

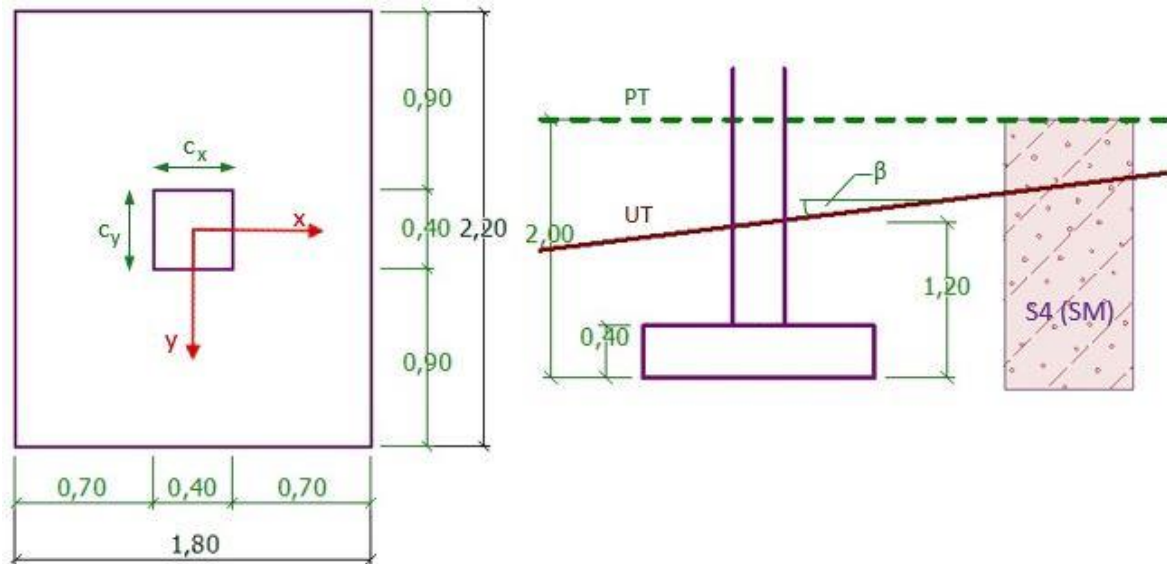
Posouzení únosnosti patky

Program: Patky
Soubor: Demo_vm_02.gpa

V tomto verifikačním manuálu je uveden ruční výpočet posouzení únosnosti patky na trvalou situaci při odvođených podmínkách pro první mezní stav. Aby byla dokázána shodnost výsledků, ruční výpočet je porovnán s výsledky programu GEO5 - Patka.

Zadání úlohy:

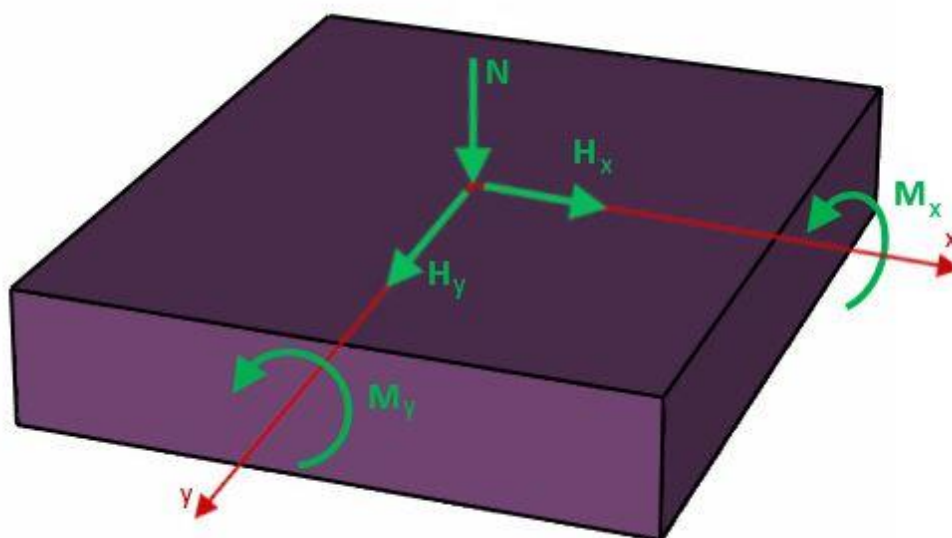
Na obr. 1 je znázorněn příklad centrické základové patky. Patka má šířku $h = 1,80 \text{ m}$, délku $l = 2,20 \text{ m}$ a výšku $t = 0,40 \text{ m}$. Základová spára je v hloubce $d = 1,20 \text{ m}$ pod terénem. Zemní těleso tvoří zemina S4 (SM) a jeho povrch je v sklonu $\beta = 7^\circ$. Vlastnosti zeminy (efektivní hodnoty) jsou uvedeny v tabulce 1. Zatížení působící na základovou patku je zobrazeno na obr. 2 a jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. Patka je po realizaci zasypaná zeminou s objemovou tíhou $\gamma_z = 20,00 \text{ kN/m}^3$. Materiál patky je železobeton o objemové tíze $\gamma_c = 23,00 \text{ kN/m}^3$. Rozměry sloupu uloženého na patce jsou $c_x = 0,40 \text{ m}$ a $c_y = 0,40 \text{ m}$. Únosnost základové půdy je počítaná standardním způsobem. Metodiky posouzení je podle EN 1997 s návrhovým přístupem 2 – redukce zatížení a odporu. V příkladu je působení vlastní tíhy uvažováno příznivě ($\gamma_G = 1,00$) a nepříznivě ($\gamma_G = 1,35$).



