

ZMĚNA	DATUM	POZNÁMKA

zhotovitel:	Kubalík - statika s.r.o.	tel.: 777 891 331
		e-mail: michal@kubalik-statika.cz
		web: www.kubalik-statika.cz

název stavby:		OPĚRNÁ STĚNA, REKONSTRUKCE SCHODIŠTĚ DO PIARISTICKÉ KOLEJE č. p. 1, PODÉL KOSTELA SVATÉ ANNY V BENEŠOVĚ	
investor:	Město Benešov Masarykovo náměstí 100, 256 01 Benešov		č.paré:
zodp. projektant:	Ing. Michal Kubalík	vypracoval: Ing. Michal Kubalík	
část dokumentace:	STAVEBNĚ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ		datum: 7/2025
stup. dokumentace:	DPS - Dokumentace pro provedení stavby		
název přílohy:	STATICKÝ VÝPOČET		číslo přílohy: 3

Obsah	strana
1. Úvod	2
1.1 Identifikační údaje	2
1.2 Podklady	2
1.3 Normy navrhování	2
1.4 Technické pomůcky	2
1.5 Výpočetní technika a programy	2
1.6 Popis výpočtu konstrukcí	2
2. Návrh a posouzení opěrné stěny	3
2.1 Průřez I	3
2.2 Průřez II	8

1. Úvod

1.1 Identifikační údaje:

Stavba: Opěrná stěna, rekonstrukce schodiště do piaristické koleje č. p. 1, podél kostela Svaté Anny v Benešově

Investor: Město Benešov
Masarykovo náměstí 100, 256 01 Benešov

1.2 Podklady

Projektové podklady: Rozpracovaná stavební část projektu, Ing. Eduard novák, červenec 2025

1.3 Normy navrhování

ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1	Zatížení konstrukcí, Část 1-1: Obecná zatížení - objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-2	Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
ČSN EN 1992-1-1	Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1997-1	Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla
ČSN 73 6133	Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
ČSN 73 1004	Navrhování základových konstrukcí – Stanovení požadavků pro výpočetní metody
ČSN 73 0037	Zemní tlak na stavební konstrukce
ČSN EN 206	Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
ČSN EN 10080	Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel - Všeobecně

1.4 Technické pomůcky

- TP 51 J. Hořejší, J. Šafka: Statické tabulky, SNTL, Praha 1987

1.5 Výpočetní technika a programy

- Vlastní tabulky pro dimenzování konstrukcí podle výše uvedených norem v programu Microsoft Excel.

1.6 Popis výpočtu konstrukcí

Kategorie návrhové životnosti: **4** budovy a další běžné stavby

Informativní návrhová životnost: **50 let**

Mezní stavy únosnosti:

STR představuje případ vnitřního porušení nebo nadměrného přetvoření konstrukce nebo nosných prvků, kde rozhoduje pevnost materiálů konstrukce;

GEO je případ poruchy či nadměrného přetvoření základové půdy, při kterém pevnost zeminy a hornin je podstatná pro zajištění únosnosti;

Popis výpočtu:

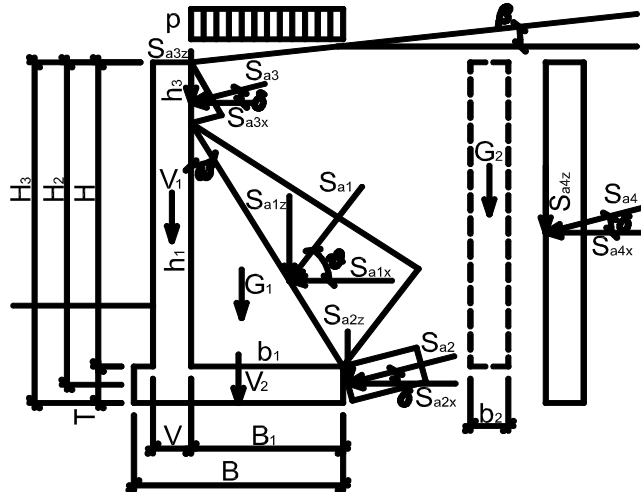
Ve statickém výpočtu je navržena a posouzena opěrná stěna pro mezní stavy únosnosti (STR) a na mezní stavy použitelnosti. Základ opěrné stěny je navržen pro mezní stav únosnosti (GEO) podle 2.geotechnické kategorie.

2. Návrh a posouzení opěrné stěny

2.1 Průřez I

Návrh geometrie stěny

výška stěny	H =	3,25 m
tloušťka stěny	V =	0,40 m
šířka základu	B =	2,50 m
vyložení základu	B ₁ =	1,35 m
výška základu	T =	0,30 m
hloubka založení	D =	0,80 m
délka základu	L =	14,00 m
sklon terénu	β =	0°
sklon základu	α =	0°
výška	H ₂ =	3,40 m
výška	H ₃ =	3,55 m



Návrhový přístup 1

Kombinace 2 : A2 + M2 + R1

Užitné zatížení na povrchu $p_d = 5,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,30 = 6,50 \text{ kN/m}^2$

Objemová tíha železobetonu $\gamma_{b,d,neg} = 24 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,00 = 24 \text{ kN/m}^3$

Parametry zásypu zemina S4 SM písek hlinitý nebo jílovitý

$$\varphi_{efd} = \frac{\varphi_{efn}}{\gamma_\varphi} = \frac{28^\circ}{1,25} = 22,40^\circ$$

