

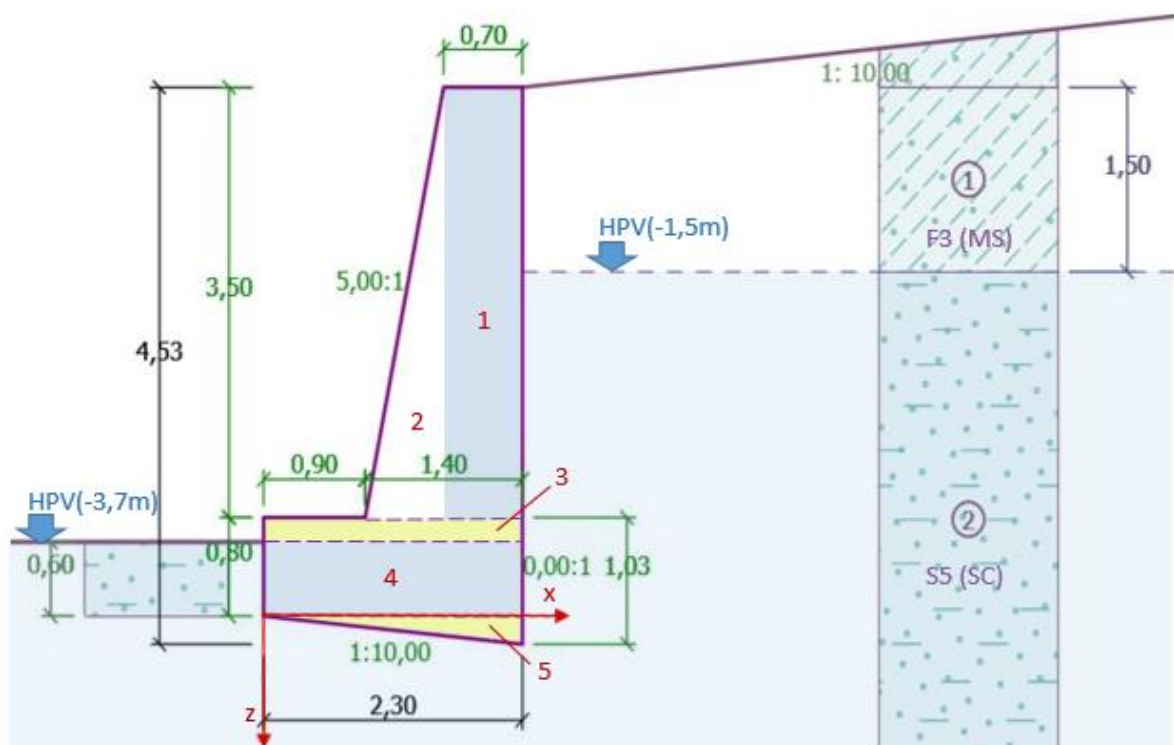
Posouzení tížné zdi

Program: Tížná zed'
Soubor: Demo_vm_01.gtz

V tomto verifikačním manuálu je uveden ru n  výpočet posouzení t  n  zdi na trvalou a seizmickou návrhovou situaci. Aby byla dok zan  shodnost výsledků, ru n  výpočet je porovnán s výsledky programu GEO5 - T  zn  zed'.

Zadání úlohy:

Na Obr. 1 je znázorněn příklad tížné zdi s šikmou základovou spárou ve sklonu 1:10. Zemní těleso je složeno se dvou vrstev a povrch terénu je upraven ve sklonu 1:10. Horní vrstva zemního tělesa o mocnosti 1,5 m je tvořena písčitou hlínou F3 (MS). Spodní vrstvu zemního tělesa tvoří jílovitý písek S5 (SC), který se nachází i před konstrukcí zdi. Hladina podzemní vody je v hloubce 1,5 m za konstrukcí a 3,7 m před konstrukcí zdi. Vlastnosti zemin (efektivní hodnoty) jsou uvedeny v tabulce 1. Materiál zdi je beton C20/25 o objemové tíže $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$. Posouzení je provedeno podle mezních stavů.



Obr. 1 Konstrukce zdi – geometrie

Zemina	Objemová tíha zeminy γ [kN/m ³]	Objemová tíha sat. zeminy γ_{sat} [kN/m ³]	Úhel vnitřního tření φ_{ef} [°]	Soudržnost zeminy c_{ef} [kPa]	Třecí úhel kce - zemina δ [°]	Poissonovo číslo ν [-]
F3 (MS)	18,00	20,00	26,50	12,00	15,00	0,35
S5 (SC)	18,50	20,50	27,00	8,00	15,00	0,35

Tabulka 1 Efektivní vlastnosti zemin

Úhel tření a soudržnost vstupují do výpočtu první fáze jako návrhové a proto jsou hodnoty z tabulky 1. redukovány součiniteli $\gamma_{m\varphi} = 1,1$ a $\gamma_{mc} = 1,4$. Návrhové hodnoty jsou uvedeny tabulce 2.

Zemina	Úhel vnitřního tření $\varphi_{ef,d}$ [°]	Soudržnost zeminy $c_{ef,d}$ [kPa]	Třecí úhel kce - zemina δ_d [°]
F3 (MS)	24,091	8,571	13,636
S5 (SC)	24,545	5,714	13,636

Tabulka 2 Návrhové parametry zemin

1. První fáze - trvalá návrhová situace

Posouzení celé zdi

Výpočet tíhy a těžiště konstrukce zdi. Zeď je rozdělena na 5 částí, které jsou znázorněny na Obr. 1. Části 4 a 5 jsou pod hladinou podzemní vody, a proto je objemová tíha betonu snížena o tíhu vody $\gamma_w = 10$ kN/m³. V tabulce 3 jsou uvedeny rozměry jednotlivých částí, tíhy a polohy těžišť.

Část	Výška h_i [m]	Šířka b_i [m]	Plocha A_i [m ²]	Obj. tíha γ_i [kN/m ³]	Tíha W_i [kN/m]	Těžiště plochy		$G_i \cdot x_i$	$G_i \cdot z_i$
						x_i [m]	z_i [m]		
1	3,500	0,700	2,450	23	56,350	1,950	-2,550	109,883	-143,693
2	3,500	0,700	1,225	23	28,175	1,367	-1,967	38,506	-55,411
3	0,200	2,300	0,460	23	10,580	1,150	-0,700	12,167	-7,406
4	0,600	2,300	1,380	13	17,940	1,150	-0,300	20,631	-5,382
5	0,230	2,300	0,265	13	3,439	1,533	0,077	5,273	0,264
Celkem					116,484	-	-	186,460	-211,628

Tabulka 3 Rozměry, tíha a poloha těžišť jednotlivých ploch

- Těžiště konstrukce zdi:

$$x_t = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^5 W_i} = \frac{186,460}{116,484} = 1,601 \text{ m}$$

$$z_t = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^5 W_i} = \frac{-211,628}{116,484} = -1,817 \text{ m}$$

Výpočet odporu zeminy na líci konstrukce. Mocnost zeminy před konstrukcí zdi je 0,6 m. Je předpokládán tlak v klidu.

- Průměrná hodnota hydraulického sklonu:
(h_w - rozdíl hladin, d_d - dráha průsaku dolů, d_u - dráha průsaku nahoru)

$$i = \frac{h_w}{d_d + d_u} = \frac{3,7 - 1,5}{3,03 + 0,6} = 0,606$$

- Součinitel zemního tlaku v klidu:
(Pro soudržné zeminy je vypočten součinitel zemního tlaku v klidu K_r podle Terzaghiho)

$$K_r = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{0,35}{1 - 0,35} = 0,538$$

- Objemová tíha zeminy v oblasti vzestupného proudění:

$$\gamma = \gamma_{sat} - \gamma_w - \gamma_w \cdot i = 20,5 - 10,0 - 10 \cdot 0,606 = 4,439 \text{ kN/m}^3$$

- Svislé geostatické napětí σ_z v úrovni základové spáry:

$$\sigma_z = \gamma \cdot h = 4,439 \cdot 0,6 = 2,663 \text{ kPa}$$

- Tlak v klidu v úrovni základové spáry:

$$\sigma_r = \sigma_z \cdot K_r = 2,663 \cdot 0,538 = 1,433 \text{ kPa}$$

- Výslednice tlaku v klidu S_r :

(Výslednice S_r působí jen ve vodorovném směru, proto platí $S_r = S_{rx}$ a $S_{rz} = 0$)