Obr. 1 Půdorys a řez v ose x patky

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]	Poissonovo číslo ν [-]
S4 (SM)	17,50	17,50	31,50	0,00	0,35

Tabulka 1 Efektivní vlastnosti zeminy



Obr. 2 Zatížení patky

Návrhová hodnota	N [kN]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]
Ano	910,00	0,00	120,00	200,00	0,00

Tabulka 2 Hodnoty zatížení působící na patku

1. Výpočet pro příznivé působení vlastní tíhy

Výpočet efektivní plochy základové patky s příznivým účinkem vlastní tíhy. Na patku nepůsobí centrické zatížení a je tedy nutné spočítat efektivní plochu základové patky.

- Charakteristická vlastní tíha patky:
 $G = b \cdot h \cdot t \cdot \gamma_c = 1,80 \cdot 2,20 \cdot 0,40 \cdot 23,00 = 36,432 \text{ kN}$

- Charakteristická vlastní tíha zásypu působícího na patku:

$$Z = [(d-t) \cdot b \cdot h - (d-t) \cdot c_x \cdot c_y] \cdot \gamma_z = [(1,20 - 0,40) \cdot 1,80 \cdot 2,20 - (1,20 - 0,40) \cdot 0,40 \cdot 0,40] \cdot 20,00$$

$$Z = 60,80 \text{ kN}$$

- Výpočet excentricity zatížení v základové spáře ($\gamma_G = 1,00$):

$$e_y = \frac{M_x + H_y \cdot t}{N + Z \cdot \gamma_G + G \cdot \gamma_G} = \frac{200,00 + 120,00 \cdot 0,40}{910,00 + 60,80 \cdot 1,00 + 36,432 \cdot 1,00} = 0,246 \text{ m}$$

V programu je excentricita vyjádřena poměrem.

$$e_{y,pom} = \frac{e_y}{l} = \frac{0,246}{2,200} = 0,112$$

- Posouzení excentricity:

$$e_{x,pom} = 0,000 \leq 0,333 = e_{alw} \quad - \text{ maximální excentricita ve směru šířky patky}$$

$$e_{y,pom} = 0,112 \leq 0,333 = e_{alw} \quad - \text{ maximální excentricita ve směru délky patky}$$

$$e_{t,pom} = \sqrt{e_{x,pom}^2 + e_{y,pom}^2} \quad - \text{ maximální prostorová excentricita}$$

$$e_{t,pom} = 0,112 \leq 0,333 = e_{alw}$$

Excentricita zatížení základové patky **VYHOVUJE**.