úhel tření na rubu stěny

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot 22,40^\circ = 14,93^\circ$$

$$\gamma_{d,neg} = 18,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,00 = 18,00 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{d,poz} = 18,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,00 = 18,00 \text{ kN/m}^3$$

stanovení sklonu aktivního klínu

$$\omega = 31,00^\circ$$

správně stanovený sklon

sklon zemního tlaku na klín

$$\theta = \varphi + \omega = 22,40^\circ + 31,00^\circ = 53,40^\circ$$

rozměry aktivního klínu

zvýšení klínu vlivem sklonu terénu se zanedbává

$$b_1 = H \cdot \tan \omega = 3,25 \cdot \tan 31,00^\circ = 1,95 \text{ m} \quad b_1 = B_1 = 1,35 \text{ m}$$

$$\min b_1 = 1,35 \text{ m} \quad h_1 = b_1 / \tan \omega = 1,35 / \tan 31,00^\circ = 2,25 \text{ m}$$

$$b_2 = B_1 - \min b_1 = 1,35 - 1,35 = 0,00 \text{ m}$$

$$h_3 = H - h_1 = 3,25 - 2,25 = 1,00 \text{ m}$$

součinitel aktivního zemního tlaku na aktivním klínu, kde

$$K_{a1} = 0,75$$

$$\delta = \varphi$$

součinitel aktivního zemního tlaku na rubu stěny, kde

$$K_{a2} = 0,40$$

$$\omega = 0,00^\circ$$

Výslednice zemního tlaku na bm úhlové stěny na aktivním klínu

$$S_{a1} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{d,neg} \cdot K_{a1} \cdot (H^2 - h_3^2)$$

$$S_{a1} = \frac{1}{2} \cdot 18,00 \cdot 0,75 \cdot (3,25^2 - 1,00^2) = 64,51 \text{ kN/m}$$

$$S_{a1x} = S_{a1} \cdot \cos \theta = 64,51 \cdot \cos 53,40^\circ = 38,47 \text{ kN/m}$$

$$S_{a1z} = S_{a1} \cdot \sin \theta = 64,51 \cdot \sin 53,40^\circ = 51,79 \text{ kN/m}$$

Výslednice zemního tlaku na bm úhlové stěny na rubu základu

$$S_{a2} = T \cdot \gamma_{d,neg} \cdot H_2 \cdot K_{a2}$$

$$S_{a2} = 0,30 \cdot 18,00 \cdot 3,40 \cdot 0,40 = 7,33 \text{ kN/m}$$

$$S_{a2x} = S_{a2} \cdot \cos \delta = 7,33 \cdot \cos 14,93^\circ = 7,08 \text{ kN/m}$$

$$S_{a2z} = S_{a2} \cdot \sin \delta = 7,33 \cdot \sin 14,93^\circ = 1,89 \text{ kN/m}$$

Výslednice zemního tlaku na bm úhlové stěny na rubu stěny

$$S_{a3} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{d,neg} \cdot h_3^2 \cdot K_{a2}$$

$$S_{a3} = \frac{1}{2} \cdot 18,00 \cdot 1,00^2 \cdot 0,40 = 3,61 \text{ kN/m}$$

$$S_{a3x} = S_{a3} \cdot \cos \delta = 3,61 \cdot \cos 14,93^\circ = 3,49 \text{ kN/m}$$

$$S_{a3z} = S_{a3} \cdot \sin \delta = 3,61 \cdot \sin 14,93^\circ = 0,93 \text{ kN/m}$$

Výslednice zemního tlaku od užitého zatížení na povrchu na bm úhlové stěny na rubu stěny

$$S_{a4} = p_d \cdot H_3 \cdot K_{a2} = 6,50 \cdot 3,55 \cdot 0,40 = 9,21 \text{ kN/m}$$

$$S_{a4x} = S_{a4} \cdot \cos \delta = 9,21 \cdot \cos 14,93^\circ = 8,90 \text{ kN/m}$$

$$S_{a4z} = S_{a4} \cdot \sin \delta = 9,21 \cdot \sin 14,93^\circ = 2,37 \text{ kN/m}$$

Vlastní tíhy zeminy

$$G_1 = 1/2 \cdot b_1 \cdot H \cdot \gamma_{d,poz}$$

$$G_1 = 1/2 \cdot 1,35 \cdot 3,25 \cdot 18,00 = 39,49 \text{ kN/m}$$

$$G_2 = b_2 \cdot H \cdot \gamma_{d,poz} = 0,00 \cdot 3,25 \cdot 18,00 = 0,00 \text{ kN/m}$$

Vlastní tíhy železobetonové konstrukce

$$V_1 = V \cdot H \cdot \gamma_{b,d,neg} = 0,40 \cdot 3,25 \cdot 24,00 = 31,20 \text{ kN/m}$$

$$V_2 = B \cdot T \cdot \gamma_{b,d,neg} = 2,50 \cdot 0,30 \cdot 24,00 = 18,00 \text{ kN/m}$$

Návrhové zatížení základu

$$S_{a1z} = 51,79 \text{ kN}$$

$$S_{a2z} = 1,89 \text{ kN}$$

$$S_{a3z} = 0,93 \text{ kN}$$

$$S_{a4z} = 2,37 \text{ kN}$$

$$G_1 = 39,49 \text{ kN}$$

$$G_2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_1 = 31,20 \text{ kN}$$

$$V_2 = 18,00 \text{ kN}$$

celková svislá síla $V_q = 145,67 \text{ kN}$

$$S_{a1x} = 38,47 \text{ kN}$$

$$S_{a2x} = 7,08 \text{ kN}$$

$$S_{a3x} = 3,49 \text{ kN}$$

$$S_{a4x} = 8,90 \text{ kN}$$

celková vodor. síla $H_q = 57,93 \text{ kN}$

Excentricita základu - Posouzení základu na ztrátu celkové stability

$$e_{abs} = M / V = -19,33 / 145,67$$

$$e_{abs} = 0,13 \text{ m} < 1/3 \cdot B = 1/3 \cdot 2,50 = 0,83 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$

$$B_{ef} = B - 2 \cdot e = 2,50 - 2 \cdot 0,13 = 2,23 \text{ m}$$

$$A_{ef} = 2,23 \text{ m}^2$$

Parametry základové půdy

zemina

F6 tuhá

CL CI

jemnozrnná zemina

$$\varphi_{ud} = \frac{\varphi_{un}}{\gamma_\varphi} = \frac{0^\circ}{1,25} = 0,00^\circ$$

$$\varphi_{efd} = \frac{\varphi_{efn}}{\gamma_\varphi} = \frac{17^\circ}{1,25} = 13,60^\circ$$

$$\gamma = 21,0 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{ud} = \frac{c_u}{\gamma_c} = \frac{50 \text{ kPa}}{1,25} = 40,00 \text{ kPa}$$

$$c_{efd} = \frac{c_{ef}}{\gamma_c} = \frac{8 \text{ kPa}}{1,25} = 6,40 \text{ kPa}$$