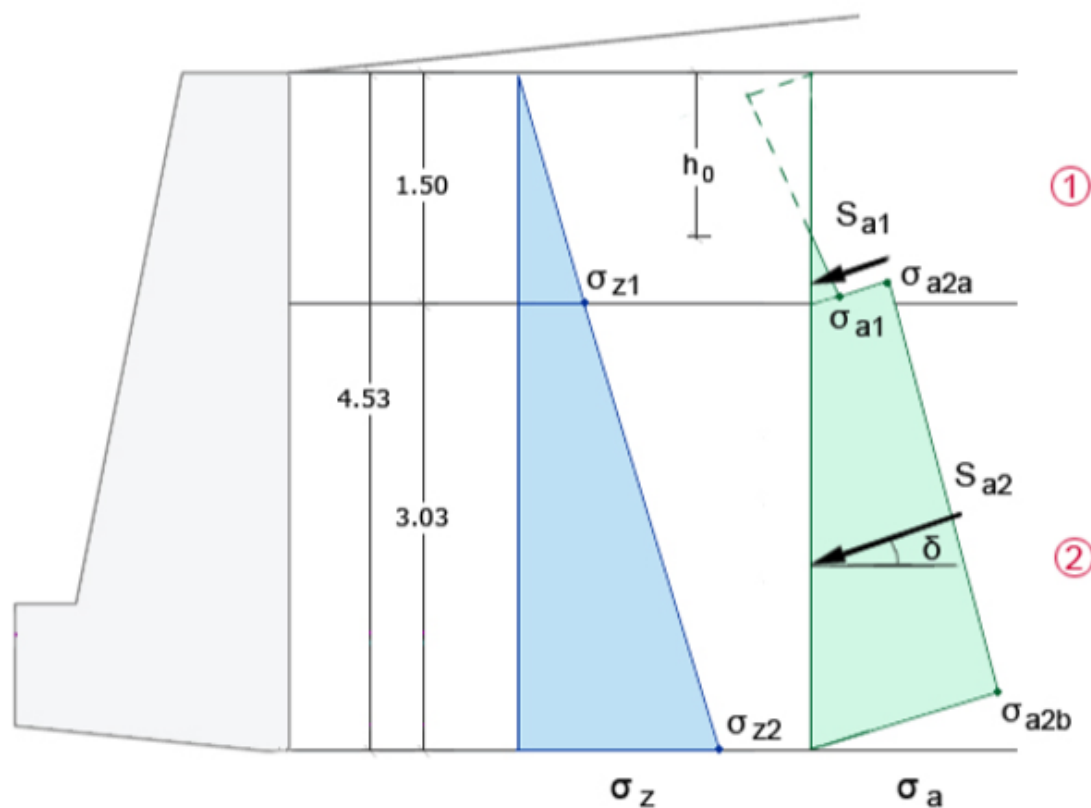
$$S_r = \frac{1}{2} \sigma_r \cdot h = \frac{1}{2} 1,433 \cdot 0,6 = 0,430 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednice S_r :

$$x = 0,000 \text{ m}$$

$$z = -\frac{1}{3} h = -\frac{1}{3} \cdot 0,6 = -0,200 \text{ m}$$

Výpočet aktivního zemního tlaku. V oblasti řešení aktivního tlaku se nachází dvě vrstvy zeminy. Konstrukce je proto rozdělena na dva úseky, kde je pak vypočten průběh geostatického napětí σ_z , aktivního tlaku σ_a a jeho výslednice S_{a1} a S_{a2} . Aktivní zemní tlak je počítán podle teorie Coulomba.



Obr. 2 Vykreslení průběhu geostatického tlaku σ_z a aktivního tlaku σ_a

- Součinitele aktivního zemního tlaku v obou vrstvách:
($\alpha = 0^\circ$ - sklon rubu zdi, $\beta \neq 0^\circ$ - sklon upraveného povrchu terénu; ve výpočtu jsou použity návrhové hodnoty parametru zemín z tabulky 2)

K_a - součinitel aktivního zemního tlaku

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2(\alpha) \cdot \cos(\alpha + \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right)^2}$$

K_{ac} - součinitel aktivního zemního tlaku vyjadřující vliv soudržnosti

$$K_{ac} = \frac{\cos(\varphi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\delta - \alpha) \cdot [1 + \operatorname{tg}(-\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta)]}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)} \cdot \frac{1}{\cos(\delta + \alpha)}$$

Výpočet pro první vrstvu:

$$\beta_1 = \beta = \arctg\left(\frac{1}{10}\right) = 5,711^\circ$$

$$K_{a1} = \frac{\cos^2(24,091 - 0)}{\cos^2(0) \cdot \cos(0 + 13,636) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(24,091 + 13,636) \cdot \sin(24,091 - 5,711)}{\cos(0 + 13,636) \cdot \cos(0 - 5,711)}}\right)^2} = 0,4097$$

$$K_{ac1} = \frac{\cos(24,091) \cdot \cos(5,711) \cdot \cos(13,636 - 0) \cdot [1 + \operatorname{tg}(-0) \cdot \operatorname{tg}(5,711)]}{1 + \sin(24,091 + 13,636 - 0 - 5,711)} \cdot \frac{1}{\cos(13,636 + 0)} = 0,5936$$

Výpočet pro druhou vrstvu:

$$\beta_2 = \arctg\left(\frac{\gamma \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{\gamma_i}\right) = \arctg\left(\frac{18,0 \cdot \operatorname{tg}(5,711)}{18,5}\right) = 5,557^\circ$$

$$K_{a2} = \frac{\cos^2(24,545 - 0)}{\cos^2(0) \cdot \cos(0 + 13,636) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(24,545 + 13,636) \cdot \sin(24,545 - 5,557)}{\cos(0 + 13,636) \cdot \cos(0 - 5,557)}}\right)^2} = 0,4016$$

$$K_{ac2} = \frac{\cos(24,545) \cdot \cos(5,557) \cdot \cos(13,636 - 0) \cdot [1 + \operatorname{tg}(-0) \cdot \operatorname{tg}(5,557)]}{1 + \sin(24,545 + 13,636 - 0 - 5,557)} \cdot \frac{1}{\cos(13,636 + 0)} = 0,5882$$

- Objemová tíha zeminy S5 (SC) v oblasti sestupného proudění:

$$\gamma_2 = \gamma_{sat} - \gamma_w + \gamma_w \cdot i = 20,5 - 10,0 + 10 \cdot 0,606 = 16,561 \text{ kN/m}^3$$

- Svislé geostatické napětí σ_z ve dvou úrovních:

$$\sigma_{z1} = \gamma_1 \cdot h_1 = 18,0 \cdot 1,5 = 27,000 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{z2} = \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 = 18,0 \cdot 1,5 + 16,561 \cdot 3,03 = 77,180 \text{ kPa}$$

- Výpočet výšky kde působí nulový aktivní zemní tlak v první úrovni:

$$h_0 = \frac{2 \cdot c_{ef,d1} \cdot K_{ac1}}{\gamma_1 \cdot K_{a1}} = \frac{2 \cdot 8,571 \cdot 0,5936}{18,0 \cdot 0,4097} = 1,380 \text{ m}$$

- Aktivní zemní tlak σ_a ve dvou úrovních:

$$\sigma_{a1} = \sigma_{z1} \cdot K_{a1} - 2 \cdot c_{ef,d1} \cdot K_{ac1} = 27,00 \cdot 0,4097 - 2 \cdot 8,571 \cdot 0,5936 = 0,886 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{a2a} = \sigma_{z1} \cdot K_{a2} - 2 \cdot c_{ef,d2} \cdot K_{ac2} = 27,00 \cdot 0,4016 - 2 \cdot 5,714 \cdot 0,5882 = 4,121 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{a2b} = \sigma_{z2} \cdot K_{a2} - 2 \cdot c_{ef,d2} \cdot K_{ac2} = 77,18 \cdot 0,4016 - 2 \cdot 5,714 \cdot 0,5882 = 24,274 \text{ kPa}$$

- Výslednice aktivního zemního tlaku S_{a1} , S_{a2} a jejich vodorovné a svislé složky:

$$S_{a1} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{a1} \cdot (h_1 - h_0) = \frac{1}{2} \cdot 0,886 \cdot (1,500 - 1,380) = 0,053 \text{ kN/m}$$

$$S_{a1,x} = S_{a1} \cdot \cos(\delta) = 0,053 \cdot \cos(13,636) = 0,052 \text{ kN/m}$$

$$S_{a1,z} = S_{a1} \cdot \sin(\delta) = 0,053 \cdot \sin(13,636) = 0,013 \text{ kN/m}$$

$$S_{a2} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{a2b} - \sigma_{a2a}) \cdot h_2 + \sigma_{a2a} \cdot h_2 = \frac{1}{2} \cdot (24,274 - 4,121) \cdot 3,03 + 4,121 \cdot 3,03 = 43,018 \text{ kN/m}$$

$$S_{a2,x} = S_{a2} \cdot \cos(\delta) = 43,018 \cdot \cos(13,636) = 41,806 \text{ kN/m}$$

$$S_{a2,z} = S_{a2} \cdot \sin(\delta) = 43,018 \cdot \sin(13,636) = 10,142 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednic aktivního zemního tlaku:

$$x_1 = 2,300 \text{ m}$$

$$z_1 = -0,8 - 2,0 - \frac{1,5 - 1,38}{3} = -2,840 \text{ m}$$

$$x_2 = 2,300 \text{ m}$$

$$z_2 = \frac{4,121 \cdot 3,03 \cdot \left(-\frac{3,03}{2} + 0,23\right) + (24,274 - 4,121) \frac{3,03}{2} \cdot \left(-\frac{3,03}{3} + 0,23\right)}{4,121 \cdot 3,03 + (24,274 - 4,121) \cdot \frac{3,03}{2}} = -0,927 \text{ m}$$

- Celková výslednice aktivního zemního tlaku S_a :

