

ÚNOSNOST PLOŠNÉHO ZÁKLADU A KONTAKTNÍ NAPĚTÍ

1 STANOVENÍ ÚNOSNOSTI PLOŠNÉHO ZÁKLADU

V textu jsou uvedeny rovnice pro výpočet únosnosti plošného základu dle informativní přílohy D ČSN EN 1997-1 s doplňujícím vysvětlením. Dále je prezentován výpočet únosnosti a kontaktního napětí pro excentricky zatížený obdélníkový základ.

1.1 NEODVODNĚNÉ PODMÍNKY ZATÍŽENÍ

Únosnost (svislou) plošného základu, jehož schéma je na obr.1, lze vypočítat z rovnice

$$R / A' = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q, \quad (1)$$

ve které je:

c_u neodvodněná pevnost (totální soudržnost) zeminy v podloží základu,

b_c součinitel sklonu základové spáry:

$$b_c = 1 - 2\alpha / (\pi + 2), \quad (2)$$

(Pozn.: α je úhel, který svírá základová spára s vodorovnou rovinou)

s_c součinitel tvaru základu:

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B'}{L'}, \quad (3)$$

(Pozn.: B' a L' jsou půdorysné rozměry efektivní plochy základu – viz část 1.3; $B' < L'$)

i_c součinitel šikmosti zatížení:

$$i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A' c_u}} \right), \quad (4)$$

(Pozn.: H je výslednice zatížení působícího v rovině základové spáry, A' je efektivní plocha základu – viz část 1.3)

q tlak nadloží v úrovni základové spáry:

$$q = \gamma D. \quad (5)$$

(Pozn.: γ je objemová tíha zeminy nad úrovní základové spáry, D je hloubka založení)

Vodorovná únosnost (odpor proti usmyknutí) plošného základu se stanoví z rovnice

$$H_{vzd} = A' c_u, \quad (6)$$

ve které je c_u neodvodněná pevnost zeminy v základové spáře.

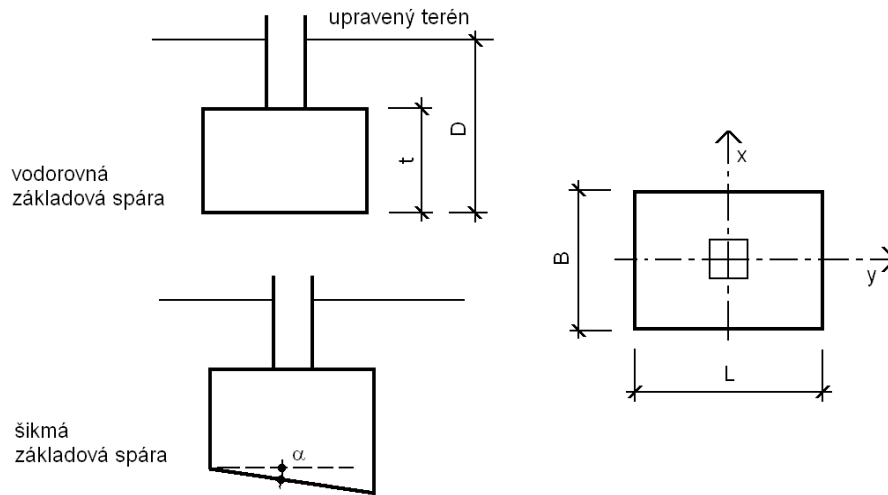
1.2 ODVODNĚNÉ PODMÍNKY ZATÍŽENÍ

Únosnost (svislou) plošného základu, jehož schéma je na obr.1, lze vypočítat z rovnice

$$R / A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma_{pod} B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma, \quad (7)$$

ve které je/jsou:

c' efektivní soudržnost zeminy v podloží základu,



Obr. 1 Plošný základ pod sloupem – řez svislou rovinou (vlevo) a půdorysné schéma (vpravo)

N_σ N_φ N_γ

součinitelé únosnosti:

$$N_q = e^{mg\phi'} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2} \right), \quad (8)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot g\phi', \quad (9)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg}\phi', \quad (10)$$

(Pozn.: ϕ' je efektivní úhel vnitřního tření zeminy v podloží základu)

b_σ b_φ b_γ

součinitelé sklonu základové spáry:

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \operatorname{tg}\phi'), \quad (11)$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \operatorname{tg}\phi')^2, \quad (12)$$