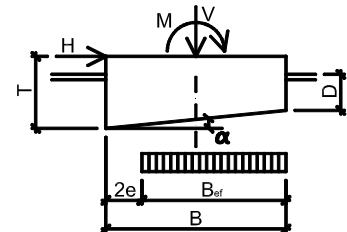
Kontrola stability proti posunutí

Kontrola stability proti posunutí

vliv pasivního zemního tlaku

$$H_{q,red} = H_q \cdot 0,85 = 57,93 \cdot 0,85 = 49,24 \text{ kN}$$

$$V_q \cdot \tan \varphi + c \cdot A_{ef} \\ 145,67 \cdot \tan 13,60^\circ + 6,40 \cdot 2,23 = 49,54 \text{ kN} > H_{q,red} = 49,24 \text{ kN} \\ \text{vyhovuje}$$



Posouzení základu na únosnost - krátkodobá únosnost - neodvodněné podmínky

$$R/A = \left(\pi + 2 \right) \cdot c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q$$
$$R/A = \left(3,14 + 2 \right) \cdot 40,00 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 0,80 + 16,80$$
$$R/A = 185,9 \text{ kPa}$$

$$\frac{R/A}{\gamma_R} = \frac{185,86}{1,00} = 185,9 \text{ kPa} > \frac{V_q}{A_{ef}} = \frac{145,67}{2,23} = 65,2 \text{ kPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Posouzení základu na únosnost - dlouhodobá únosnost - odvodněné podmínky

$$R/A = c \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B_{ef} \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$
$$R/A = 6,40 \cdot 10,14 \cdot 1,00 \cdot 1,05 \cdot 0,35 + 16,80 \cdot 3,45 \cdot 1,00 \cdot 1,04 \cdot 0,54 + 0,5 \cdot 21,00 \cdot 2,23 \cdot 1,19 \cdot 1,00 \cdot 0,95 \cdot 0,39$$
$$R/A = 66,6 \text{ kPa}$$

$$\frac{R/A}{\gamma_R} = \frac{66,56}{1,00} = 66,6 \text{ kPa} > \frac{V_q}{A_{ef}} = \frac{145,67}{2,23} = 65,2 \text{ kPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Vnitřní síly a deformace od zemního tlaku v klidu pro dimenzování konstrukce

součinitel zemního tlaku v klidu

$$K_o = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 22^\circ = 0,62$$

Zatížení

zatěžovací šířka

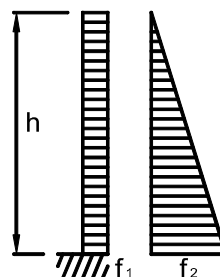
 γ

q₁	užitné zatížení na povrchu	5,00	·	0,62	·	1,00	=	3,09 kN/m	1,50	4,64 kN/m
f₁	celkové zatížení							3,09 kN/m	1,50	4,64 kN/m
g₁	zemina	18,00	·	3,25	·	0,62	·	1,00	=	36,21 kN/m
f₂	celkové zatížení							36,21 kN/m	1,35	48,88 kN/m

Schéma konstrukce

výška konstrukce

$$h = 3,25 \text{ m}$$

**Vnitřní síly a reakce**

$$M = 1/2 \cdot f_1 \cdot h^2$$
$$M = 1/6 \cdot f_2 \cdot h^2$$
$$M_q = 1/2 \cdot 3,09 \cdot 3,25^2 = 16,34 \text{ kNm} \quad 1,50 = 24,52 \text{ kNm}$$
$$M_g = 1/6 \cdot 36,21 \cdot 3,25^2 = 63,74 \text{ kNm} \quad 1,35 = 86,05 \text{ kNm}$$

$$\text{celkový moment} \quad M_f = 80,08 \text{ kNm} \quad 1,38 \quad 110,56 \text{ kNm}$$

$$V = f_1 \cdot h$$
$$V = 1/2 \cdot f_2 \cdot h$$
$$V_q = 3,09 \cdot 3,25 = 10,06 \text{ kN} \quad 1,50 = 15,09 \text{ kN}$$
$$V_g = 1/2 \cdot 36,21 \cdot 3,25 = 58,84 \text{ kN} \quad 1,35 = 79,43 \text{ kN}$$

$$\text{posouvající síla} \quad V_a = 68,89 \text{ kN} \quad 1,37 \quad 94,52 \text{ kN}$$

Pružné deformace

$$w_g = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_g}{E \cdot I} = \frac{5}{48} \cdot \frac{63,74}{31,00 \cdot 1912,50}$$

$$w_g = 1,2 \text{ mm}$$

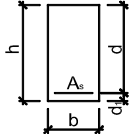
$$w_q = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_q}{E \cdot I} = \frac{5}{48} \cdot \frac{16,34}{31,00 \cdot 1912,50}$$

$$w_q = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_f = 1,5 \text{ mm}$$

Statický výpočet

ŽB průřez ve ztraceném bednění.