Výsledek z programu GEO5 – Patky:

$$e_{x,pom} = 0,000 \leq 0,333 = e_{alw}$$

$$e_{y,pom} = 0,112 \leq 0,333 = e_{alw}$$

$$e_{t,pom} = 0,112 \leq 0,333 = e_{alw} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Výpočet efektivní plochy základové patky (excentricita působí jen ve směru délky patky):

$$b_{eff} = b = 1,80 \text{ m}$$

$$l_{eff} = l - 2 \cdot e = 2,20 - 2 \cdot 0,246 = 1,708 \text{ m}$$

$$A_{eff} = b_{eff} \cdot l_{eff} = 1,80 \cdot 1,708 = 3,074 \text{ m}^2$$

Výpočet svislé únosnosti s příznivým působením vlastní tíhy. Výpočet je proveden standardním způsobem dle J. Brinch Hansena.

- Součinitele únosnosti:

$$N_q = tg^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot tg(\varphi)} = tg^2 \left(45 + \frac{31,5}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot tg(31,5)} = 21,861$$

$$N_c = (N_d - 1) \cdot \cot g(\varphi) = (21,861 - 1) \cdot \cot g(31,5) = 34,042$$

$$N_\gamma = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot tg(\varphi) = 1,5 \cdot (21,861 - 1) \cdot tg(31,5) = 19,175$$

- Součinitele tvaru základu:

Vlivem excentricity nastala situace když $l_{eff} < b_{eff}$ a proto do vztahů dosadíme $b = l_{eff}$ a $l = b_{eff}$

$$s_q = 1 + \frac{b}{l} \cdot \sin(\varphi) = 1 + \frac{1,708}{1,800} \cdot \sin(31,5) = 1,496$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{b}{l} = 1 + 0,2 \cdot \frac{1,708}{1,800} = 1,190$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{b}{l} = 1 - 0,3 \cdot \frac{1,708}{1,800} = 0,715$$

- Součinitele vlivu hloubky založení:

$$d_q = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b} \cdot \sin(2 \cdot \varphi)} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{1,200}{1,708} \cdot \sin(2 \cdot 31,5)} = 1,079$$

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b}} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{1,200}{1,708}} = 1,084$$

$$d_\gamma = 1,000$$

- Součinitele šikmosti zatížení:

δ - úhel odklonu výslednice od svislé

$$\delta = \arctg \left(\frac{H_y}{N + Z \cdot \gamma_G + G \cdot \gamma_G} \right) = \arctg \left(\frac{120}{910 + 60,80 \cdot 1,00 + 36,432 \cdot 1,00} \right) = 6,794^\circ$$

$$i_q = i_c = i_\gamma = (1 - tg(\delta))^2 = (1 - tg(6,794))^2 = 0,776$$

- Součinitele šikmé základové spáry:

α - sklon základové spáry

$$\alpha = 0,000^\circ$$

$$b_q = (1 - \alpha \cdot \operatorname{tg}(\varphi))^2 = (1 - 0 \cdot \operatorname{tg}(31,5))^2 = 1,000$$

$$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 1 - \frac{(1 - 1)}{34,042} \cdot \operatorname{tg}(31,5) = 1,000$$

$$b_\gamma = b_q = 1,000$$

- Součinitele vlivu šikmého terénu:

β - sklon terénu

$$\beta = 7,000^\circ$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0,5 \cdot \operatorname{tg}(\beta))^5 = (1 - 0,5 \cdot \operatorname{tg}(7,0))^5 = 0,728$$

$$g_c = 1 - \frac{2 \cdot \beta}{\pi + 2} = 1 - \frac{2 \cdot \left(7,000 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{\pi + 2} = 0,952$$

- Ekvivalentní rovnoměrné zatížení zohledňující vliv hloubky založení základu:

$$q_0 = \gamma_1 \cdot d = 17,5 \cdot 1,20 = 21,00 \text{ kPa}$$

- Výsledná svislá únosnost základové půdy a její redukce součinitelem $\gamma_{RV} = 1,40$:

$$R_d = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \gamma \cdot \frac{b}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot c_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

$$R_d = 0,0 + 21,0 \cdot 21,861 \cdot 1,496 \cdot 1,079 \cdot 0,776 \cdot 1,0 \cdot 0,728 + 17,50 \cdot \frac{1,708}{2} \cdot 19,175 \cdot 0,715 \cdot 1,0 \cdot 0,776 \cdot 1,0 \cdot 0,728$$

$$R_d = 0,0 + 418,635 + 115,753$$

$$R_d = 534,388 \text{ kPa}$$

$$\frac{R_d}{\gamma_{RV}} = \frac{534,388}{1,40} = 381,706 \text{ kPa}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $R_d = 381,92 \text{ kPa}$

