

Zakládání staveb – 4 cvičení

Únosnost základové půdy

Mezní stavy

Geotechnické kategorie

Mezní stav únosnosti (1.MS)

MEZNÍ STAVY

- I. Skupina – mezní stav únosnosti
(zhroucení konstrukce, nepřípustné zaboření, naklonění)

- II. Skupina – mezní stav přetvoření
(celkové sednutí, nerovnoměrné sednutí, časový průběh sedání)

GEOTECHNICKÉ KATEGORIE:

Druh základových poměrů	Jednoduché	Složitě
Druh konstrukce		
Nenáročně	1.GK	2.GK
Náročně	2.GK	3.GK

GEOTECHNICKÉ KATEGORIE:

Návrh základů:

1GK – návrh základů dle tabulkových únosností R_{dt} :

2GK – návrh plošných základů dle mezních stavů s výpočtovými charakteristikami určenými na základě SNCh nebo místních charakteristik:

3GK – návrh jako u 2GK, ale výpočtové parametry vycházejí z místních charakteristik (in situ).

GEOTECHNICKÉ KATEGORIE DLE EC 7:

- 1. GEOTECHNICKÁ KATEGORIE** má zahrnovat pouze malé a relativně jednoduché konstrukce:
 - pro které je možné zajistit, že základní požadavky budou splněny na základě zkušenosti a kvalitativního geotechnického průzkumu;
 - se zanedbatelným rizikem.
- 2. GEOTECHNICKÁ KATEGORIE** má zahrnovat obvyklé typy konstrukcí a základů s běžným rizikem nebo jednoduchými základovými poměry či zatěžovacími podmínkami.
- 3. GEOTECHNICKÁ KATEGORIE** má běžně zahrnovat alternativní ustanovení a pravidla k těm, jež jsou v normě.

Hlavně závisí na třídě **rizika**

Stanovení třídy rizika

		Relativní míra velikosti škody				
		1	2	3	4	5
Pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu	1	1. třída rizika	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika
	2	1. třída rizika	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika
	3	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika
	4	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika
	5	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika

Pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu je klasifikována stupni od 1 do 5:

- stupeň 1 – vznik nežádoucího jevu je téměř vyloučen;
- stupeň 2 – vznik nežádoucího jevu je málo pravděpodobný;
- stupeň 3 – vznik i neuskutečnění nežádoucího jevu jsou stejně pravděpodobné;
- stupeň 4 – vznik nežádoucího jevu je velmi pravděpodobný;
- stupeň 5 – vznik nežádoucího jevu je téměř jistý

Stanovení třídy rizika

		Relativní míra velikosti škody				
		1	2	3	4	5
Pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu	1	1. třída rizika	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika
	2	1. třída rizika	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika
	3	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika
	4	1. třída rizika	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika
	5	2. třída rizika	2. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika	3. třída rizika

Relativní míra velikosti možných škod v důsledku uskutečnění některého z nežádoucích jevů se rovněž odhaduje ve stupních 1 až 5:

- stupeň 1 – zcela zanedbatelné škody;
- stupeň 2 – mírné škody, které lze za určitých okolností připustit;
- stupeň 3 – střední škody;
- stupeň 4 – velké škody, které je nutno vyloučit (srovnatelné s náklady projektu);
- stupeň 5 – katastrofální škody.

GEOTECHNICKÉ KATEGORIE DLE EC 7: PODLE MÍRY RIZIKA

1. GEOTECHNICKÁ KATEGORIE

nenáročná konstrukce v jednoduchých IG poměrech, jejichž užívání a realizace je spojena se zanedbatelným rizikem (1. třída rizika)

2. GEOTECHNICKÁ KATEGORIE

případy, které nespádají do 1. a 3. GK

3. GEOTECHNICKÁ KATEGORIE

náročná konstrukce, složité IG poměry, nebo stavby s abnormálním rizikem (3. třída rizika)

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (1.GK)