Zatížení	$M_d = 110,56 \text{ kNm}$	$V_d = 94,52 \text{ kN}$	
Návrh průřezu, betonu			
Rozměry	$b = 0,85 \text{ m}$ $h = 0,30 \text{ m}$	$\alpha_{cc} = 1,0$	
Beton	C25/30 $E_{cm} = 31,00 \text{ GPa}$ $I_c = 0,001913 \text{ m}^4$ $A_c = 0,255 \text{ m}^2$	$f_{ck} = 25,00 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 2,60 \text{ MPa}$ $f_{cm} = 38,00 \text{ MPa}$ $\eta = 1,00$	$\gamma_c = 1,50$ $f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$ $\varepsilon_{cu3} = 3,50$ $\lambda = 0,80$
Návrh ohybové výztuže	třída tažnosti		
Výztuž	B500 B	$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$	$\gamma_s = 1,15$
Počet ks na b	4,00 ks	$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$	$E_s = 200,00 \text{ GPa}$
Průměr výztuže	Ø20	$\varepsilon_{yd} = 2,17$	$\xi_{bal,1} = 0,62$
Krytí výztuže	$c = 25 \text{ mm}$	Plocha výztuže na b $d_1 = 35 \text{ mm}$	$A_{s,prov} = 1257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ $d = 265 \text{ mm}$
Posouzení - MSÚ - Ohyb			
Kontrola vyztužení			
$A_{s1,min} = 293 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	$<$	$1257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	
$A_{s,max} = 10200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	$>$	$1257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	vyhovuje
Otlačení betonu			
$M_{Rd} = 134,25 \text{ kNm}$	$>$	$M_d = 110,56 \text{ kNm}$	vyhovuje vyhovuje vyhovuje
Posouzení - MSP - Deformace			
Poměr kvazistalé kombinace k charakteristické kombinaci			
$G + \psi_2 \cdot Q$	$=$	$36,21 + 0,50 \cdot 3,09$	$= 0,96$
$G + Q$	$=$	$36,21 + 3,09$	
Moment od zatížení kvazistalé kombinace	$M_{kqp} =$	$0,96 \cdot M_k$	
	$M_{kqp} =$	$0,96 \cdot 80,08$	$= 76,93 \text{ kNm}$
Průžná deformace od kvazistalé kombinace	$w_{elqp} =$	$0,96 \cdot w_{el}$	
	$w_{elqp} =$	$0,96 \cdot 1,49$	$= 1,4 \text{ mm}$
Výška konstrukce	$l = 3,25 \text{ m}$	Začátek smršťování (dny)	$t_{0,s} = 5$
Prostředí :relativní vlhkost	$RH = 80\%$	Vyšetřovaný okamžik (dny)	$t (25 \text{ let}) = 9125$
Začátek dotvarování (dny)	$t_{0,c} = 28$	Charakter zatížení	$\beta = 0,50$
Obvod prvku vystavený okolnímu prostředí	$u = 1,70 \text{ m}$		
Součinitel dotvarování pro zatížení			
$\phi_c(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$	$=$	$1,73 \cdot 0,97$	$= 1,68$
Součinitel dotvarování pro smršťování			
$\phi_s(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_s(t, t_0)$	$=$	$2,39 \cdot 0,97$	$= 2,32$
Celkové poměrné smršťování			
$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t)$	$=$	$0,000231 + 0,000037$	$= 0,000268$
Deformace od dlouhodobého zatížení			
Ohybová tuhost betonového průřezu bez výztuže z výpočetního modelu bez uvažování dotvarování			
$E_{cm} \cdot I_c$	$=$	$31,00 \cdot 0,001913$	$= 59,29 \text{ MNm}^2$
Ohybová tuhost betonového průřezu s výztuží s uvažováním dotvarováním			
$E_{c,eff} \cdot I_i$	$=$	$11,57 \cdot 0,0021773$	$= 25,19 \text{ MNm}^2$
$M_{cr,lt} = 40,16 \text{ kNm}$	$<$	$M_{kqp} = 76,93 \text{ kNm}$	trhliny se očekávají
Ohybová tuhost průřezu s trhlinami s uvažováním dotvarováním			
$B = E_{c,eff} \cdot I_i \cdot (1 - \xi) + E_{c,eff} \cdot I_{ir} \cdot \xi$			
$B = 25,19 \cdot (1 - 0,86) + 10,07 \cdot 0,86$	$=$		$= 12,13 \text{ MNm}^2$
Průžná deformace do vzniku trhlin			
$w_{el,cr} = w_{elqp} \cdot M_{cr,lt} / M_{kqp}$	$=$	$1,4 \cdot 40,16 / 76,93$	$= 0,7 \text{ mm}$

Deformace do vzniku trhlin s dotvarováním

$$w_{el,cr,\phi} = w_{el,cr} \cdot E_{cm} \cdot I_c / E_{c,eff} \cdot I_i = 0,7 \cdot 59,29 / 25,19 = 1,8 \text{ mm}$$

Průžná deformace po vzniku trhlin

$$w_{el,B} = w_{el,q} - w_{el,cr} = 1,4 - 0,7 = 0,7 \text{ mm}$$

Deformace po vzniku trhlin s dotvarováním

$$w_{el,B,\phi} = w_{el,B} \cdot E_{cm} \cdot I_c / B = 0,68 \cdot 59,29 / 12,13 = 3,3 \text{ mm}$$

$$w_f = w_{el,cr,\phi} + w_{el,B,\phi} = 1,8 + 3,3 = 5,1 \text{ mm}$$

Deformace od smršťování

$$k = 0,089$$

$$w_{cs} = k \cdot 1/r_{cs} \cdot l^2 = 0,089 \cdot 0,00105 \cdot 3,25^2 = 1,0 \text{ mm}$$

Celková deformace od dlouhodobého zatížení a smršťování

$$w_{lim} = l / 500 = 3,25 / 500$$

$$w_{cel} = w_f + w_{cs} = 5,1 + 1,0$$

$$w_{cel} = 6,1 \text{ mm} < w_{lim} = 6,5 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