(Pozn.: α je úhel, který svírá základová spára s vodorovnou rovinou)

s_φ s_σ s_γ

součinitelé tvaru základu:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \phi', \quad (13)$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1), \quad (14)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot B' / L', \quad (15)$$

(Pozn.: B' a L' jsou půdorysné rozměry efektivní plochy základu – viz část 1.3; $B' < L'$)

i_σ i_φ i_γ

součinitelé šikmosti zatížení:

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{V + A'c' \cot g\phi'} \right]^m, \quad (16)$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \operatorname{tg}\phi'), \quad (17)$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{V + A'c' \cot g\phi'} \right]^{m+1} \quad (18)$$

(Pozn.: H je výslednice zatížení působícího v rovině základové spáry, A' je efektivní plocha základu – viz část 1.3, c' je efektivní soudržnost zeminy v podloží základu, ϕ' je efektivní úhel vnitřního tření zeminy v podloží základu)

V rov. (16-18) je:

$$m = m_L = \frac{2 + L'/B'}{1 + L'/B'} \quad (19)$$

(Pozn.: pokud H působí ve směru délky L')

$$m = m_B = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'} \quad (20)$$

(Pozn.: pokud H působí ve směru šířky B')

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta \quad (21)$$

(Pozn.: pokud H působí ve směru svírající úhel θ se směrem L')

q' efektivní tlak nadloží v úrovni základové spáry:

$$q' = \gamma D \quad (22)$$

(Pozn.: γ je objemová tíha zeminy nad úrovní základové spáry, D je hloubka založení)

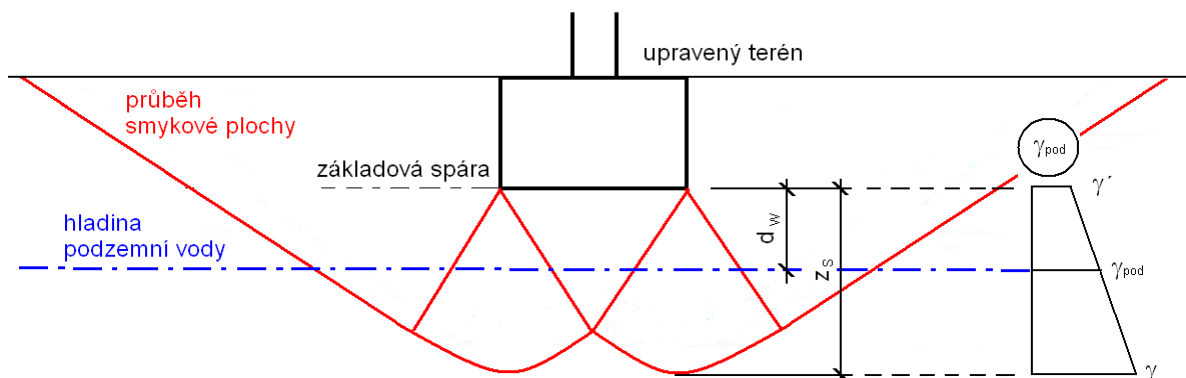
γ_{pod} objemová tíha zeminy pod úrovní základové spáry (viz obr. 2):

$$d_w = 0 \quad \Rightarrow \quad \gamma_{pod} = \gamma' \quad (23)$$

$$0 \leq d_w \leq z_s \quad \Rightarrow \quad \gamma_{pod} = \gamma' + \frac{d_w}{z_s} (\gamma - \gamma') \quad (24)$$

$$d_w \geq z_s \quad \Rightarrow \quad \gamma_{pod} = \gamma \quad (25)$$

(Pozn.: d_w je hloubka hladiny podzemní vody pod úrovní základové spáry; z_s je hloubkový dosah smykové plochy: přibližně $z_s = 2 \cdot B'$ pro zeminy písčité a štěrkovité – zeminy třídy S1 až S3 a G1 až G3, $z_s = B'$ pro zeminy ostatní; γ je objemová tíha zeminy nad hladinou podzemní vody; γ' je objemová tíha zeminy zmenšená o vztlak na zrna: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$)



Obr.2 Schéma k vlivu vody na únosnost R/A'

Vodorovná únosnost (odpor proti usmyknutí) plošného základu se stanoví z rovnice

$$H_{vzd} = V \cdot \operatorname{tg} \varphi' \quad (26)$$

ve které je:

V složka výslednice zatížení v základové spáře kolmá k základové spáře

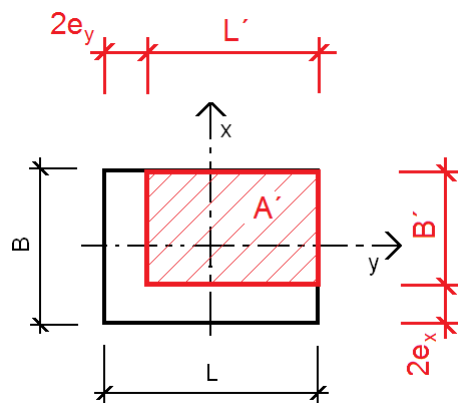
φ' efektivní úhel vnitřního tření zeminy v základové spáře

(Pozn.: efektivní soudržnost zeminy v základové spáře je zanedbatelná)

1.3 EFEKTIVNÍ PLOCHA ZÁKLADU A KONTAKTNÍ NAPĚTÍ

Efektivní plocha základové spáry A' obdélníkového základu dle obr. 1 se zjednodušeně uvažuje obdélníková (obr. 3) a její velikost je

$$A' = B' L' \quad (27)$$



Obr. 3 Efektivní plocha základu

Rozměry efektivní plochy (tj. efektivní šířka B' a efektivní délka L') se stanoví z podmínky totožného působíště výslednice zatížení v základové spáře a těžiště efektivní plochy

$$B' = B - 2e_x, \quad (28)$$

$$L' = L - 2e_y. \quad (29)$$

V rov. (28) a (29) je e_x (e_y) excentricita výslednice zatížení v základové spáře ve směru šířky základu B (ve směru délky základu L) a určí se následovně

$$e_x = \frac{M_y}{V}, \quad (30)$$

$$e_y = \frac{M_x}{V}, \quad (31)$$

kde je:

M_y moment v základové spáře působící ve směru šířky základu B (otáčí kolem osy y),

M_x moment v základové spáře působící ve směru délky základu L (otáčí kolem osy x),
 V složka výslednice zatížení v základové spáře kolmá k základové spáře.

Přitom musí být splněna tzv. podmínka stability

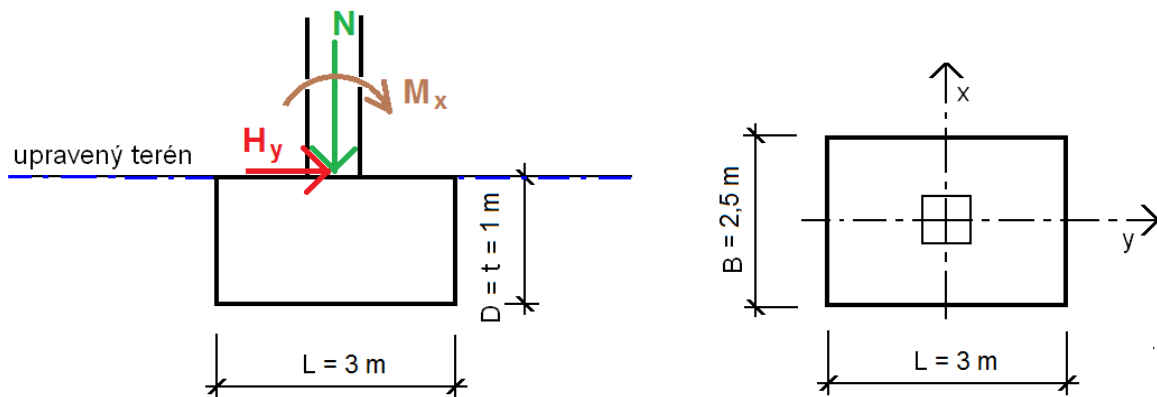
$$\left(\frac{e_x}{B}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{L}\right)^2 \leq \left(\frac{1}{3}\right)^2. \quad (32)$$

Kontaktní napětí v základové spáře se uvažuje pouze na její efektivní části a jeho velikost je konstantní

$$\sigma = \frac{V}{A'}. \quad (33)$$

2 PŘÍKLAD VÝPOČTU

Stanovte únosnost železobetonové základové patky (obr. 4) pod železobetonovým sloupem a velikost kontaktního napětí v základové spáře. Rozměry patky jsou: $B = 2,5$ m, $L = 3,0$ m, výška patky $t = 1$ m. Základovou půdu tvoří písčité jíly (saCl): $\varphi' = 21^\circ$, $c' = 12$ kPa, $\varphi_u = 0^\circ$, $c_u = 50$ kPa, $\gamma_{\text{sat}} = 21$ kN/m³, $\gamma = 19$ kN/m³. Hladina podzemní vody je v hloubce 1 m pod původním terénem. Složky výslednice zatížení, které působí v těžišti povrchu patky, jsou: $N = 1\,200$ kN, $M_x = 249$ kNm (moment otáčí kolem osy x), $H_y = 75$ kN (síla působí ve směru osy y). Pozn.: osa x je ve směru šířky základu B a osa y ve směru délky základu L.