$$S_{ax} = S_{a1,x} + S_{a2,x} = 0,052 + 41,806 = 41,858 \text{ kN/m}$$

$$S_{az} = S_{a1,z} + S_{a2,z} = 0,013 + 10,142 = 10,155 \text{ kN/m}$$

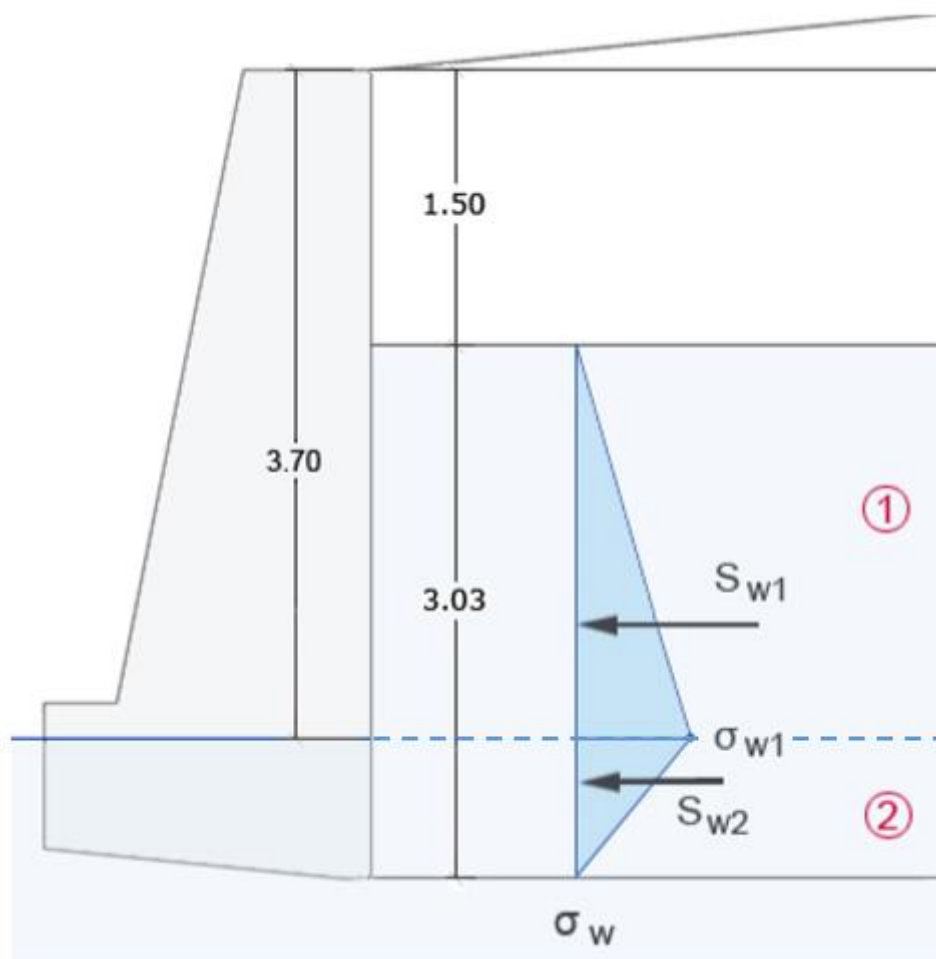
$$S_a = \sqrt{S_{ax}^2 + S_{az}^2} = \sqrt{41,858^2 + 10,155^2} = 43,072 \text{ kN/m}$$

- Celkové působíště výslednice aktivního zemního tlaku:

$$x_a = 2,300 \text{ m}$$

$$z_a = \frac{\sum_{i=1}^2 S_{ai,z} \cdot z_i}{\sum_{i=1}^2 S_{ai,z}} = \frac{0,013 \cdot (-2,840) + 10,142 \cdot (-0,927)}{10,155} = -0,929 \text{ m}$$

Výpočet tlaku vody. Pata konstrukce je založená v propustném podloží a voda pod patou může volně proudit. Proto je uvažováno působení hydrodynamického tlaku a je vypočten jeho průběh a výslednice podle obrázku Obr. 3. Oblast působení hydrodynamického tlaku je rozdělena do dvou úseků.



Obr. 3 Působení hydrodynamického tlaku σ_w

- Vodorovný tlak vody σ_w na hranici úseků (hloubka 3,7 m):

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot (3,7 - 1,5) = 10 \cdot 2,2 = 22,000 \text{ kPa}$$

- Výslednice tlaku vody S_w ve dvou úsecích:

$$S_{w1} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_w \cdot h_{w1} = \frac{1}{2} \cdot 22,000 \cdot 2,2 = 24,200 \text{ kN/m}$$

$$S_{w2} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_w \cdot h_{w2} = \frac{1}{2} \cdot 22,000 \cdot 0,83 = 9,130 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednic tlaku vody:

$$x_1 = 2,300 \text{ m}$$

$$z_1 = -0,6 - \frac{2,2}{3} = -1,333 \text{ m}$$

$$x_2 = 2,300 \text{ m}$$

$$z_2 = -0,6 + \left(\frac{0,6 + 0,23}{3} \right) = -0,323 \text{ m}$$

- Celková výslednice tlaku vody S_w :

$$S_w = \sum_1^2 S_{w,i} = 24,200 + 9,130 = 33,330 \text{ kN/m}$$

- Celková výslednice působíště tlaku vody:

$$x_w = 2,300 \text{ m}$$

$$z_w = \frac{\sum_1^2 S_{wi} \cdot z_i}{\sum_1^2 S_{wi}} = \frac{24,2 \cdot (-1,333) + 9,13 \cdot (-0,323)}{33,33} = -1,056 \text{ m}$$

Posouzení na překlpení. Při posouzení se počítají momenty k začátku souřadnicového systému (tj. levý dolní roh konstrukce zdi). Pro posouzení je vypočítán moment vzdorující M_{res} a moment klopící M_{ovr} . Vypočtené hodnoty jsou porovnány s výsledky z programu GEO5 – Tížná zeď.

- Výpočet vzdorujícího momentu M_{res} a jeho následní redukce součinitelem $\gamma_s = 1,1$:

$$M_{res} = W \cdot r_1 + S_{az} \cdot r_2 = 116,484 \cdot 1,601 + 10,155 \cdot 2,3 = 209,847 \text{ kNm/m}$$

$$\frac{M_{res}}{\gamma_s} = \frac{209,847}{1,1} = 190,770 \text{ kNm/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zeď: $M_{res} = 190,74 \text{ kNm/m}$

- Výpočet klopícího momentu M_{ovr} :

$$M_{ovr} = -0,430 \cdot 0,2 + 41,858 \cdot 0,929 + 33,33 \cdot 1,056 = 73,997 \text{ kNm/m}$$

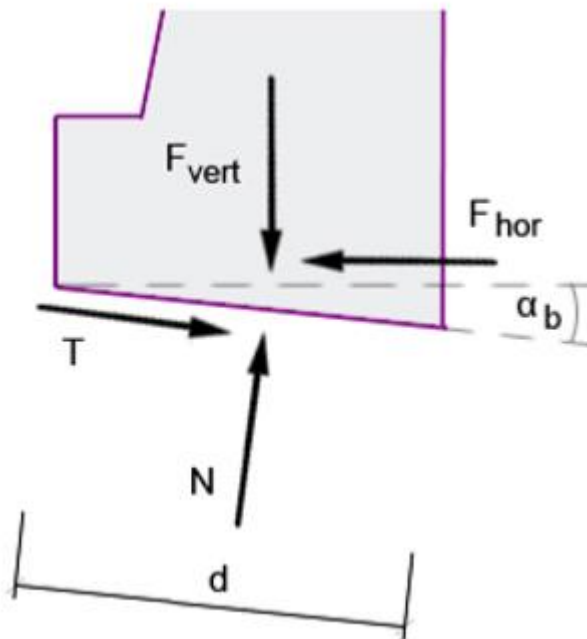
Výsledek z programu GEO5 – Tížná zeď: $M_{ovr} = 74,02 \text{ kNm/m}$

- Využití:

$$V_u = \frac{M_{ovr}}{M_{res}} \cdot 100 = \frac{73,997}{190,770} \cdot 100 = 38,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zeď: $V_u = 38,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Posouzení na posunutí v základové spáře. Posuzováno je posunutí v šikmé základové spáře se sklonem 1:10 (Obr. 4).



Obr. 4 Sily působící v základové spáře

- Celkové svislé a vodorovné sily F_{ver} a F_{hor} :

$$F_{ver} = 116,484 + 10,155 = 126,639 \text{ kN/m}$$

$$F_{hor} = -0,43 + 41,858 + 33,33 = 74,758 \text{ kN/m}$$

- Normálová síla v základové spáře N :

$$\alpha_b = 5,711^\circ$$

$$N = F_{ver} \cdot \cos(\alpha_b) + F_{hor} \cdot \sin(\alpha_b) = 126,639 \cdot \cos(5,711) + 74,758 \cdot \sin(5,711) = 133,450 \text{ kN/m}$$

- Tečná síla v základové spáře T :

$$T = -F_{ver} \cdot \sin(\alpha_b) + F_{hor} \cdot \cos(\alpha_b) = -126,639 \cdot \sin(5,711) + 74,758 \cdot \cos(5,711) = 61,785 \text{ kN/m}$$

- Excentricita normálové síly:

d - šikmá šířka paty zdi

e_{alw} - maximální dovolená excentricita

$$d = \frac{2,3}{\cos(\alpha_b)} = \frac{2,3}{\cos(5,711)} = 2,311 \text{ m}$$

$$e = \frac{M_{ovr} - M_{res} + \frac{N \cdot d}{2}}{N} = \frac{73,997 - 209,847 + \frac{133,450 \cdot 2,311}{2}}{133,450} = 0,138 \text{ m}$$

V programu je excentricita vyjádřena poměrem.

$$e_{pom} = \frac{e}{d} = \frac{0,138}{2,311} = 0,060$$

$$e_{alw} = 0,333 \geq e_{pom} = 0,060, \text{ VYHOVUJE}$$

- Vodorovná síla vzdorující H_{res} a její následná redukce součinitelem $\gamma_s = 1,1$:
 μ - součinitel redukce kontaktu základ - zemina,
 $\mu = 1,0$ (bez redukce)

F_{res} - vzdorující síla

$$F_{res} = 0 \text{ kN}$$

$$H_{res} = \left(N \cdot \operatorname{tg} \varphi_d + \frac{c_d \cdot (d - 2 \cdot e)}{\mu} \right) + F_{res} = \left(133,450 \cdot \operatorname{tg}(24,545) + \frac{5,714 \cdot (2,311 - 2 \cdot 0,138)}{1,0} \right) + 0$$

$$H_{res} = 72,571 \text{ kN} / m$$

$$\frac{H_{res}}{\gamma_s} = \frac{72,571}{1,1} = 65,974 \text{ kN} / m$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $H_{res} = 65,98 \text{ kNm} / m$

- Vodorovná síla posunující H_{act} :

$$H_{act} = T = 61,785 \text{ kN} / m$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $H_{act} = 61,79 \text{ kNm} / m$

- Využití:

$$V_u = \frac{H_{act}}{H_{res}} \cdot 100 = \frac{61,785}{65,974} \cdot 100 = 93,7 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_u = 93,6 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Únosnost základové půdy

Svislá únosnost základové půdy je daná hodnotou $R_d = 100 \text{ kPa}$, která je porovnávána s napětím v šikmé základové spáře. Vypočtené hodnoty jsou porovnány s výsledky z programu GEO5 – Tízná zed'.