Posouzení - MSP - Omezení napětí

Kontrola napětí v betonu

$$\sigma_c = M_k \cdot x / I_{ir} = 76,93 \cdot 0,0936 / 0,000871$$

$$\sigma_c = 8,27 \text{ MPa} < 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 25,00 = 11,25 \text{ MPa}$$

vyhovuje

Kontrola napětí ve výztuži

$$\sigma_x = \alpha_e \cdot M_k \cdot (d - x) / I_{ir}$$

$$\sigma_x = 17,29 \cdot 76,93 \cdot 0,171 / 0,000871$$

$$\sigma_x = 261,85 \text{ MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500,00 = 400,00 \text{ MPa}$$

vyhovuje

Posouzení - MSP - Trhliny

Moment od celkového zatížení

$$M_k = 80,08 \text{ kNm}$$

$$M_{cr,lt} = 35,39 \text{ kNm} <$$

$$M_k = 80,08 \text{ kNm}$$

trhliny se očekávají

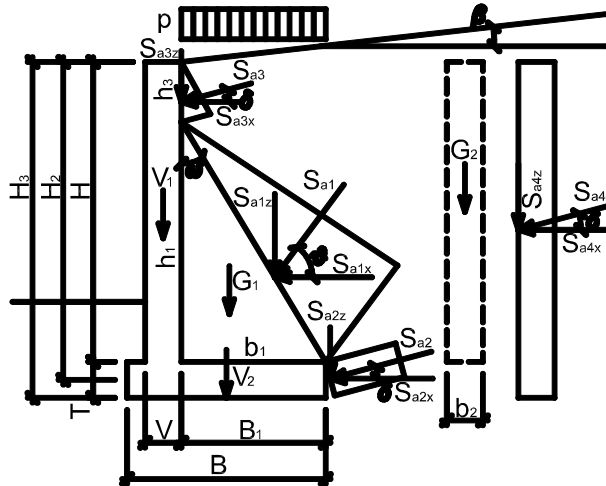
$$w_k = 0,27 \text{ mm} <$$

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

šířka trhliny vyhovuje

2.2 Průřez II**Návrh geomerie stěny**

výška stěny	H =	2,00 m
tloušťka stěny	V =	0,30 m
šířka základu	B =	1,60 m
vyložení základu	B ₁ =	0,90 m
výška základu	T =	0,25 m
hloubka založení	D =	0,75 m
délka základu	L =	14,00 m
sklon terénu	β =	0°
sklon základu	α =	0°
výška	H ₂ =	2,13 m
výška	H ₃ =	2,25 m

**Návrhový přístup 1****Kombinace 2**

: A2 + M2 + R1

Užitné zatížení na povrchu

$$p_d = 5,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,30 = 6,50 \text{ kN/m}^2$$

Objemová tíha železobetonu

$$\gamma_{b,d,neg} = 24 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,00 = 24 \text{ kN/m}^3$$

Parametry zásypu

zemina

S4

SM

písek hlinitý nebo jílovitý

$$\varphi_{efd} = \frac{\varphi_{efn}}{\gamma_\varphi} = \frac{28^\circ}{1,25} = 22,40^\circ$$

úhel tření na rubu stěny

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot 22,40^\circ = 14,93^\circ$$

$$\gamma_{d,neg} = 18,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,00 = 18,00 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{d,poz} = 18,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,00 = 18,00 \text{ kN/m}^3$$

stanovení sklonu aktivního klínu

$$\omega = 31,00^\circ$$

správně stanovený sklon**sklon zemního tlaku na klín**

$$\theta = \varphi + \omega = 22,40^\circ + 31,00^\circ = 53,40^\circ$$

rozměry aktivního klínu

zvýšení klínu vlivem sklonu terénu se zanedbává

$$\begin{aligned} b_1 &= H \cdot \tan \omega = 2,00 \cdot \tan 31,00^\circ = 1,20 \text{ m} & b_1 = B_1 = 0,90 \text{ m} \\ \min b_1 &= 0,90 \text{ m} & h_1 &= b_1 / \tan \omega = 0,90 / \tan 31,00^\circ = 1,50 \text{ m} \\ b_2 &= B_1 - \min b_1 = 0,90 - 0,90 = 0,00 \text{ m} \\ h_3 &= H - h_1 = 2,00 - 1,50 = 0,50 \text{ m} \end{aligned}$$

součinitel aktivního zemního tlaku na aktivním klínu, kde

$$\delta = \varphi$$

$$K_{a1} = 0,75$$

součinitel aktivního zemního tlaku na rubu stěny, kde

$$\omega = 0,00^\circ$$

$$K_{a2} = 0,40$$

Výslednice zemního tlaku na bm úhlové stěny na aktivním klínu

$$\begin{aligned} S_{a1} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_{d,neg} \cdot K_{a1} \cdot (H^2 - h_3^2) \\ S_{a1} &= \frac{1}{2} \cdot 18,00 \cdot 0,75 \cdot (2,00^2 - 0,50^2) = 25,30 \text{ kN/m} \\ S_{a1x} &= S_{a1} \cdot \cos \theta = 25,30 \cdot \cos 53,40^\circ = 15,09 \text{ kN/m} \\ S_{a1z} &= S_{a1} \cdot \sin \theta = 25,30 \cdot \sin 53,40^\circ = 20,31 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Výslednice zemního tlaku na bm úhlové stěny na rubu základu