- Extrémní kontaktní napětí v základové spáře:

$$\sigma = \frac{N + Z \cdot \gamma_G + G \cdot \gamma_G}{A_{eff}} = \frac{910,00 + 60,80 \cdot 1,00 + 36,432 \cdot 1,00}{3,074} = 327,662 \text{ kPa}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $\sigma = 327,70 \text{ kPa}$

- Využití:

$$V_u = \frac{\sigma}{R_d} \cdot 100 = \frac{327,662}{381,706} \cdot 100 = 85,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $V_u = 85,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Výpočet vodorovné únosnosti s příznivým působením vlastní tíhy. Je uvažován zemní odpor v klidu.

- Součinitel zemního odporu pro odvodněnou zeminu:

$$K_0 = 1 - \sin(\varphi_d) = 1 - \sin(31,5) = 0,4775$$

- Tlak v klidu v ose na úrovni horní a dolní hrany patky:

$$\sigma_{01} = \gamma \cdot (d - t) \cdot K_0 = 17,50 \cdot (1,20 - 0,40) \cdot 0,4775 = 6,6850 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{z2} = \gamma \cdot d \cdot K_0 = 17,50 \cdot 1,20 \cdot 0,4775 = 10,0275 \text{ kPa}$$

- Hodnota zemního odporu v klidu:

$$S_{pd} = \left[\frac{1}{2} \cdot (\sigma_{02} - \sigma_{01}) \cdot t + \sigma_{01} \cdot t \right] \cdot b = \left[\frac{1}{2} \cdot (10,0275 - 6,6850) \cdot 0,40 + 6,6850 \cdot 0,40 \right] \cdot 1,80 = 6,017 \text{ kN}$$

- Výsledná svislá síla v základové spáře:

$$Q = V + Z + G = 910,00 + 60,80 + 36,432 = 1007,232 \text{ kN}$$

- Výsledná vodorovná únosnost základové půdy a její redukce součinitelem $\gamma_{RH} = 1,10$:

$a_d \cdot A_{eff}$ - při výpočtu odvodněných podmínek je zanedbáno (podle EN 1997)

$$R_{dh} = \frac{Q \cdot \operatorname{tg}(\varphi_d) + a_d \cdot A_{eff} + S_{pd}}{\gamma_{RH}}$$

$$R_{dh} = \frac{Q \cdot \operatorname{tg}(\varphi_d) + S_{pd}}{\gamma_{RH}} = \frac{1007,232 \cdot \operatorname{tg}(31,5) + 6,017}{1,10} = 566,591 \text{ kN}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $R_{dh} = 566,59 \text{ kPa}$

- Využití:

$$V_u = \frac{H}{R_{dh}} \cdot 100 = \frac{120,000}{566,591} \cdot 100 = 21,2 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $V_u = 21,2 \% , \text{ VYHOVUJE}$

2. Výpočet pro nepříznivé působení vlastní tíhy

Výpočet efektivní plochy základové patky s nepříznivým účinkem vlastní tíhy. Na patku nepůsobí centrické zatížení a je tedy nutné spočítat efektivní plochu základové patky. Charakteristické vlastní tíhy patky a zásypu jsou totožné s hodnotami pro příznivé působení vlastní tíhy.

- Charakteristická vlastní tíha patky:

$$G = 36,432 \text{ kN}$$

- Charakteristická vlastní tíha zásypu působícího na patku:

$$Z = 60,80 \text{ kN}$$

- Výpočet excentricity zatížení v základové spáře ($\gamma_G = 1,35$):

$$e_y = \frac{M_x + H_y \cdot t}{N + Z \cdot \gamma_G + G \cdot \gamma_G} = \frac{200,00 + 120,00 \cdot 0,40}{910,00 + 60,80 \cdot 1,35 + 36,432 \cdot 1,35} = 0,238 \text{ m}$$

V programu je excentricita vyjádřena poměrem.

$$e_{y,pom} = \frac{e_y}{l} = \frac{0,238}{2,200} = 0,108$$

- Posouzení excentricity:

$$e_{x,pom} = 0,000 \leq 0,333 = e_{alw} \quad - \text{ maximální excentricita ve směru šířky patky}$$

$$e_{y,pom} = 0,108 \leq 0,333 = e_{alw} \quad - \text{ maximální excentricita ve směru délky patky}$$

$$e_{t,pom} = \sqrt{e_{x,pom}^2 + e_{y,pom}^2} \quad - \text{ maximální prostorová excentricita}$$

$$e_{t,pom} = 0,108 \leq 0,333 = e_{alw}$$

Excentricita zatížení základové patky **VYHOVUJE**.