- Využití – excentricita:

$$V_u = \frac{e_{pom}}{e_{alw}} \cdot 100 = \frac{0,060}{0,333} \cdot 100 = 18,0 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $V_u = 18,0 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Napětí v základové spáře σ :

$$\sigma = \frac{N}{d - 2 \cdot e} = \frac{133,450}{2,311 - 2 \cdot 0,138} = 65,577 \text{ kPa}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $\sigma = 65,57 \text{ kPa}$

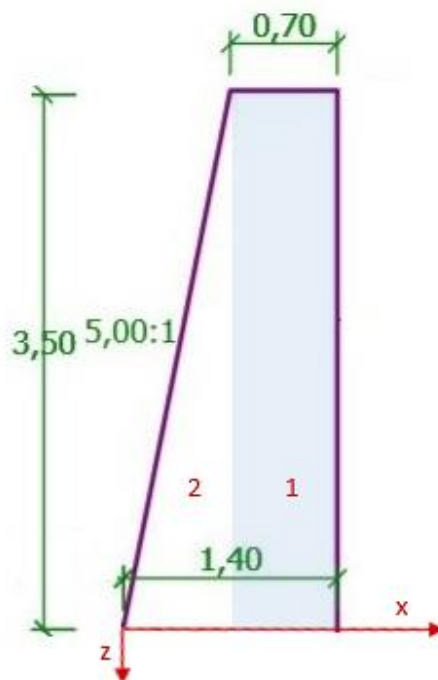
- Využití:

$$V_u = \frac{\sigma}{R_d} \cdot 100 = \frac{65,577}{100} \cdot 100 = 65,6 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $V_u = 65,6 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Dimenzování - posouzení dříku zdi

V příkladu je posuzován dřík konstrukce zdi, tj. průřez na Obr. 5. Průřez je z prostého betonu C 20/25 (charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 20000 \text{ kPa}$, střední hodnota pevnosti v tahu $f_{ctm} = 2200 \text{ kPa}$) s výškou $h = 1,40 \text{ m}$ a šířkou $b = 1,00 \text{ m}$. Posouzení průřezu z prostého betonu je provedeno dle EN 1992-1-1.



Obr. 5 Dimenzování dříku zdi – rozměry a souřadný systém

- Výpočet vlastní tíhy a těžiště průřezu:

$$W = 23 \cdot (0,7 \cdot 3,5 + \frac{1}{2} \cdot 0,7 \cdot 3,5) = 84,525 \text{ kN/m}$$

$$x_t = \frac{23 \cdot \left(0,7 \cdot 3,5 \cdot \left(\frac{0,7}{2} + 0,7 \right) + \frac{1}{2} \cdot 0,7 \cdot 3,5 \cdot \frac{2 \cdot 0,7}{3} \right)}{84,525} = 0,856 \text{ m}$$

$$z_t = \frac{23 \cdot \left(0,7 \cdot 3,5 \cdot \left(-\frac{3,5}{2} \right) + \frac{1}{2} \cdot 0,7 \cdot 3,5 \cdot \left(-\frac{3,5}{3} \right) \right)}{84,525} = -1,556 \text{ m}$$

Výpočet aktivního zemního tlaku. Oblast za posuzovaným průřezem je rozdělena do dvou úseků. V prvním úseku je aktivní tlak stejný jako v posouzení zdi. Těžiště sil je nutné přepočítat.

- Svisle geostatické napětí σ_{z2} ve druhém úseku:

$$\sigma_{z2} = \sigma_{z1} + \gamma_2 \cdot h_2 = 27,0 + 16,561 \cdot 2,0 = 60,122 \text{ kPa}$$

- Aktivní zemní tlak σ_{a2b} na konci druhého úseku:

$$\sigma_{a2b} = 0,4016 \cdot 60,122 - 2 \cdot 5,714 \cdot 0,5882 = 17,423 \text{ kPa}$$

- Výslednice aktivního tlaku S_{a2} a její vodorovná a svislá složka:
(Výslednice S_{a1} je stejná jako při posuzování zdi)

$$S_{a2} = \frac{1}{2} \cdot (17,423 - 4,121) \cdot 2,0 + 4,121 \cdot 2,0 = 21,544 \text{ kN/m}$$

$$S_{a2,x} = S_{a2} \cdot \cos(\delta) = 21,544 \cdot \cos(13,636) = 20,937 \text{ kN/m}$$

$$S_{a2,z} = S_{a2} \cdot \sin(\delta) = 21,544 \cdot \sin(13,636) = 5,079 \text{ kN/m}$$

- Výpočet působišť obou výslednic:

$$x_1 = 1,400 \text{ m}$$

$$z_1 = -\frac{1}{3} (1,50 - 1,38) - 2 = -2,040 \text{ m}$$

$$x_2 = 1,400 \text{ m}$$

$$z_2 = \frac{4,121 \cdot 2,00 \cdot \left(-\frac{2,00}{2} \right) + (17,423 - 4,121) \cdot \frac{2,00}{2} \cdot \left(-\frac{2,00}{3} \right)}{4,121 \cdot 2,00 + (17,423 - 4,121) \cdot \frac{2,00}{2}} = -0,794 \text{ m}$$

- Celková výslednice aktivního tlaku S_a a její vodorovná a svislá složka:

$$S_{ax} = S_{a1,x} + S_{a2,x} = 0,052 + 20,937 = 20,989 \text{ kN/m}$$

$$S_{az} = S_{a1,z} + S_{a2,z} = 0,013 + 5,079 = 5,092 \text{ kN/m}$$

$$S_a = \sqrt{S_{ax}^2 + S_{az}^2} = \sqrt{20,989^2 + 5,092^2} = 21,598 \text{ kN/m}$$

- Celkové působíště výslednice aktivního zemního tlaku:

$$x_a = 1,400 \text{ m}$$

$$z_a = \frac{0,052 \cdot (-2,840 + 0,800) + 20,937 \cdot (-0,794)}{0,052 + 20,937} = -0,797 \text{ m}$$

Výpočet tlaku vody. Tlak vody při posuzování dříku narůstá konstantně s hloubkou.

- Vodorovný tlak vody σ_w v hloubce 3,5 m pod upraveným povrchem terénu:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot (3,5 - 1,5) = 10 \cdot 2,0 = 20,000 \text{ kPa}$$

- Výslednice tlaku vody S_w ve dvou úsecích:

$$S_w = \frac{1}{2} \cdot \sigma_w \cdot h_w = \frac{1}{2} \cdot 20,000 \cdot 2,0 = 20,000 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednic tlaku vody:

$$x_1 = 1,400 \text{ m}$$

$$z_1 = -\frac{1}{3} \cdot 2,0 = -0,667 \text{ m}$$

Posouzení na smyk. Je vypočtena návrhová posouvající síla, normálová síla a návrhový ohybový moment, který je určen ke středu průřezu dříku konstrukce zdi a následně je spočtena smyková únosnost průřezu.

- Návrhová posouvající síla V_{Ed} :

$$V_{Ed} = S_w + S_{ax} = 20,000 + 20,989 = 40,989 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_{Ed} = 40,94 \text{ kN/m}$

- Návrhová normálová síla N_{Ed} :

$$N_{Ed} = S_{az} + W = 5,092 + 84,525 = 89,617 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $N_{Ed} = 89,57 \text{ kN/m}$

- Návrhový ohybový moment M_{Ed} :

$$M_{Ed} = -W \cdot r_1 - S_{az} \cdot r_2 + S_{ax} \cdot r_3 + S_w \cdot r_4$$

$$M_{Ed} = -84,525 \cdot (0,856 - 0,700) - 5,092 \cdot 0,700 + 20,989 \cdot 0,797 + 20,000 \cdot 0,667 = 13,311 \text{ kNm/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $M_{Ed} = 13,32 \text{ kNm/m}$

- Výpočet plochy tlačného betonu A_{cc} :

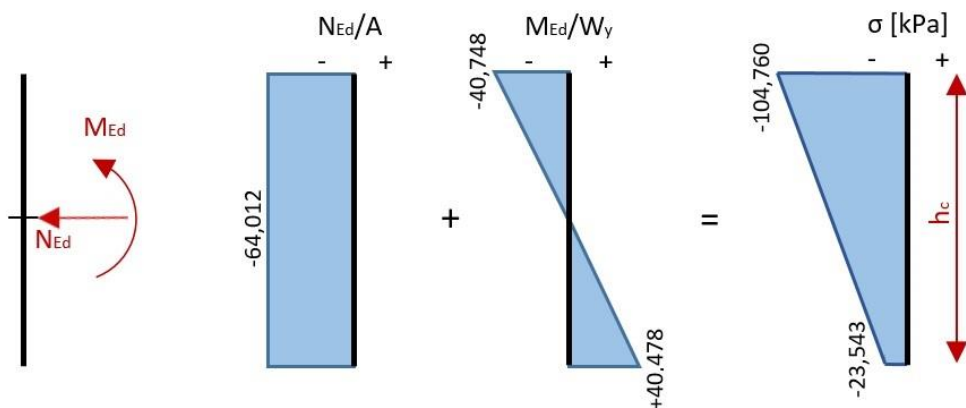
Pro zjištění plochy tlačného betonu je nutné zjistit napětí na přední a zadní hraně průřezu. Normálová síla N_{Ed} vyvoluje tlakové napětí, a proto bude uvažovaná jako záporná.