$$\begin{aligned} S_{a2} &= T \cdot \gamma_{d,neg} \cdot H_2 \cdot K_{a2} \\ S_{a2} &= 0,25 \cdot 18,00 \cdot 2,13 \cdot 0,40 = 3,82 \text{ kN/m} \\ S_{a2x} &= S_{a2} \cdot \cos \delta = 3,82 \cdot \cos 14,93^\circ = 3,69 \text{ kN/m} \\ S_{a2z} &= S_{a2} \cdot \sin \delta = 3,82 \cdot \sin 14,93^\circ = 0,98 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Výslednice zemního tlaku na bm úhlové stěny na rubu stěny

$$\begin{aligned} S_{a3} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_{d,neg} \cdot h_3^2 \cdot K_{a2} \\ S_{a3} &= \frac{1}{2} \cdot 18,00 \cdot 0,50^2 \cdot 0,40 = 0,91 \text{ kN/m} \\ S_{a3x} &= S_{a3} \cdot \cos \delta = 0,91 \cdot \cos 14,93^\circ = 0,87 \text{ kN/m} \\ S_{a3z} &= S_{a3} \cdot \sin \delta = 0,91 \cdot \sin 14,93^\circ = 0,23 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Výslednice zemního tlaku od užitého zatížení na povrchu na bm úhlové stěny na rubu stěny

$$S_{a4} = p_d \cdot H_3 \cdot K_{a2} = 6,50 \cdot 2,25 \cdot 0,40 = 5,84 \text{ kN/m}$$

$$S_{a4x} = S_{a4} \cdot \cos \delta = 5,84 \cdot \cos 14,93^\circ = 5,64 \text{ kN/m}$$

$$S_{a4z} = S_{a4} \cdot \sin \delta = 5,84 \cdot \sin 14,93^\circ = 1,50 \text{ kN/m}$$

Vlastní tíhy zeminy

$$G_1 = 1/2 \cdot b_1 \cdot H \cdot \gamma_{d,poz}$$

$$G_1 = 1/2 \cdot 0,90 \cdot 2,00 \cdot 18,00 = 16,20 \text{ kN/m}$$

$$G_2 = b_2 \cdot H \cdot \gamma_{d,poz} = 0,00 \cdot 2,00 \cdot 18,00 = 0,00 \text{ kN/m}$$

Vlastní tíhy železobetonové konstrukce

$$V_1 = V \cdot H \cdot \gamma_{b,d,neg} = 0,30 \cdot 2,00 \cdot 24,00 = 14,40 \text{ kN/m}$$

$$V_2 = B \cdot T \cdot \gamma_{b,d,neg} = 1,60 \cdot 0,25 \cdot 24,00 = 9,60 \text{ kN/m}$$

Návrhové zatížení základu

$$S_{a1z} = 20,31 \text{ kN}$$

$$S_{a2z} = 0,98 \text{ kN}$$

$$S_{a3z} = 0,23 \text{ kN}$$

$$S_{a4z} = 1,50 \text{ kN}$$

$$G_1 = 16,20 \text{ kN}$$

$$G_2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_1 = 14,40 \text{ kN}$$

$$V_2 = 9,60 \text{ kN}$$

$$\text{celková svislá síla } V_q = 63,23 \text{ kN}$$

$$S_{a1x} = 15,09 \text{ kN}$$

$$S_{a2x} = 3,69 \text{ kN}$$

$$S_{a3x} = 0,87 \text{ kN}$$

$$S_{a4x} = 5,64 \text{ kN}$$

$$\text{celková vodor. síla } H_q = 25,29 \text{ kN}$$

Excentricita základu - Posouzení základu na ztrátu celkové stability

$$e_{abs} = M / V = -9,37 / 63,23$$

$$e_{abs} = 0,15 \text{ m} < 1/3 \cdot B = 1/3 \cdot 1,60 = 0,53 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$

$$B_{ef} = B - 2 \cdot e = 1,60 - 2 \cdot 0,15 = 1,30 \text{ m}$$

$$A_{ef} = 1,30 \text{ m}^2$$

Parametry základové půdy

zemina

F6 tuhá

CL CI

jemnozrnná zemina

$$\varphi_{ud} = \frac{\varphi_{un}}{\gamma_\varphi} = \frac{0^\circ}{1,25} = 0,00^\circ$$

$$\varphi_{efd} = \frac{\varphi_{efn}}{\gamma_\varphi} = \frac{17^\circ}{1,25} = 13,60^\circ$$

$$\gamma = 21,0 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{ud} = \frac{c_u}{\gamma_c} = \frac{50 \text{ kPa}}{1,25} = 40,00 \text{ kPa}$$

$$c_{efd} = \frac{c_{ef}}{\gamma_c} = \frac{8 \text{ kPa}}{1,25} = 6,40 \text{ kPa}$$

Kontrola stability proti posunutí

vliv pasivního zemního tlaku

$$H_{q,red} = H_q \cdot 0,85 = 25,29 \cdot 0,85 = 21,49 \text{ kN}$$

$$V_q \cdot \tan \varphi + c \cdot A_{ef} = 63,23 \cdot \tan 13,60^\circ + 6,40 \cdot 1,30 = 23,64 \text{ kN} > H_{q,red} = 21,49 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

Posouzení základu na únosnost - krátkodobá únosnost - neodvodněné podmínky

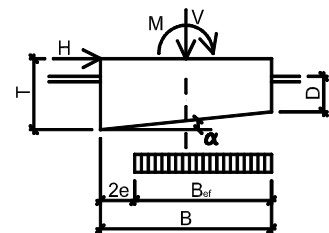
$$R/A = \left(\pi + 2 \right) \cdot c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q$$

$$R/A = \left(3,14 + 2 \right) \cdot 40,00 \cdot 1,00 \cdot 1,02 \cdot 0,86 + 15,75$$

$$R/A = 195,7 \text{ kPa}$$

$$\frac{R/A}{\gamma_R} = \frac{195,67}{1,00} = 195,7 \text{ kPa} > \frac{V_q}{A_{ef}} = \frac{63,23}{1,30} = 48,5 \text{ kPa}$$