Výsledek z programu GEO5 – Patky:

Program GEO5 – Patky uvádí posouzení pro zatížení, které způsobí větší excentricitu. V tomhle případě je posuzováno zatížení s příznivým působením vlastní tíhy.

- Výpočet efektivní plochy základové patky (excentricita působí jen ve směru délky patky):

$$b_{eff} = b = 1,80 \text{ m}$$

$$l_{eff} = l - 2 \cdot e = 2,20 - 2 \cdot 0,238 = 1,724 \text{ m}$$

$$A_{eff} = b_{eff} \cdot l_{eff} = 1,80 \cdot 1,724 = 3,103 \text{ m}^2$$

Výpočet svislé únosnosti s nepříznivým působením vlastní tíhy. Výpočet je proveden standardním způsobem dle J. Brinch Hansena.

- Součinitele únosnosti:

$$N_q = tg^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot tg(\varphi)} = tg^2 \left(45 + \frac{31,5}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot tg(31,5)} = 21,861$$

$$N_c = (N_d - 1) \cdot \cot g(\varphi) = (21,861 - 1) \cdot \cot g(31,5) = 34,042$$

$$N_\gamma = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot tg(\varphi) = 1,5 \cdot (21,861 - 1) \cdot tg(31,5) = 19,175$$

- Součinitele tvaru základu:

Vlivem excentricity nastala situace když $l_{eff} < b_{eff}$ a proto do vztahů dosadíme $b = l_{eff}$ a $l = b_{eff}$

$$s_q = 1 + \frac{b}{l} \cdot \sin(\varphi) = 1 + \frac{1,724}{1,800} \cdot \sin(31,5) = 1,500$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{b}{l} = 1 + 0,2 \cdot \frac{1,724}{1,800} = 1,192$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{b}{l} = 1 - 0,3 \cdot \frac{1,724}{1,800} = 0,713$$

- Součinitele vlivu hloubky založení:

$$d_q = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b} \cdot \sin(2 \cdot \varphi)} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{1,200}{1,724} \cdot \sin(2 \cdot 31,5)} = 1,079$$

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b}} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{1,200}{1,724}} = 1,083$$

$$d_\gamma = 1,000$$

- Součinitele šikmosti zatížení:

δ - úhel odklonu výslednice od svislé

$$\delta = \arctg \left(\frac{H_y}{N + Z \cdot \gamma_G + G \cdot \gamma_G} \right) = \arctg \left(\frac{120}{910 + 60,80 \cdot 1,35 + 36,432 \cdot 1,35} \right) = 6,574^\circ$$

$$i_q = i_c = i_\gamma = (1 - tg(\delta))^2 = (1 - tg(6,574))^2 = 0,783$$

- Součinitele šikmé základové spáry:

α -sklon základové spáry

$$\alpha = 0,000^\circ$$

$$b_q = (1 - \alpha \cdot \operatorname{tg}(\varphi))^2 = (1 - 0 \cdot \operatorname{tg}(31,5))^2 = 1,000$$

$$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 1 - \frac{(1 - 1)}{34,042} \cdot \operatorname{tg}(31,5) = 1,000$$

$$b_\gamma = b_q = 1,000$$

- Součinitele vlivu šikmého terénu:

β - sklon terénu

$$\beta = 7,000^\circ$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0,5 \cdot \operatorname{tg}(\beta))^5 = (1 - 0,5 \cdot \operatorname{tg}(7,0))^5 = 0,728$$

$$g_c = 1 - \frac{2 \cdot \beta}{\pi + 2} = 1 - \frac{2 \cdot \left(7,000 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{\pi + 2} = 0,952$$