Napětí od normálové síly N_{Ed} :

$$\frac{N}{A} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-89,617}{1,00 \cdot 1,40} = -64,012 \text{ kPa}$$

Napětí od návrhového momentu M_{Ed} :

$$\pm \frac{M}{W} = \pm \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{13,311}{\frac{1}{6} \cdot 1,00 \cdot 1,40^2} = \pm 40,748 \text{ kPa}$$



Obr. 6 Průběh napětí na průřezu dříku zdi

Z obr. 6 je vidět, že je tlačný celý průřez dříku zdi.

$$A_{cc} = b \cdot h_c = 1,00 \cdot 1,40 = 1,40 \text{ m}^2$$

- Napětí na ploše průřezu σ_{cp} :

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{cc}} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{89,617}{1,400} \cdot \frac{1}{1000} = 0,064 \text{ MPa}$$

- Výpočtová pevnost betonu v tlaku f_{cd} :

$$f_{cd} = \alpha_{cc,pl} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,8 \cdot \frac{20,00}{1,5} = 10,667 \text{ MPa}$$

- Výpočtová pevnost betonu v tahu f_{ctd} :

$f_{ctk,005}$ - dolní hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu

$$f_{ctd} = \alpha_{ct,pl} \cdot \frac{f_{ctk,005}}{\gamma_c} = \alpha_{ct,pl} \cdot \frac{0,7 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c} = 0,8 \cdot \frac{0,7 \cdot 2,20}{1,5} = 0,821 \text{ MPa}$$

- Limitní napětí:

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd} \cdot (f_{cd} + f_{ctd})} = 10,667 - 2 \cdot \sqrt{0,821 \cdot (10,667 + 0,821)} = 4,525 \text{ MPa}$$

- Smyková pevnost f_{cvd} :

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd} - \left(\frac{\max(0, \sigma_{cp} - \sigma_{c,lim})}{2} \right)^2} = \sqrt{0,821^2 + 0,064 \cdot 0,821 - \left(\frac{\max(0; 0,064 - 4,525)}{2} \right)^2}$$

$$f_{cvd} = 0,852 \text{ MPa}$$

- Návrhová smyková únosnost V_{Rd} :

$$k = 1,5$$

$$V_{Rd} = \frac{f_{cvd} \cdot A_{cc}}{k} \cdot 1000 = \frac{0,852 \cdot 1,4}{1,5} \cdot 1000 = 795,200 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_{Rd} = 795,74 \text{ kN/m}$

- Využití:

$$V_u = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \cdot 100 = \frac{40,989}{795,200} \cdot 100 = 5,2 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_u = 5,1 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Posouzení na tlak a ohyb.

- Výpočet excentricity zatížení e :

$$e = \text{Max} \left(\text{abs} \left(\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right); \frac{h}{30}; 0,02 \text{ m} \right) = \text{Max} \left(\text{abs} \left(\frac{13,311}{89,617} \right); \frac{1,400}{30}; 0,02 \right) = \text{Max}(0,149; 0,047; 0,02)$$

$$e = 0,149 \text{ m}$$

- Efektivní výška průřezu χ :

$$\chi = h - 2 \cdot e = 1,400 - 2 \cdot 0,149 = 1,102 \text{ m}$$

- Návrhová normálová únosnost N_{Rd} :

$$\eta = 1,0 - \frac{\text{Max}(f_{ck}; 50) - 50}{200} = 1,0 - \frac{\text{Max}(20; 50) - 50}{200} = 1,0 - \frac{50 - 50}{200} = 1,0$$

$$N_{Rd} = (b \cdot \chi \cdot \eta \cdot f_{cd}) \cdot 1000 = (1,0 \cdot 1,102 \cdot 1,0 \cdot 10,667) \cdot 1000 = 11754,667 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $N_{Rd} = 11758,60 \text{ kNm/m}$

- Využití:

$$V_u = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \cdot 100 = \frac{89,617}{11754,667} \cdot 100 = 0,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_u = 0,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$

2. Druhá fáze - seizmická návrhová situace

Posouzení celé zdi

V druhé fázi výpočtu je posuzovaná stejná konstrukce zdi s vlivem zemětřesení. Výpočet účinku zemětřesení je proveden dle teorie Mononobe-Okabe. Do výpočtu vstupuje faktor vodorovné akcelerace $k_h = 0,05$ (setrvačná síla působí nepříznivě ve vodorovném směru) a faktor svislé akcelerace $k_v = -0,04$ (setrvačná síla působí svisle dolů). Součinitele pro redukci parametrů zemin a pro redukci únosnosti jsou rovny 1,0. Návrhové hodnoty zemin jsou proto shodné s charakteristickými hodnotami z tabulky 1.

Výpočet tíhy konstrukce. Pro stanovení vodorovné a svislé složky síly od zemětřesení je nutné spočítat vlastní tíhu konstrukce s vyloučením vztlaku vody. Výpočet je uveden v tabulce 4.

Část	Výška h_i [m]	Šířka b_i [m]	Plocha A_i [m ²]	Obj. tíha γ_i [kN/m ³]	Tíha W_i [kN/m]	Těžiště plochy		$G_i \cdot x_i$	$G_i \cdot z_i$
						x_i [m]	z_i [m]		
1	3,500	0,700	2,450	23	56,350	1,950	-2,550	109,883	-143,693
2	3,500	0,700	1,225	23	28,175	1,367	-1,967	38,506	-55,411
3	0,200	2,300	0,460	23	10,580	1,150	-0,700	12,167	-7,406
4	0,600	2,300	1,380	23	31,740	1,150	-0,300	36,501	-9,522
5	0,230	2,300	0,265	23	6,095	1,533	0,077	9,344	0,469
Celkem					132,940	-	-	206,407	-215,563

Tabulka 4 Rozměry, tíha a poloha těžišť jednotlivých ploch při účinku zemětřesení

- Těžiště konstrukce zdi:

$$x_t = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^5 W_i} = \frac{206,407}{132,940} = 1,553 \text{ m}$$

$$z_t = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^5 W_i} = \frac{-215,563}{132,940} = -1,622 \text{ m}$$

- Vodorovná a svislá složka síly od zemětřesení:

$$W_{eq,x} = k_h \cdot W = 0,05 \cdot 132,940 = 6,647 \text{ kN/m}$$

$$W_{eq,z} = -k_v \cdot W = -(-0,04) \cdot 132,940 = -5,318 \text{ kN/m}$$

Výpočet odporu zeminy na líci konstrukce. Tlak v klidu na líci konstrukce zdi je uvažován stejná jako v první fázi výpočtu. Výslednice tlaku v klidu je $S_r = 0,430 \text{ kN/m}$.

Výpočet aktivního zemního tlaku. Průběh geostatického napětí zůstává stejný jako v první fázi výpočtu. Do výpočtu pro koeficienty aktivního zemního tlaku K_a a K_{ac} vstupují charakteristické hodnoty zemin. Je propočten aktivní zemní tlak σ_a a výslednice aktivního zemního tlaku S_a .

- Průběh geostatického napětí:

$$\sigma_{z1} = 27,000 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{z2} = 77,180 \text{ kPa}$$

- Součinitele aktivního zemního tlaku v obou vrstvách:
($\alpha = 0^\circ$ - sklon rubu zdi, $\beta \neq 0^\circ$ - sklon upraveného povrchu terénu; ve výpočtu jsou použity charakteristické hodnoty parametru zemin z tabulky 1)

Výpočet pro první vrstvu:

$$\beta_1 = \beta = \arctg\left(\frac{1}{10}\right) = 5,711^\circ$$

$$K_{a1} = \frac{\cos^2(26,5 - 0)}{\cos^2(0) \cdot \cos(0 + 15,0) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(26,5 + 15,0) \cdot \sin(26,5 - 5,711)}{\cos(0 + 15,0) \cdot \cos(0 - 5,711)}}\right)^2} = 0,3711$$

$$K_{ac1} = \frac{\cos(26,5) \cdot \cos(5,711) \cdot \cos(15,0 - 0) \cdot [1 + \tg(-0) \cdot \tg(5,711)]}{1 + \sin(26,5 + 15,0 - 0 - 5,711)} \cdot \frac{1}{\cos(15,0 + 0)} = 0,5619$$

Výpočet pro druhou vrstvu:

$$\beta_2 = \arctg\left(\frac{\gamma \cdot \tg(\beta)}{\gamma_i}\right) = \arctg\left(\frac{18,0 \cdot \tg(5,711)}{18,5}\right) = 5,557^\circ$$

$$K_{a2} = \frac{\cos^2(27,0 - 0)}{\cos^2(0) \cdot \cos(0 + 15,0) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(27,0 + 15,0) \cdot \sin(27,0 - 5,557)}{\cos(0 + 15,0) \cdot \cos(0 - 5,557)}}\right)^2} = 0,3631$$

$$K_{ac2} = \frac{\cos(27,0) \cdot \cos(5,557) \cdot \cos(15,0 - 0) \cdot [1 + \tg(-0) \cdot \tg(5,557)]}{1 + \sin(27,0 + 15,0 - 0 - 5,557)} \cdot \frac{1}{\cos(15,0 + 0)} = 0,5563$$

- Výpočet výšky kde působí nulový aktivní zemní tlak v první úrovni:

$$h_0 = \frac{2 \cdot c_{ef,1} \cdot K_{ac1}}{\gamma_1 \cdot K_{a1}} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 0,5619}{18,0 \cdot 0,3711} = 2,019 \text{ m} > 1,50 \text{ m}$$

- Aktivní zemní tlak σ_a je počítán jen pro druhou úroveň (v první úrovni je uvažován nulový):

$$\sigma_{a2a} = \sigma_{z1} \cdot K_{a2} - 2 \cdot c_{ef,d2} \cdot K_{ac2} = 27,00 \cdot 0,3631 - 2 \cdot 8,0 \cdot 0,5563 = 0,903 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{a2b} = \sigma_{z2} \cdot K_{a2} - 2 \cdot c_{ef,d2} \cdot K_{ac2} = 77,18 \cdot 0,3631 - 2 \cdot 8,0 \cdot 0,5563 = 19,123 \text{ kPa}$$

- Výslednice aktivního zemního tlaku S_a a jejich vodorovné a svislé složky:

$$S_a = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{a2b} - \sigma_{a2a}) \cdot h_2 + \sigma_{a2a} \cdot h_2 = \frac{1}{2} \cdot (19,123 - 0,903) \cdot 3,03 + 0,903 \cdot 3,03 = 30,339 \text{ kN/m}$$

$$S_{ax} = S_a \cdot \cos(\delta) = 30,339 \cdot \cos(15,0) = 29,306 \text{ kN/m}$$

$$S_{az} = S_a \cdot \sin(\delta) = 30,339 \cdot \sin(15,0) = 7,852 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednic aktivního zemního tlaku:

$$x = 2,300 \text{ m}$$

$$z = \frac{0,903 \cdot 3,03 \cdot \left(-\frac{3,03}{2} + 0,23\right) + (19,123 - 0,903) \cdot \frac{3,03}{2} \cdot \left(-\frac{3,03}{3} + 0,23\right)}{0,903 \cdot 3,03 + (19,123 - 0,903) \cdot \frac{3,03}{2}} = -0,826 \text{ m}$$

Zvýšení aktivního zemního tlaku vlivem zemětřesení. Zemětřesení zvyšuje účinek aktivního zemního tlaku.