Základní podmínky:

$$R_{d,tab} \geq \sigma_d$$

$$R_{dh} + R_{dp} \geq H_d$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Základní podmínky svislé únosnosti:

$$R_d \geq \sigma_d$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Extrémní výpočtové kontaktní napětí :

$$\sigma_{de} = \frac{V_{de}}{A_{ef}} = \frac{V_{de}}{b_{ef} \cdot l_{ef}}$$

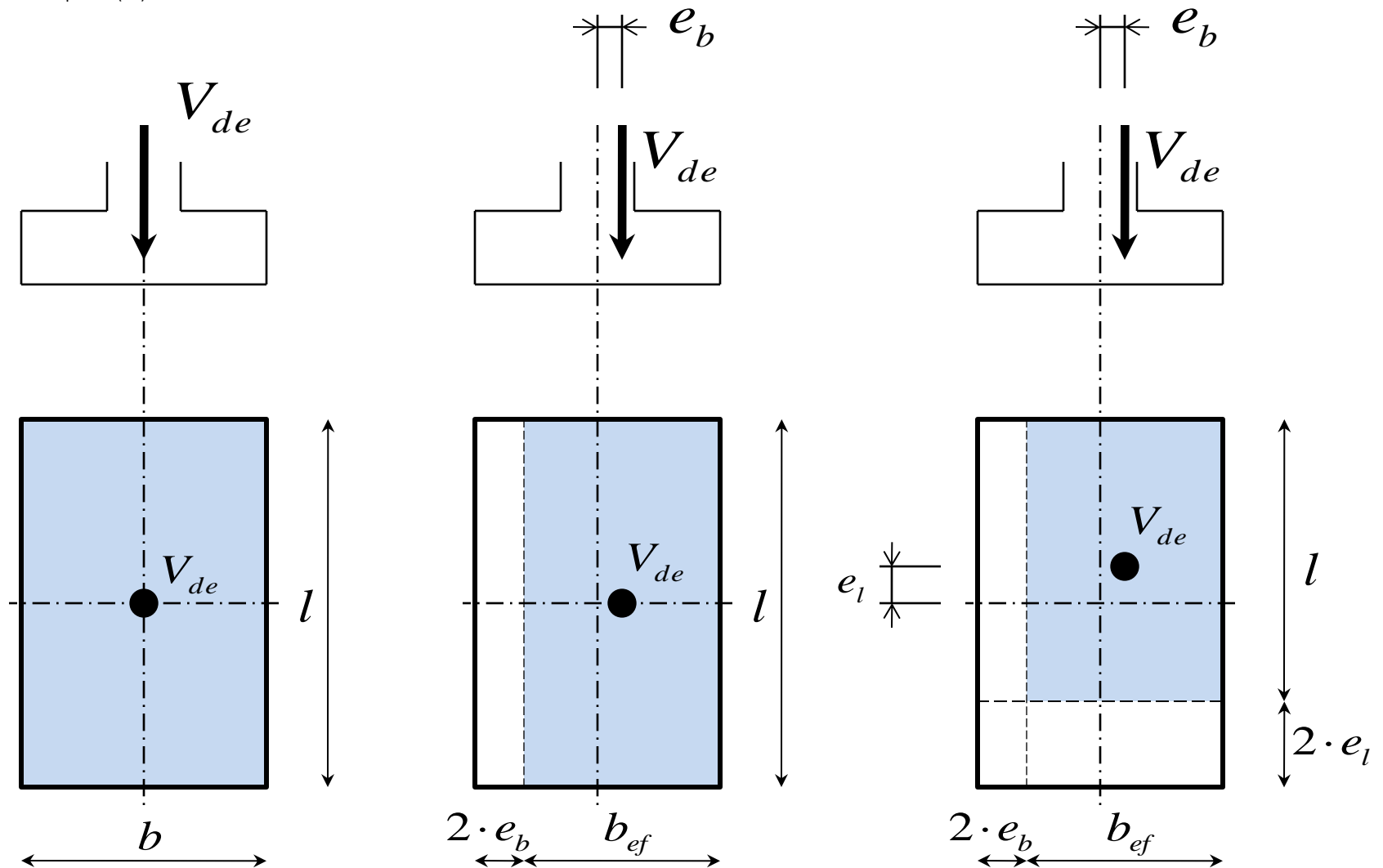
Rozměry efektivní plochy:

$$l_{ef} = l - 2 \cdot e_l$$

$$b_{ef} = b - 2 \cdot e_b$$

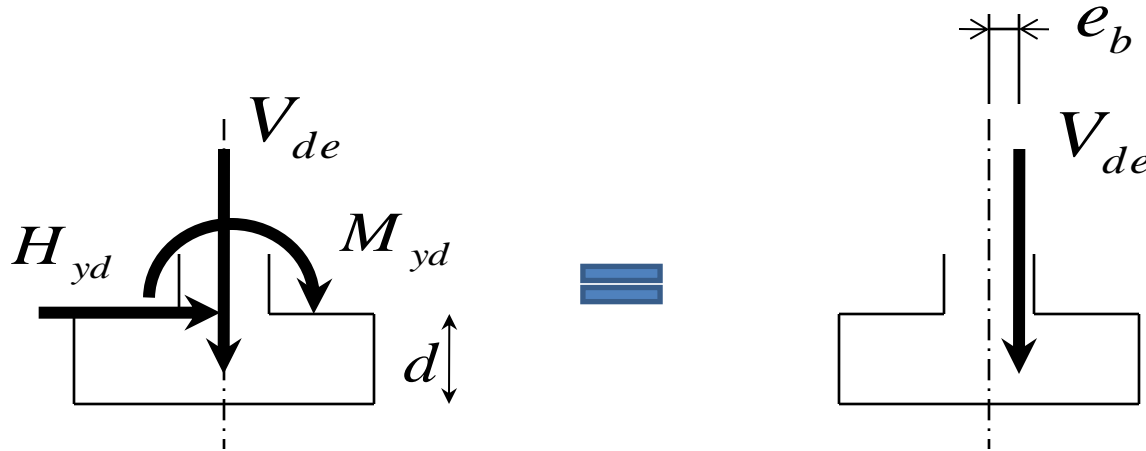
MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Efektivní plocha (A_{ef}):



MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Výpočet excentricity:



$$e_b = \frac{M}{V} = \frac{M_{yd} + H_{yd} \cdot d}{V_{de}}$$

$$e_l = \frac{M}{V} = \frac{M_{xd} + H_{xd} \cdot d}{V_{de}}$$

Podmínka: $e_l < \frac{1}{3}l$; $e_b < \frac{1}{3}b$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Výpočtová svislá únosnost (řešení podle BRINCH - HANSENa (1970)) dle EN (drénované podmínky):

$$R_d = c_d \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d + \gamma_2 \cdot \frac{b_{ef}}{2} \cdot N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

Zjednodušeně:

$$R_d = c_d \cdot A + \gamma_1 \cdot d \cdot B + \gamma_2 \cdot \frac{b_{ef}}{2} \cdot C$$

$$A = N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

$$B = N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d$$

$$C = N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

Používají se efektivní parametry vlastností zemin

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Výpočtové hodnoty parametrů zemin:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{\gamma_{m\gamma}}$$

$$c_d = \frac{c_{ef}}{\gamma_{mc}}$$

$$tg \varphi_d = \frac{tg \varphi_{ef}}{\gamma_{mtg\varphi}}$$

Dle EN: viz tabulka

Přístup	Součinitel γ_F			Součinitel γ_m					Součinitel γ_R	
	stálé		proměnné nepříznivé	tg φ	c'	c _u	q _u	γ	zaboření	usmyknutí
	nepříznivé	příznivé								
^a 1-GEO	1,00	1,00	1,30	1,25	1,25	1,40 (1,60)	1,40	1,00	1,00	1,00
^b 1-STR	1,35	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	1,35	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	1,10
3	1,00 (1,35)	1,00 (1,00)	1,30 (1,50)	1,25	1,25	1,40	1,40	1,00	1,00	1,00

GEO – porušení nebo nadměrná deformace základové půdy

STR – porušení nebo nadměrná deformace konstrukce nebo konstrukčních prvků

q_u – pevnost v prostém tlaku

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Hloubka plastické zóny dle Prandtla:

Orientační dosah plastické zóny:

S1-S3 a G1-G3:

$$z_s = 2b, l_s = 6b$$

Ostatní:

$$z_s = b, l_s = 2,5b$$

$$z_s = \frac{b_{ef}}{2} \cdot \frac{\cos \varphi_d}{\cos\left(45 + \frac{\varphi_d}{2}\right)} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\arccos \varphi_d}{2}\right) \cdot \operatorname{tg} \varphi_d} \quad [m]$$

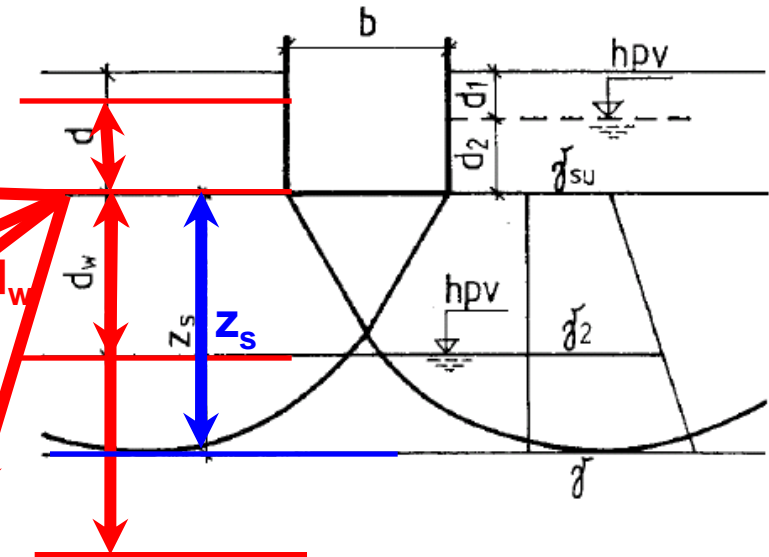
Vliv vody:

a) $d_w > z_s \rightarrow \gamma_2 = \gamma$

b) $0 < d_w < z_s \rightarrow \gamma_2 = \gamma_{su} + \frac{d_w}{z_s} \cdot (\gamma - \gamma_{su})$

c) $d_w = 0 \rightarrow \gamma_2 = \gamma_{su}$

d) $d_w < 0 \rightarrow \gamma_2 = \gamma_{su}; \quad \gamma_1 = \frac{\gamma \cdot d_1 + \gamma_{su} \cdot d_2}{d_1 + d_2}$



MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Součinitelé únosnosti:

$$A = N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

$$B = N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d$$

$$C = N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

$$k_p = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_d}{2} \right)$$

$$N_c = \left[e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi_d} \cdot k_p - 1 \right] \cdot \cot g \varphi_d$$

$$N_d = e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi_d} \cdot k_p$$

$$N_b = 1,5 \cdot \left[e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi_d} \cdot k_p - 1 \right] \cdot \operatorname{tg} \varphi_d$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Součinitelé tvaru základu:

$$A = N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

$$B = N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d$$

$$C = N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

$$s_c = \frac{s_d \cdot N_d - 1}{N_d - 1}$$

$$s_d = 1 + \frac{b_{ef}}{l_{ef}} \cdot \sin \varphi_d$$

$$s_b = 1 - 0,3 \cdot \frac{b_{ef}}{l_{ef}}$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Součinitelé vlivu hloubky založení :

$$A = N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

$$B = N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d$$

$$C = N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b_{ef}}}$$

$$d_d = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b_{ef}} \cdot \sin 2\varphi_d}$$

$$d_b = 1$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Součinitelé vliv šikmosti zatížení:

$$A = N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

$$B = N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d$$

$$C = N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

Pro H rovnoběžné - s délkou základu (l_{ef})

$$i_c = \frac{i_d \cdot N_d - 1}{N_d - 1}$$

$$i_d = i_b = 1 - \frac{H_{xd}}{V_d + A_{ef} \cdot c_d \cdot \cot g \varphi_d}$$

- s šířkou základu (b_{ef}):

$$i_c = \frac{i_d \cdot N_d - 1}{N_d - 1}$$

$$i_d = \left[1 - \frac{0,7 \cdot H_{yd}}{V_d + A_{ef} \cdot c_d \cdot \cot g \varphi_d} \right]^3$$

$$i_b = \left[1 - \frac{H_{yd}}{V_d + A_{ef} \cdot c_d \cdot \cot g \varphi_d} \right]^3$$