vyhovuje



Posouzení základu na únosnost - dlouhodobá únosnost - odvozené podmínky

$$\begin{aligned} R/A &= c \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c \\ &+ q \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q \\ &+ 0,5 \cdot \gamma \cdot B_{ef} \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \\ R/A &= 6,40 \cdot 10,14 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 0,39 \\ &+ 15,75 \cdot 3,45 \cdot 1,00 \cdot 1,02 \cdot 0,56 \\ &+ 0,5 \cdot 21,00 \cdot 1,30 \cdot 1,19 \cdot 1,00 \cdot 0,97 \cdot 0,42 \end{aligned}$$

$$R/A = 63,7 \text{ kPa}$$

$$\frac{R/A}{\gamma_R} = \frac{63,73}{1,00} = 63,7 \text{ kPa} > \frac{V_q}{A_{ef}} = \frac{63,23}{1,30} = 48,5 \text{ kPa}$$

vyhovuje

Vnitřní síly a deformace od zemního tlaku v klidu pro dimenzování konstrukce

součinitel zemního tlaku v klidu

$$K_o = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 22^\circ = 0,62$$

Zatížení

zatěžovací šířka

 γ

$$q_1 \text{ užité zatížení na povrchu} \quad 5,00 \cdot 0,62 \cdot 1,00 = 3,09 \text{ kN/m} \quad 1,50 \quad 4,64 \text{ kN/m}$$

$$f_1 \text{ celkové zatížení} \quad 3,09 \text{ kN/m} \quad 1,50 \quad 4,64 \text{ kN/m}$$

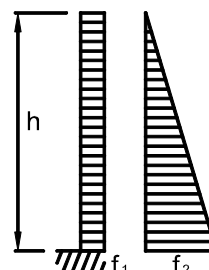
$$g_1 \text{ zemina} \quad 18,00 \cdot 2,00 \cdot 0,62 \cdot 1,00 = 22,28 \text{ kN/m} \quad 1,35 \quad 30,08 \text{ kN/m}$$

$$f_2 \text{ celkové zatížení} \quad 22,28 \text{ kN/m} \quad 1,35 \quad 30,08 \text{ kN/m}$$

Schéma konstrukce

výška konstrukce

$$h = 2,00 \text{ m}$$



Vnitřní síly a reakce

$$M = 1/2 \cdot f_1 \cdot h^2$$

$$M = 1/6 \cdot f_2 \cdot h^2$$

$$M_q = 1/2 \cdot 3,09 \cdot 2,00^2 = 6,19 \text{ kNm} \quad 1,50 = 9,28 \text{ kNm}$$

$$M_g = 1/6 \cdot 22,28 \cdot 2,00^2 = 14,85 \text{ kNm} \quad 1,35 = 20,05 \text{ kNm}$$

$$\text{celkový moment} \quad M_f = 21,04 \text{ kNm} \quad 1,39 \quad 29,34 \text{ kNm}$$

$$V = f_1 \cdot h$$

$$V = 1/2 \cdot f_2 \cdot h$$

$$V_q = 3,09 \cdot 2,00 = 6,19 \text{ kN} \quad 1,50 = 9,28 \text{ kN}$$

$$V_g = 1/2 \cdot 22,28 \cdot 2,00 = 22,28 \text{ kN} \quad 1,35 = 30,08 \text{ kN}$$

$$\text{posouvající síla} \quad V_a = 28,47 \text{ kN} \quad 1,38 \quad 39,36 \text{ kN}$$

Pružné deformace

$$w_g = \frac{5 \cdot M_g \cdot h^2}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 14,85 \cdot 2,00^2}{48 \cdot 31,00 \cdot 754,23}$$

$$w_g = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_q = \frac{5 \cdot M_q \cdot h^2}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 6,19 \cdot 2,00^2}{48 \cdot 31,00 \cdot 754,23}$$

$$w_q = 0,1 \text{ mm}$$

$$w_f = 0,4 \text{ mm}$$

$$\text{Zatížení} \quad M_d = 29,34 \text{ kNm}$$

$$V_d = 39,36 \text{ kN}$$

Návrh průřezu, betonu

$$\text{Rozměry} \quad b = 0,85 \text{ m}$$

$$h = 0,22 \text{ m}$$

$$\alpha_{cc} = 1,0$$

$$\text{Beton} \quad \text{C25/ 30}$$

$$f_{ck} = 25,00 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,50$$

$$E_{cm} = 31,00 \text{ GPa}$$

$$f_{ctm} = 2,60 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$I_c = 0,000754 \text{ m}^4$$

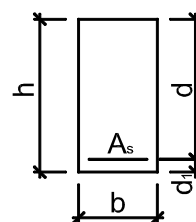
$$f_{cm} = 38,00 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,50$$

$$A_c = 0,187 \text{ m}^2$$

$$\eta = 1,00$$

$$\lambda = 0,80$$



ŽB průřez ve ztraceném bendnění.

Návrh ohybové výztuže

třída tažnosti

Výztuž	B500 B	$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$	$\gamma_s = 1,15$
Počet ks na b	4,00 ks	$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$	$E_s = 200,00 \text{ GPa}$
Průměr výztuže	Ø14	$\varepsilon_{yd} = 2,17$	$\xi_{bal,1} = 0,62$
Krytí výztuže	$c = \mathbf{25 \text{ mm}}$	Plocha výztuže na b $d_1 = 32 \text{ mm}$	$A_{s,prov} = 616 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ $d = 188 \text{ mm}$

Posouzení - MSÚ - Ohyb**Kontrola vyztužení**

$$A_{s1,min} = 208 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < 616 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 7480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > 616 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Otlačení betonu

$$M_{Rd} = \mathbf{47,80 \text{ kNm}}$$

$$M_d = \mathbf{29,34 \text{ kNm}}$$

vyhovuje

vyhovuje

vyhovuje

Posouzení - MSP - Deformace

Poměr kvazistálé kombinace k charakteristické kombinaci

$$\frac{G + \psi_2 \cdot Q}{G + Q} = \frac{22,28 + \mathbf{0,50} \cdot 3,09}{22,28 + 3,09} = 0,94$$