- Výpočet seizmického úhlu setrvačnosti v první vrstvě (bez vlivu vázané vody):

$$\psi_1 = \arctg\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) = \arctg\left(\frac{0,05}{1 - (-0,04)}\right) = 2,752^\circ$$

- Výpočet seizmického úhlu setrvačnosti v druhé vrstvě (s vlivem vázané vody):

$$\psi_2 = \arctg\left(\frac{\gamma_{sat,2} \cdot k_h}{\gamma_{su,2} \cdot (1 - k_v)}\right) = \arctg\left(\frac{\gamma_{sat,2} \cdot k_h}{(\gamma_{sat,2} - \gamma_w) \cdot (1 - k_v)}\right) = \arctg\left(\frac{20,5 \cdot 0,05}{(20,5 - 10) \cdot [1 - (-0,04)]}\right) = 5,362^\circ$$

- Výpočet součinitele K_{ae} pro aktivní zemní tlak v obou úrovních:

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\varphi - \psi - \alpha)}{\cos \psi \cdot \cos^2(\alpha) \cdot \cos(\psi + \alpha + \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \psi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta + \psi) \cdot \cos(\alpha - \beta)}}\right)^2}$$

$$K_{ae1} = \frac{\cos^2(26,5 - 2,752 - 0)}{\cos(2,752) \cdot \cos^2(0) \cdot \cos(2,752 + 0 + 15,0) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(26,5 + 15,0) \cdot \sin(26,5 - 2,752 - 5,711)}{\cos(0 + 15,0 + 2,752) \cdot \cos(0 - 5,711)}}\right)^2}$$

$$K_{ae1} = 0,4102$$

$$K_{ae2} = \frac{\cos^2(27,0 - 5,362 - 0)}{\cos(5,362) \cdot \cos^2(0) \cdot \cos(2,752 + 0 + 15,0) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(27,0 + 15,0) \cdot \sin(27,0 - 5,362 - 5,557)}{\cos(0 + 15,0 + 5,362) \cdot \cos(0 - 5,557)}}\right)^2}$$

$$K_{ae2} = 0,4429$$

- Výpočet svislého tlaku od seizmických účinků σ_d . Svislý tlak je počítán od spodu konstrukce:
 $\sigma_{d2} = 0,000 \text{ kPa}$ - svislý tlak v základové spáře

$$\sigma_{d1} = \gamma_2 \cdot h_2 \cdot (1 - k_v) = 16,561 \cdot 3,03 \cdot [1 - (-0,04)] = 52,187 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{d0} = \sigma_{d1} + \gamma_1 \cdot h_1 \cdot (1 - k_v) = 52,187 + 18,0 \cdot 1,50 \cdot [1 - (-0,04)] = 80,267 \text{ kPa}$$

- Výpočet přírůstku aktivního tlaku od seizmických účinků v obou vrstvách:

$$\sigma_{ae,1a} = \sigma_{d0} \cdot (K_{ae1} - K_{a1}) = 80,267 \cdot (0,4102 - 0,3711) = 3,138 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{ae,1b} = \sigma_{d1} \cdot (K_{ae1} - K_{a1}) = 52,187 \cdot (0,4102 - 0,3711) = 2,041 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{ae,2a} = \sigma_{d1} \cdot (K_{ae2} - K_{a2}) = 52,187 \cdot (0,4429 - 0,3631) = 4,165 \text{ kPa}$$

- Výslednice přírůstku aktivního tlaku od seizmických účinků S_{ae} v obou vrstvách:

$$S_{ae1} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{ae,1a} - \sigma_{ae,1b}) \cdot h_1 + \sigma_{ae,1b} \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot (3,138 - 2,041) \cdot 1,50 + 2,041 \cdot 1,50 = 3,884 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae1x} = S_{ae1} \cdot \cos(\delta) = 3,884 \cdot \cos(15,0) = 3,752 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae1z} = S_{ae1} \cdot \sin(\delta) = 3,884 \cdot \sin(15,0) = 1,005 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae2} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{ae,2a} \cdot h_2 = \frac{1}{2} \cdot 4,165 \cdot 3,03 = 6,310 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae2x} = S_{ae2} \cdot \cos(\delta) = 6,310 \cdot \cos(15,0) = 6,095 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae2z} = S_{ae2} \cdot \sin(\delta) = 6,310 \cdot \sin(15,0) = 1,633 \text{ kN/m}$$

- Výpočet výslednic aktivních tlaků od seizmických účinků:

$$x_1 = 2,300 \text{ m}$$

$$z_1 = \frac{2,041 \cdot 1,50 \cdot \left(-\frac{1,50}{2} - (3,03 - 0,23)\right) + (3,138 - 2,041) \cdot \frac{1,50}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot (-1,50) - (3,03 - 0,23)\right)}{2,041 \cdot 1,50 + (3,138 - 2,041) \cdot \frac{1,50}{2}}$$

$$z_1 = -3,603 \text{ m}$$

$$x_2 = 2,300 \text{ m}$$

$$z_2 = \frac{2}{3} \cdot (-3,03) - 0,23 = -1,790 \text{ m}$$

- Celková výslednice přírůstku aktivního tlaku S_{ae} a její vodorovná a svislá složka:

$$S_{ae,x} = S_{ae1x} + S_{ae2x} = 3,752 + 6,095 = 9,847 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae,z} = S_{ae1z} + S_{ae2z} = 1,005 + 1,633 = 2,638 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae} = \sqrt{S_{ae,x}^2 + S_{ae,z}^2} = \sqrt{9,847^2 + 2,638^2} = 10,194 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednice aktivního tlaku S_{ae} :

$$x_{ae} = 2,300 \text{ m}$$

$$z_{ae} = \frac{3,752 \cdot (-3,603) + 6,095 \cdot (-1,790)}{3,752 + 6,095} = -2,481 \text{ m}$$

Výpočet tlaku vody. Tlak vody na konstrukci je stejný jako v první fázi, tj. ve fázi posouzení celé konstrukce. Výslednice tlaku vody je $S_w = 33,330 \text{ kN/m}$ se stejným působíštěm jako v první fázi.

Výpočet hydrodynamického tlaku vody na vnější líc. Působení hydrodynamického tlaku od seizmického zatížení se počítá od nižší hladiny vody po dolní okraj konstrukce zdi. Působíště je na rubové straně konstrukce.

- Výpočet výslednice hydrodynamického tlaku od seizmického zatížení P_{wd} :

$$H = 0,6 + 0,23 = 0,83 \text{ m}$$

$$P_{wd} = \frac{7}{12} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot H^2 = \frac{7}{12} \cdot 0,05 \cdot 10,0 \cdot 0,83^2 = 0,201 \text{ kN/m}$$

- Výpočet působíště výslednice hydrodynamického tlaku od seizmického zatížení:

$$x = 2,300 \text{ m}$$

$$z = y_{wd} - 0,23 = (0,4 \cdot H) - 0,23 = (0,4 \cdot 0,83) - 0,23 = 0,102 \text{ m}$$

Posouzení na překlopení. Při posouzení se počítají momenty k začátku souřadnicového systému (tj. levý dolní roh konstrukce zdi). Pro posouzení je vypočítán moment vzdorující M_{res} a moment klopící M_{ovr} . Vypočtené hodnoty jsou porovnány s výsledky z programu GEO5 – Tížná zeď.

- Výpočet vzdorujícího momentu M_{res} :

$$M_{res} = W \cdot r_1 + W_{eq,z} \cdot r_2 + S_{az} \cdot r_3 + S_{ae,z} \cdot r_4 = 116,484 \cdot 1,601 + 5,318 \cdot 1,553 + 7,852 \cdot 2,300 + 2,638 \cdot 2,300$$

$$M_{res} = 116,484 \cdot 1,601 + 5,318 \cdot 1,553 + 7,852 \cdot 2,300 + 2,638 \cdot 2,300$$

$$M_{res} = 218,877 \text{ kNm} / m$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $M_{res} = 218,86 \text{ kNm} / m$

- Výpočet klopícího momentu M_{ovr} :

$$M_{ovr} = -S_r \cdot r_1 + W_{eq,z} \cdot r_2 + S_{ax} \cdot r_3 + S_{ae,x} \cdot r_4 + S_w \cdot r_5 + P_{wd} \cdot r_6$$

$$M_{ovr} = -0,43 \cdot 0,200 + 6,647 \cdot 1,622 + 29,306 \cdot 0,826 + 9,847 \cdot 2,481 + 33,330 \cdot 1,056 + 0,201 \cdot 0,102$$

$$M_{ovr} = 94,550 \text{ kNm} / m$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $M_{ovr} = 94,59 \text{ kNm} / m$

- Využití:

$$V_u = \frac{M_{ovr}}{M_{res}} \cdot 100 = \frac{94,550}{218,877} \cdot 100 = 43,2 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_u = 43,2 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Posouzení na posunutí v základové spáře. Posuzováno je posunutí v šikmé základově spáře se sklonem 1:10.