Obr. 4 Schéma k zadání příkladu

Řešení

Tíha patky:

$$- G = \gamma_c B \cdot L \cdot t = 25 \cdot 2,5 \cdot 3,0 \cdot 0,1 = 187,5 \text{ kN}$$

(Pozn.: objemová tíha železobetonu $\gamma_c = 25$ kN/m³)

Velikost složek výslednice zatížení v těžišti základové spáry:

- svíslá síla $V = N + G = 1200 + 187,5 = 1387,5 \text{ kN}$
- vodorovná síla ve směru délky (osy y) $H_y = 75 \text{ kN}$

- moment (otáčející okolo osy x) $M_x = M_x + H_y \cdot t = 249 + 75 \cdot 1 = 324 \text{ kNm}$

Excentricita výslednice zatížení v základové spáře a efektivní plocha základu:

- excentricity:

$$e_x = 0$$

$$e_y = \frac{M_x}{V} = \frac{324}{1387,5} = 0,234 \text{ m}$$

- podmínka stability:

$$e_y \leq \frac{1}{3} L,$$

$$\frac{1}{3} L = 1 \text{ m} \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

- efektivní šířka a délka základu:

$$B' = B = 2,50 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_y = 3,0 - 2 \cdot 0,234 = 2,53 \text{ m}$$

- efektivní plocha základové spáry: $A' = B' L' = 2,50 \cdot 2,53 = 6,33 \text{ m}^2$

Kontaktní napětí v základové spáře:

$$\sigma = \frac{V}{A'} = \frac{1387,5}{6,33} = 219,2 \text{ kPa}$$

Základová půda je tvořena jemnozrnnou zeminou, lze tedy předpokládat, že proběhne posloupnost neodvodněné podmínky zatížení – konsolidace – odvodněné podmínky zatížení.

Únosnost plošného základu (R/A') - neodvodněné podmínky zatížení (krátkodobá únosnost):

$$R/A' = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q = (\pi + 2) \cdot 50 \cdot 1 \cdot 1,20 \cdot 0,94 + 19 = 309,0 \text{ kPa}$$

- základová spára je vodorovná, tj. $b_c = 1$
- součinitel tvaru základu $s_c = 1 + 0,2 \frac{B'}{L'} = 1 + 0,2 \frac{2,50}{2,53} = 1,20$
- součinitel šikmosti zatížení $i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H_y}{A' c_u}}\right) = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{75}{6,33 \cdot 50}}\right) = 0,94$
- tlak nadloží v úrovni základové spáry $q = \gamma D = 19 \cdot 1 = 19 \text{ kPa}$

Únosnost plošného základu (R/A') - odvodněné podmínky zatížení (dlouhodobá únosnost):

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma_{pod} B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma = 12 \cdot 15,81 \cdot 1 \cdot 1,41 \cdot 0,99 + 19 \cdot 7,07 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 0,99 + 0,5 \cdot 11 \cdot 2,50 \cdot 4,66 \cdot 1 \cdot 0,70 \cdot 0,98 = 488,3 \text{ kPa}$$

- efektivní tlak nadloží v úrovni základové spáry $q' = \gamma D = 19.1 = 19kPa$
- součinitel únosnosti

$$N_q = e^{m\phi'} \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\phi'}{2}) = e^{m\phi'} \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{21^\circ}{2}) = 7,07$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot g\phi' = (7,07 - 1) \cot g21^\circ = 15,81$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg}\phi' = 2(7,07 - 1) \operatorname{tg}21^\circ = 4,66$$

- základová spára je vodorovná, tj. $b_c = b_q = b_\gamma = 1$
- součinitel tvaru základu

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin\phi' = 1 + (2,50/2,53) \sin 21^\circ = 1,35$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1) = (1,35 \cdot 7,07 - 1) / (7,07 - 1) = 1,41$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot B'/L' = 1 - 0,3 \cdot 2,50/2,53 = 0,70$$