Moment od zatížení kvazistálé kombinace

$$M_{kqp} = 0,94 \cdot M_k$$

$$M_{kqp} = 0,94 \cdot 21,04 = \mathbf{19,76 \text{ kNm}}$$

Průžná deformace od kvazistálé kombinace

$$w_{elqp} = 0,94 \cdot w_{el}$$

$$w_{elqp} = 0,94 \cdot 0,38 = \mathbf{0,4 \text{ mm}}$$

Výška konstrukce

$$l = \mathbf{2,00 \text{ m}}$$

Začátek smršťování (dny)

$$t_{0,s} = \mathbf{5}$$

Prostředí :relativní vlhkost

$$RH = \mathbf{80\%}$$

Vyšetřovaný okamžik (dny)

$$t \text{ (25 let)} = \mathbf{9 \text{ 125}}$$

Začátek dotvarování (dny)

$$t_{0,c} = \mathbf{28}$$

Charakter zatížení

$$\beta = \mathbf{0,50}$$

Obvod prvku vystavený okolnímu prostředí

$$u = \mathbf{1,70 \text{ m}}$$

Součinitel dotvarování pro zatížení

$$\phi_c(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) = 1,77 \cdot 0,98 = \mathbf{1,73}$$

Součinitel dotvarování pro smršťování

$$\phi_s(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_s(t, t_0) = 2,45 \cdot 0,98 = \mathbf{2,40}$$

Celkové poměrné smršťování

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0,000263 + 0,000037 = \mathbf{0,0003009}$$

Deformace od dlouhodobého zatížení**Ohybová tuhost betonového průřezu bez výztuže z výpočetního modelu bez uvažování dotvarování**

$$E_{cm} \cdot I_c = 31,00 \cdot 0,000754 = \mathbf{23,38 \text{ MNm}^2}$$

Ohybová tuhost betonového průřezu s výztuží s uvažováním dotvarováním

$$E_{c,eff} \cdot I_i = 11,35 \cdot 0,0008166 = \mathbf{9,27 \text{ MNm}^2}$$

$$M_{cr,lt} = \mathbf{20,08 \text{ kNm}}$$

$$M_{kqp} = \mathbf{19,76 \text{ kNm}}$$

trhliny se neočekávají

Ohybová tuhost průřezu s trhlinami s uvažováním dotvarováním

$$B = E_{c,eff} \cdot I_i \cdot \left(\frac{1 - \xi}{1 - 0,50} \right) + E_{c,eff} \cdot I_{ir} \cdot \xi$$
$$B = 9,27 \cdot \left(\frac{1 - 0,50}{1 - 0,50} \right) + 2,71 \cdot 0,50 = \mathbf{5,99 \text{ MNm}^2}$$

Průžná deformace do vzniku trhlin

$$w_{el,cr} = w_{elqp} \cdot \frac{M_{cr,lt}}{M_{kqp}} = 0,4 \cdot \frac{19,76}{19,76} = \mathbf{0,4 \text{ mm}}$$

Deformace do vzniku trhlin s dotvarováním

$$w_{el,cr,\phi} = w_{el,cr} \cdot \frac{E_{cm} \cdot I_c}{E_{c,eff} \cdot I_i} = 0,4 \cdot \frac{23,38}{9,27} = \mathbf{0,9 \text{ mm}}$$

Průžná deformace po vzniku trhlin

$$w_{el,B} = w_{elqp} - w_{el,cr} = 0,4 - 0,4 = \mathbf{0,0 \text{ mm}}$$

Deformace po vzniku trhlin s dotvarováním

$$w_{el,B,\phi} = w_{el,B} \cdot \frac{E_{cm} \cdot I_c}{B} = 0,00 \cdot \frac{23,38}{5,99} = \mathbf{0,0 \text{ mm}}$$

$$w_f = w_{el,cr,\phi} + w_{el,B,\phi} = 0,9 + 0,0 = \mathbf{0,9 \text{ mm}}$$

Deformace od smršťování

$$k = 0,089$$

$$w_{cs} = k \cdot \frac{1}{r_{cs}} \cdot l^2 = 0,089 \cdot 0,00108 \cdot 2,00^2 = 0,4 \text{ mm}$$

Celková deformace od dlouhodobého zatížení a smršťování

$$w_{lim} = l / 500 = 2,00 / 500$$

$$w_{cel} = w_f + w_{cs} = 0,9 + 0,4$$

$$w_{cel} = 1,3 \text{ mm} < w_{lim} = 4,0 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

Posouzení - MSP - Omezení napětí

Kontrola napětí v betonu

$$\sigma_c = M_k \cdot x / I_{ir} = 19,76 \cdot 0,0577 / 0,000239$$

$$\sigma_c = 4,78 \text{ MPa} < 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 25,00 = 11,25 \text{ MPa}$$

vyhovuje

Kontrola napětí ve výztuži

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot M_k \cdot (d - x) / I_{ir}$$

$$\sigma_s = 17,62 \cdot 19,76 \cdot 0,130 / 0,000239$$

$$\sigma_s = 190,15 \text{ MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500,00 = 400,00 \text{ MPa}$$

vyhovuje

Posouzení - MSP - Trhliny

Moment od celkového zatížení

$$M_k = 21,04 \text{ kNm}$$

$$M_{cr,lt} = 18,53 \text{ kNm} <$$

$$M_k = 21,04 \text{ kNm}$$

trhliny se očekávají

$$w_k = 0,14 \text{ mm} <$$

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

šířka trhliny vyhovuje