- Celkové svislé a vodorovné síly F_{ver} a F_{hor} :

$$F_{ver} = 116,484 + 5,318 + 7,852 + 2,638 = 132,292 \text{ kN} / m$$

$$F_{hor} = -0,43 + 6,647 + 29,606 + 9,847 + 33,33 = 79,000 \text{ kN} / m$$

- Normálová síla v základové spáře N :

$$\alpha_b = 5,711^\circ$$

$$N = F_{ver} \cdot \cos(\alpha_b) + F_{hor} \cdot \sin(\alpha_b) = 132,292 \cdot \cos(5,711) + 79,000 \cdot \sin(5,711) = 139,496 \text{ kN} / m$$

- Tečná síla v základové spáře T :

$$T = -F_{ver} \cdot \sin(\alpha_b) + F_{hor} \cdot \cos(\alpha_b) = -132,292 \cdot \sin(5,711) + 79,000 \cdot \cos(5,711) = 65,444 \text{ kN} / m$$

- Excentricita normálové síly:

d - šikmá šířka paty zdi

e_{alw} - maximální dovolená excentricita

$$d = \frac{2,3}{\cos(\alpha_b)} = \frac{2,3}{\cos(5,711)} = 2,311 \text{ m}$$

$$e = \frac{M_{ovr} - M_{res} + \frac{N \cdot d}{2}}{N} = \frac{94,550 - 218,877 + \frac{139,496 \cdot 2,311}{2}}{139,496} = 0,264 \text{ m}$$

V programu je excentricita vyjádřena poměrem.

$$e_{pom} = \frac{e}{d} = \frac{0,264}{2,311} = 0,114$$

$$e_{alw} = 0,333 \geq e_{pom} = 0,114, \text{ VYHOVUJE}$$

- Vodorovná síla vzdorující H_{res} :

μ - součinitel redukce kontaktu základ - zemina,
 $\mu = 1,0$ (bez redukce)

F_{res} - vzdorující síla

$$F_{res} = 0 \text{ kN}$$

$$H_{res} = \left(N \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ef,2} + \frac{c_{ef,2} \cdot (d - 2 \cdot e)}{\mu} \right) + F_{res} = \left(139,496 \cdot \operatorname{tg}(27,0) + \frac{8,00 \cdot (2,311 - 2 \cdot 0,264)}{1,0} \right) + 0$$

$$H_{res} = 85,341 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $H_{res} = 85,33 \text{ kNm/m}$

- Vodorovná síla posunující H_{act} :

$$H_{act} = T = 65,444 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $H_{act} = 65,37 \text{ kNm/m}$

- Využití:

$$V_u = \frac{H_{act}}{H_{res}} \cdot 100 = \frac{65,444}{85,341} \cdot 100 = 76,7 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $V_u = 76,6 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Únosnost základové půdy

Svislá únosnost základové půdy je daná hodnotou $R_d = 100 \text{ kPa}$, která je porovnávána s napětím v šikmé základové spáře. Vypočtené hodnoty jsou porovnány s výsledky z programu GEO5 – Tížná zed'.

- Využití – excentricita:

$$V_u = \frac{e_{pom}}{e_{alw}} \cdot 100 = \frac{0,114}{0,333} \cdot 100 = 34,2 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $V_u = 34,6 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Napětí v základové spáře σ :

$$\sigma = \frac{N}{d - 2 \cdot e} = \frac{139,496}{2,311 - 2 \cdot 0,264} = 78,237 \text{ kPa}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $\sigma = 78,29 \text{ kPa}$

- Využití:

$$V_u = \frac{\sigma}{R_d} \cdot 100 = \frac{78,237}{100} \cdot 100 = 78,2 \%, \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $V_u = 78,3 \%, \text{ VYHOVUJE}$

Dimenzování - posouzení dříku zdi

V příkladu je posuzován dřík konstrukce zdi, tj. průřez na obr. 5. Vlastnosti betonu jsou obdobné jak v první fázi výpočtu. Průřez je z prostého betonu C 20/25 (charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 20000 \text{ kPa}$, střední hodnota pevnosti v $f_{ctm} = 2200 \text{ kPa}$) s výškou $h = 1,40 \text{ m}$ a šířkou $b = 1,00 \text{ m}$. Posouzení průřezu z prostého betonu je provedeno dle EN 1992-1-1.

- Výpočet vlastní tíhy a těžiště průřezu je přebráno s první fáze výpočtu:

$$W = 84,525 \text{ kN/m}$$

$$x_t = 0,856 \text{ m}$$

$$z_t = -1,556 \text{ m}$$

- Vodorovná a svislá složka síly od zemětřesení (těžiště je totožné s těžištěm vlastní tíhy uvažované části konstrukce):

$$W_{eq,x} = k_h \cdot W = 0,05 \cdot 84,525 = 4,226 \text{ kN/m}$$

$$W_{eq,z} = -k_v \cdot W = -(-0,04) \cdot 84,525 = -3,381 \text{ kN/m}$$

Výpočet aktivního zemního tlaku. Oblast za posuzovaným průřezem je rozdělená do dvou úseků. Těžiště sil je nutné přepočítat.

- Svisle geostatické napětí σ_{z1} a σ_{z2} v prvním a druhém úseku:

$$\sigma_{z1} = \gamma_1 \cdot h_2 = 18,0 \cdot 1,5 = 27,000 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{z2} = \sigma_{z1} + \gamma_2 \cdot h_2 = 27,0 + 16,561 \cdot 2,0 = 60,122 \text{ kPa}$$

- Aktivní zemní tlak je v první vrstvě zanedbán a jsou počítány jen hodnoty σ_{a2a} a σ_{a2b} :

$$\sigma_{a2a} = 0,3631 \cdot 27,000 - 2 \cdot 8,0 \cdot 0,5563 = 0,903 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{a2b} = 0,3631 \cdot 60,122 - 2 \cdot 8,0 \cdot 0,5563 = 12,929 \text{ kPa}$$

- Celková výslednice aktivního tlaku S_a a její vodorovná a svislá složka: (v první vrstvě je aktivní tlak zanedbán)

$$S_a = \frac{1}{2} \cdot (12,929 - 0,903) \cdot 2,0 + 0,903 \cdot 2,0 = 13,832 \text{ kN/m}$$

$$S_{a,x} = S_{a2} \cdot \cos(\delta) = 13,832 \cdot \cos(15,0) = 13,360 \text{ kN/m}$$

$$S_{a,z} = S_{a2} \cdot \sin(\delta) = 13,832 \cdot \sin(15,0) = 3,580 \text{ kN/m}$$

- Celkové působíště výslednice aktivního tlaku:

$$x = 1,400 \text{ m}$$

$$z = \frac{0,903 \cdot 2,00 \cdot \left(-\frac{2,00}{2}\right) + (12,929 - 0,903) \cdot \frac{2,00}{2} \cdot \left(-\frac{2,00}{3}\right)}{0,903 \cdot 2,00 + (12,929 - 0,903) \cdot \frac{2,00}{2}} = -0,710 \text{ m}$$

Zvýšení aktivního zemního tlaku vlivem zemětřesení. Zemětřesení zvyšuje účinek aktivního zemního tlaku.

- Výpočet svislého tlaku od seizmických účinků σ_d . Svislý tlak je počítán od dolní části dříku: $\sigma_{d2} = 0,000 \text{ kPa}$ - svislý tlak v dolní úrovni dříku zdi

$$\sigma_{d1} = \gamma_2 \cdot (h_2) \cdot (1 - k_v) = 16,561 \cdot (2,00) \cdot [1 - (-0,04)] = 34,447 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{d0} = \sigma_{d1} + \gamma_1 \cdot h_1 \cdot (1 - k_v) = 34,447 + 18,0 \cdot 1,50 \cdot [1 - (-0,04)] = 62,527 \text{ kPa}$$

- Výpočet přírůstku aktivního tlaku od seizmických účinků v obou vrstvách:

$$\sigma_{ae,1a} = \sigma_{d0} \cdot (K_{ae1} - K_{a1}) = 62,527 \cdot (0,4102 - 0,3711) = 2,445 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{ae,1b} = \sigma_{d1} \cdot (K_{ae1} - K_{a1}) = 34,447 \cdot (0,4102 - 0,3711) = 1,347 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{ae,2a} = \sigma_{d1} \cdot (K_{ae2} - K_{a2}) = 34,447 \cdot (0,4429 - 0,3631) = 2,749 \text{ kPa}$$

- Výslednice přírůstku aktivního tlaku od seizmických účinků S_{ae} v obou vrstvách:

$$S_{ae1} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{ae,1a} - \sigma_{ae,1b}) \cdot h_1 + \sigma_{ae,1b} \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot (2,445 - 1,347) \cdot 1,50 + 1,347 \cdot 1,50 = 2,844 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae1x} = S_{ae1} \cdot \cos(\delta) = 2,844 \cdot \cos(15,0) = 2,747 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae1z} = S_{ae1} \cdot \sin(\delta) = 2,844 \cdot \sin(15,0) = 0,736 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae2} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{ae,2a} \cdot h_2 = \frac{1}{2} \cdot 2,749 \cdot 2,00 = 2,749 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae2x} = S_{ae2} \cdot \cos(\delta) = 2,749 \cdot \cos(15,0) = 2,655 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae2z} = S_{ae2} \cdot \sin(\delta) = 2,749 \cdot \sin(15,0) = 0,711 \text{ kN/m}$$