- součinitel šikmosti zatížení

$$m = m_L = \frac{2 + L'/B'}{1 + L'/B'} = \frac{2 + 2,53/2,50}{1 + 2,53/2,50} = 1,50$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H_y}{V + A'c' \cot g\phi'} \right]^m = \left[1 - \frac{75,0}{1287,5 + 6,33 \cdot 12 \cdot \cot g21^\circ} \right]^{1,5} = 0,99$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \operatorname{tg}\phi') = 0,99 - (1 - 0,99) / (15,81 \cdot \operatorname{tg}21^\circ) = 0,99$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H_y}{V + A'c' \cot g\phi'} \right]^{m+1} = \left[1 - \frac{75,0}{1287,5 + 6,33 \cdot 12 \cdot \cot g21^\circ} \right]^{2,5} = 0,98$$

- objemová tíha zeminy pod úrovní základové spáry γ_{pod} (hladina podzemní vody je v úrovni základové spáry, uplatní se tedy vztlak vody působící na částice zeminy mezi základovou spárou a smykovou plochou)

$$\gamma_{pod} = \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 21 - 10 = 11kN/m^3$$

Vodorovná síla ($H_y = 75$ kN) působící v základové spáře může vyvolat posunutí (usmyknutí) základu. Je tedy třeba se zabývat i vodorovnou únosností základu.

Odpor základu proti usmyknutí (tzv. vodorovná únosnost):

- neodvodněné podmínky zatížení $H_{vzd} = A'c_u = 6,33 \cdot 50 = 316,5kN$
- odvodněné podmínky zatížení $H_{vzd} = V \operatorname{tg}\phi' = 1287,5 \operatorname{tg}21^\circ = 494,2kN$

3 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Podle v části 1 uvedených rovnic (1), (6), (7) a (26) se vypočte únosnost, při které dojde buď k prolomení základové půdy nebo k usmyknutí základu. Při návrhu základů staveb nemůžeme ale připustit, aby kontaktní napětí v základové spáře σ (rovnice (33)) bylo rovné svislé únosnosti R/A'

nebo aby vodorovná složka výslednice zatížení v základové spáře H byla rovna vodorovné únosnosti H_{vzd} . Je třeba počítat s určitou bezpečností. V současné době se základy staveb v ČR navrhují podle mezních stavů, postupuje se v souladu s ČSN EN 1997-1. Při návrhu se zde používá návrhových hodnot zatížení, návrhových hodnot parametrů základové půdy a návrhové únosnosti (odporu) základu. Při stanovení návrhových hodnot výše zmíněných veličin se přitom vychází z charakteristických hodnot těchto veličin, na které se aplikují příslušné dílčí součinitele γ (dílčí součinitele zatížení γ_f , dílčí součinitele parametrů základové půdy γ_M , dílčí součinitele únosnosti γ_R). Velikost dílčích součinitelů je determinována zvoleným návrhovým přístupem – viz tabulky 1 až 3. Při určení návrhové hodnoty zatížení se též zohledňuje zmenšení pravděpodobnosti působení více nahodilých zatížení současně pomocí součinitele kombinace dle ČSN EN 1990.

Tab. 1 Dílčí součinitele zatížení γ_f

zatížení		Soubor	
		A1	A2
stálé	nepříznivé	1,35	1,00
	příznivé	1,00	1,00
nahodilé	nepříznivé	1,50	1,30
	příznivé	0,00	0,00

Tab. 2 Dílčí součinitele parametrů základové půdy γ_M

Parametr zeminy	Soubor	
	M1	M2
úhel vnitřního tření ¹⁾	1,00	1,25
efektivní soudržnost	1,00	1,25
neodvodněná pevnost	1,00	1,40
pevnost v prostém tlaku	1,00	1,40
objemová tíha	1,00	1,00

Pozn.: ¹⁾ použije se pro $\tan \varphi$

Tab. 3 Dílčí součinitele únosnosti γ_R

	Soubor		
	R1	R2	R3
únosnost (svislá)	1,00	1,40	1,00
usmyknutí (vodorovná únosnost)	1,00	1,10	1,00

Pozn. k tabulkám 1 až 3:

Návrhový přístup 1 (NP1):

Kombinace 1: „A1“ + „M1“ + „R1“

Kombinace 2: „A2“ + „M2“ + „R1“

Návrhový přístup 2 (NP2):

Kombinace: „A1“ + „M1“ + „R2“

Návrhový přístup 3 (NP3):

Kombinace: „(A1 nebo A2) ²⁾“ + „M2“ + „R3“

²⁾ dílčí součinitele souboru A1 se aplikují na zatížení konstrukce, dílčí součinitele souboru A2 na geotechnické zatížení