- Ekvivalentní rovnoměrné zatížení zohledňující vliv hloubky založení základu:

$$q_0 = \gamma_1 \cdot d = 17,50 \cdot 1,20 = 21,00 \text{ kPa}$$

- Výsledná svislá únosnost základové půdy a její redukce součinitelem $\gamma_{RV} = 1,40$:

$$R_d = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \gamma \cdot \frac{b}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot c_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

$$R_d = 0,0 + 21,0 \cdot 21,861 \cdot 1,500 \cdot 1,079 \cdot 0,783 \cdot 1,0 \cdot 0,728 + 17,50 \cdot \frac{1,724}{2} \cdot 19,175 \cdot 0,713 \cdot 1,0 \cdot 0,783 \cdot 1,0 \cdot 0,728$$

$$R_d = 0,0 + 423,541 + 117,561$$

$$R_d = 541,102 \text{ kPa}$$

$$\frac{R_d}{\gamma_{RV}} = \frac{541,102}{1,40} = 386,501 \text{ kPa}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $R_d = 386,61 \text{ kPa}$

- Extrémní kontaktní napětí v základové spáře:

$$\sigma = \frac{N + Z \cdot \gamma_G + G \cdot \gamma_G}{A_{eff}} = \frac{910,00 + 60,80 \cdot 1,35 + 36,432 \cdot 1,35}{3,103} = 335,567 \text{ kPa}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $\sigma = 335,61 \text{ kPa}$

- Využití:

$$V_u = \frac{\sigma}{R_d} \cdot 100 = \frac{335,567}{386,501} \cdot 100 = 86,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $V_u = 86,8 \% , \text{ VYHOVUJE}$

Výpočet vodorovné únosnosti s nepříznivým působením vlastní tíhy. Zemní odpor je uvažován jako ve výpočtu pro příznivé působení vlastní tíhy.

- Hodnota zemního odporu v klidu:

$$S_{pd} = 6,017 \text{ kN}$$

- Výsledná svislá síla v základové spáře:

$$Q = V + Z \cdot \gamma_G + G \cdot \gamma_G = 910,00 + 60,80 \cdot 1,35 + 36,432 \cdot 1,35 = 1041,263 \text{ kN}$$

- Výsledná vodorovná únosnost základové půdy a její redukce součinitelem $\gamma_{RH} = 1,10$:

$a_d \cdot A_{eff}$ - při výpočtu odvodněných podmínek je zanedbáno (podle EN 1997)

$$R_{dh} = \frac{Q \cdot \operatorname{tg}(\varphi_d) + a_d \cdot A_{eff} + S_{pd}}{\gamma_{RH}}$$

$$R_{dh} = \frac{Q \cdot \operatorname{tg}(\varphi_d) + S_{pd}}{\gamma_{RH}} = \frac{1041,263 \cdot \operatorname{tg}(31,5) + 6,017}{1,10} = 585,549 \text{ kN}$$

- Využití:

$$V_u = \frac{H}{R_{dh}} \cdot 100 = \frac{120,000}{585,549} \cdot 100 = 20,5 \% , \text{ VYHOVUJE}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky:

Program GEO5 – Patky uvádí posouzení pro zatížení, při kterém je vodorovná únosnost nižší. V tomto případě je posuzováno zatížení s příznivým působením vlastní tíhy.

Výpočet parametrů smykové plochy pod základem. Parametry smykové plochy jsou počítané dle Prandtla.

- Hloubka smykové plochy:

$$z_s = \frac{b}{2} \cdot \frac{\cos(\varphi)}{\cos\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\text{arc}(\varphi)}{2}\right) \cdot \text{tg}(\varphi)} = \frac{1,80}{2} \cdot \frac{\cos(31,5)}{\cos\left(45 + \frac{31,5}{2}\right)} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\text{arc}(31,5)}{2}\right) \cdot \text{tg}(31,5)} = 3,008 \text{ m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $z_s = 3,01 \text{ m}$

- Dosah smykové plochy:

$$l_s = \frac{b}{2} \cdot \left[1 + 2 \cdot \text{tg}\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot e^{\frac{\pi}{2} \cdot \text{tg}(\varphi)} \right] = \frac{1,80}{2} \cdot \left[1 + 2 \cdot \text{tg}\left(45 + \frac{31,5}{2}\right) \cdot e^{\frac{\pi}{2} \cdot \text{tg}(31,5)} \right] = 9,316 \text{ m}$$

Výsledek z programu GEO5 – Patky: $z_s = 9,31 \text{ m}$