- Výpočet výslednic aktivních tlaků od seizmických účinků:

$$x_1 = 1,400 \text{ m}$$

$$z_1 = \frac{1,347 \cdot 1,50 \cdot \left(-\frac{1,50}{2} - 2,00\right) + (2,445 - 1,347) \frac{1,50}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot (-1,50) - 2,00\right)}{1,347 \cdot 1,50 + (2,445 - 1,347) \cdot \frac{1,50}{2}} = -2,824 \text{ m}$$

$$x_2 = 1,400 \text{ m}$$

$$z_2 = \frac{2}{3} \cdot (-2,0) = -1,333 \text{ m}$$

- Celková výslednice přírůstku aktivního tlaku S_{ae} a její vodorovná a svislá složka:

$$S_{ae,x} = S_{ae1x} + S_{ae2x} = 2,747 + 2,655 = 5,402 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae,z} = S_{ae1z} + S_{ae2z} = 0,736 + 0,711 = 1,447 \text{ kN/m}$$

$$S_{ae} = \sqrt{S_{ae,x}^2 + S_{ae,z}^2} = \sqrt{5,402^2 + 1,447^2} = 5,592 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednice aktivního tlaku S_{ae} :

$$x_{ae} = 1,400 \text{ m}$$

$$z_{ae} = \frac{2,747 \cdot (-2,824) + 2,655 \cdot (-1,333)}{2,747 + 2,655} = -2,091 \text{ m}$$

Výpočet tlaku vody. Tlak vody při posuzování dříku narůstá konstantně s hloubkou.

- Vodorovný tlak vody σ_w v hloubce 3,5 m pod upraveným povrchem terénu:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot (3,5 - 1,5) = 10 \cdot 2,0 = 20,000 \text{ kPa}$$

- Výslednice tlaku vody S_w ve dvou úsecích:

$$S_w = \frac{1}{2} \cdot \sigma_w \cdot h_w = \frac{1}{2} \cdot 20,000 \cdot 2,0 = 20,000 \text{ kN/m}$$

- Působíště výslednic tlaku vody

$$x_1 = 1,400 \text{ m}$$

$$z_1 = -\frac{2}{3} = -0,667 \text{ m}$$

Posouzení na smyk. Je vypočtena návrhová posouvající síla, normálová síla a návrhový ohybový moment, který je určen ke středu průřezu dříku konstrukce zdi a následně je spočtena smyková únosnost průřezu.

- Návrhová posouvající síla V_{Ed} :

$$V_{Ed} = S_w + S_{a,x} + S_{ae,x} + W_{eq,x} = 20,000 + 13,360 + 5,402 + 4,226 = 42,988 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_{Ed} = 42,95 \text{ kN/m}$

- Návrhová normálová síla N_{Ed} :

$$N_{Ed} = S_{a,z} + S_{ae,z} + W + W_{eq,z} = 3,580 + 1,447 + 84,525 + 3,381 = 92,933 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $N_{Ed} = 92,89 \text{ kN/m}$

- Návrhový ohybový moment M_{Ed} :

$$M_{Ed} = -W \cdot r_1 - S_{az} \cdot r_2 + S_{ax} \cdot r_3 + S_w \cdot r_4 - W_{eq,z} \cdot r_5 - S_{ae,z} \cdot r_6 + W_{eq,x} \cdot r_7 + S_{ae,x} \cdot r_8$$

$$M_{Ed} = -84,525 \cdot (0,856 - 0,700) - 3,580 \cdot 0,700 + 13,360 \cdot 0,710 + 20,0 \cdot 0,667 - 3,381 \cdot (0,856 - 0,700) - 1,447 \cdot 0,700 + 4,226 \cdot 1,556 + 5,402 \cdot 2,091$$

$$M_{Ed} = 23,458 \text{ kNm/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $M_{Ed} = 23,46 \text{ kNm/m}$

- Výpočet plochy tlaceného betonu A_{cc} :

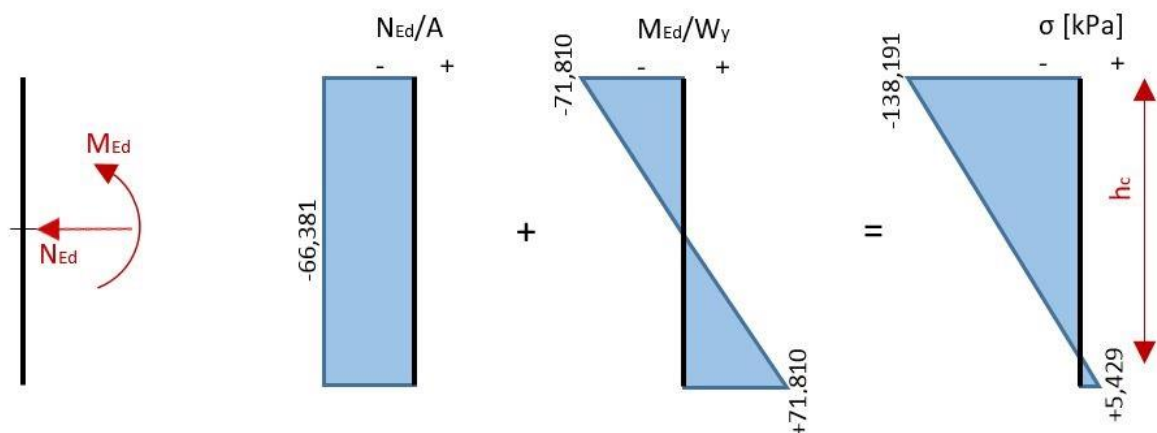
Pro zjištění plochy tlaceného betonu je nutné zjistit napětí na přední a zadní hraně průřezu. Normálová síla N_{Ed} vyvoluje tlakové napětí, a proto bude uvažovaná jako záporná.

Napětí od normálové síly N_{Ed} :

$$\frac{N}{A} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{-92,933}{1,00 \cdot 1,40} = -66,381 \text{ kPa}$$

Napětí od návrhového momentu M_{Ed} :

$$\pm \frac{M}{W} = \pm \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{23,458}{\frac{1}{6} \cdot 1,00 \cdot 1,40^2} = \pm 71,810 \text{ kPa}$$



Obr. 7 Průběh napětí na průřezu dířku zdi

Z obr. 7 je vidět, že není tlačení celý průřez dříku zdi ale jen jeho část h_c :

$$h_c = \frac{138,191}{\frac{138,191 + 5,429}{1,400}} = 1,347 \text{ m}$$

$$A_{cc} = b \cdot h_c = 1,00 \cdot 1,347 = 1,347 \text{ m}^2$$

- Napětí na ploše průřezu σ_{cp} :

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{cc}} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{92,933}{1,347} \cdot \frac{1}{1000} = 0,06899 \text{ MPa}$$

- Výpočtová pevnost betonu v tlaku f_{cd} :

$$f_{cd} = \alpha_{cc,pl} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,8 \cdot \frac{20,00}{1,5} = 10,667 \text{ MPa}$$

- Výpočtová pevnost betonu v tahu f_{ctd} :

$f_{ctk,005}$ - dolní hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu

$$f_{ctd} = \alpha_{ct,pl} \cdot \frac{f_{ctk,005}}{\gamma_c} = \alpha_{ct,pl} \cdot \frac{0,7 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c} = 0,8 \cdot \frac{0,7 \cdot 2,20}{1,5} = 0,821 \text{ MPa}$$

- Limitní napětí:

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd} \cdot (f_{cd} + f_{ctd})} = 10,667 - 2 \cdot \sqrt{0,821 \cdot (10,667 + 0,821)} = 4,525 \text{ MPa}$$

- Smyková pevnost f_{cvd} :

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd} - \left(\frac{\max(0, \sigma_{cp} - \sigma_{c,lim})}{2} \right)^2} = \sqrt{0,821^2 + 0,06899 \cdot 0,821 - \left(\frac{\max(0; 0,066 - 4,525)}{2} \right)^2}$$

$$f_{cvd} = 0,855 \text{ MPa}$$

- Návrhová smyková únosnost V_{Rd} :

$$k = 1,5$$

$$V_{Rd} = \frac{f_{cvd} \cdot A_{cc}}{k} \cdot 1000 = \frac{0,855 \cdot 1,347}{1,5} \cdot 1000 = 767,790 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_{Rd} = 767,58 \text{ kN/m}$

- Využití:

$$V_u = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \cdot 100 = \frac{42,988}{767,790} \cdot 100 = 5,6 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tízná zed': $V_u = 5,6 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Posouzení na tlak a ohyb.

- Výpočet excentricity zatížení e :

$$e = \text{Max} \left(\text{abs} \left(\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right); \frac{h}{30}; 0,02 \text{ m} \right) = \text{Max} \left(\text{abs} \left(\frac{23,458}{92,933} \right); \frac{1,400}{30}; 0,02 \right) = \text{Max}(0,252; 0,047; 0,02)$$

$$e = 0,252 \text{ m}$$

- Efektivní výška průřezu χ :

$$\chi = h - 2 \cdot e = 1,400 - 2 \cdot 0,252 = 0,896 \text{ m}$$

- Návrhová normálová únosnost N_{Rd} :

$$\eta = 1,0 - \frac{\text{Max}(f_{ck}; 50) - 50}{200} = 1,0 - \frac{\text{Max}(20; 50) - 50}{200} = 1,0 - \frac{50 - 50}{200} = 1,0$$

$$N_{Rd} = (b \cdot \chi \cdot \eta \cdot f_{cd}) \cdot 1000 = (1,0 \cdot 0,896 \cdot 1,0 \cdot 10,667) \cdot 1000 = 9557,632 \text{ kN/m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $N_{Rd} = 9543,22 \text{ kNm/m}$

- Využití:

$$V_u = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \cdot 100 = \frac{92,933}{9557,632} \cdot 100 = 1,0 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Tížná zed': $V_u = 1,0 \% , \text{ VYHOVUJE}$