzdálenost třmínků

$$s \leq 0,75 \cdot d = 333,0 \text{ mm}$$

$$s \leq 400 \text{ mm} \quad s_{vr,min} = 333$$

- omezení stupně vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} \geq \rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,00088$$

$$s_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = 458,86 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \min(s_{vr,min}, s_w) = 333,00 \text{ mm}$$

## Kontrola mezního stavu použitelnosti

### 1) Omezené napětí

- napětí v betonu při quasi-stálé kombinaci zatížení musí být  $|\sigma_c| \leq k_2 \cdot f_{ck}, k_2 = 0.45$
- tahové napětí ve výztuži při charakteristickém zatížení nesmí překročit  $|\sigma_s| \leq k_3 \cdot f_{yk}, k_3 = 0.80$
- pokud je napětí ve výztuži vyvozeno vynuceným přetvořením, je možné použít podmínku  $|\sigma_s| \leq k_4 \cdot f_{yk}, k_4 = 1.0$

Průřez bez trhlin :

$$\alpha'_e = E_s / E_{cm} = 6,091$$

$$A_t = b \cdot h + (\alpha'_e - 1) a_s = 0,25230 \quad m^2$$

$$a_{gr} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + (\alpha'_e - 1) \cdot a_s \cdot d}{A_t} = 0,252 \quad m$$

$$I_t = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h (a_{gr} - 0,5 h)^2 + (\alpha'_e - 1) a_s \cdot (d - a_{gr})^2 = 0,005294 \quad m^4$$

$$m_{cr} = \frac{I_t \cdot f_{cm}}{(h - a_{gr})} = 61,776 \quad kNm/m$$

$$m_{Ed,q} \leq m_{cr} \quad \text{- Pokud je podmínka splněna trhliny nevzniknou}$$

$$m_{Ed,q} = 11 \quad kN / m \leq m_{cr} = 61,776 \quad kN/m$$

**Trhliny nevzniknou**

Průřez s trhlínami:

$$x_r = \frac{\alpha_e \cdot a_s}{b} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot a_s}} \right) = 0,0647 \quad m$$

$$I_r = \frac{b \cdot x_r^3}{3} + \alpha_e \cdot a_s \cdot (d - x_r)^2 = 0,0004416 \quad m^4$$

Posouzení napětí ve výztuži a v betonu

- Napětí v betonu kvazistálou kombinací zatížení

$$\sigma_c = \frac{m_{Ed,q} \cdot x_r}{I_r} = 1,611 \quad Mpa \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 13,50 \quad Mpa \quad \text{OK}$$

- Napětí ve výztuži pro charakteristickou kombinaci zatížení

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{m_{Ed,ch} \cdot (d - x_r)}{I_r} = 57,558 \quad Mpa \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 400,00 \quad Mpa \quad \text{OK}$$

**Napětí splňuje omezující podmínky**



## 2) Kontrola trhlin

Výpočet hodnoty

$$\sigma_s - k_t \cdot \frac{\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Šířku trhlin posuzujeme při kvazistálé kombinaci zatížení napětí ve výztuži

$\sigma_s =$  napětí v tažené výztuži vypočtené na průřezu porušeném trhlinou  $\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{m_{k,d,q} \cdot (d - x_r)}{I_r}$

$\sigma_s =$  57,6 Mpa

$\alpha_e = E_s / E_{cm} =$  6,091 poměr modulu pružnosti výztuže a betonu

$\rho_{p,eff} = (a_s + \xi_1^2 \cdot A_p) / A_{c,eff}$  je účinný stupeň vyztužení efektivní tažené oblasti betonu  $A_{c,eff}$

$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,ef} =$  0,0700 m<sup>2</sup>

$h_{c,ef} = \min\{ 2,5(h - d), (h - x) / 3, h / 2; \min\{ 140,00 ; 145,11 ; 250 \} h_{c,ef} = 140,00 \text{ mm}$

Vliv doby trvání zatížení

- ☐ Krátkodobé zatížení, 0.6
- ☒ Dlouhodobé zatížení, 0.4

$k_t =$  0,4

$a_s =$  452 mm<sup>2</sup>  
 $a_r =$  5 mm<sup>2</sup> předpínací výztuž

$\rho_{p,eff} = (a_s) / A_{c,eff} =$  0,00646

$f_{ct,eff} =$  2,9 Mpa - trhliny jsou očekávány po 28 dnech  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = -0,000644 \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,0001727$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,0001727$

Výpočet  $s_{r,max}$

Případ  $s \leq 5(c + \phi/2)$

$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} =$  485,657 mm

Případ  $s > 5(c + \phi/2)$

$s_{r,max} = 1,3 \cdot (h - x) =$  618,04 mm

$c =$  50 krytí podélné výztuže

$k_1 =$  0,8 pruty s velkou soudržností

$k_2 =$  0,5 pro ohyb

$k_3 =$  3,4 doporučená hodnota

$k_4 =$  0,425 doporučená hodnota

$\phi =$  12 profil prutů

Rozhodnutí podle kterého případu se bude počítat  $s_{r,max}$

$5(c + \phi/2) =$  280 mm

vzdálenost výztuže 117,33 mm

Případ  $s \leq 5(c + \phi/2)$

$s_{r,max} =$  485,66 mm

Kontrola trhlin

$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max}$

$w_k =$  0,0839 mm  $\leq w_{max} =$  0,3 mm

Šířka trhlin pro dané prostředí vyhovuje