- bereme méně příznivý stav

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Výpočtová svislá únosnost (řešení podle BRINCH - HANSENa (1970)) dle EN (**nedrénované podmínky**):

$$R_d = (\pi + 2)c_u s_c i_c + q$$

Součinitel tvaru základu:

$$s_c = 1 + 0,2 \left(\frac{b_{ef}}{l_{ef}} \right) \quad \text{Pro obdélníkový základ}$$

$$s_c = 1,2 \quad \text{Pro čtvercový nebo kruhový základ}$$

Součinitelé vliv šikmosti zatížení:

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{\left[\frac{1-H}{A_{ef} \cdot c_u} \right]} \right)$$

$$q = \gamma_1 \cdot d$$

Používají se totální parametry vlastností zemin

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Základní podmínky vodorovné únosnosti

Drénované podmínky

Používají se efektivní parametry vlastností zemin

$$H_u \geq H_d$$

$$H_u = V_{ds} \cdot \operatorname{tg} \varphi_d + S_{pd}$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Základní podmínky vodorovné únosnosti

Nedrénované podmínky

Používají se totální parametry vlastností zemin

$$H_u \geq H_d$$

$$H_u = c_{u,d} \cdot A_{ef}$$

Příklad

Posudte dle EN napětí v základové spáře z hlediska mezního stavu únosnosti (vycházející z řešení J.BRINCH-HANSENA) u základové patky půdorysných rozměrů $b=1,8$ a $l=2,5$ [m], založeného v hloubce $d=1,8$ [m] pod úrovní původního rostlého terénu. Základ je zatížený silami $V_{Ed} = 425$ [kN] a ohybový moment $M_{Ed} = 70$ [kN] ve směru b .

Základovou půdu tvoří písčitá hlína, konzistence pevné, $S_r > 0,8$. Hladina podzemní vody se nachází 3,3 m pod úrovní původního rostlého terénu.

Tab. 11 SMĚRNÉ NORMOVÉ CHARAKTERISTIKY JEMNOZRNÝCH ZEMIN

Třída	Symbol	Charakteristika	Konzistence						
			měkká		tuhá	pevná		tvrdá	
			—		—	$S_r > 0,8$	$S_r < 0,8$	$S_r > 0,8$	$S_r < 0,8$
F 1	MG	ν, β, γ kN/m ³	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 19,0;$						
		E_{def} MPa	5 až 10	10 až 20	12 až 21	15 až 30	vyšetří se zkouškami		
		c_u kPa	40	70	70	70 až 80			
		φ_u °	0	0	10	12 až 15			
		c_{ef} kPa	4 až 12		8 až 16	16 až 12			16 až 24
		φ_{ef} °	26 až 32						
F 2	CG	ν, β, γ kN/m ³	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 19,5;$						
		E_{def} MPa	4 až 8	7 až 15	10 až 12	18 až 25	vyšetří se zkouškami		
		c_u kPa	30	60	60	60 až 70			
		φ_u °	0	0	10	12 až 15			
		c_{ef} kPa	6 až 14		10 až 18	18 až 36			18 až 26
		φ_{ef} °	24 až 30						
F 3	MS	ν, β, γ kN/m ³	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 18,0;$						
		E_{def} MPa	3 až 6	5 až 8	8 až 12	12 až 15	vyšetří se zkouškami		
		c_u kPa	30	60	60	60 až 70			
		φ_u °	0	0	10	12 až 15			
		c_{ef} kPa	8 až 16		12 až 20	20 až 40			20 až 28
		φ_{ef} °	24 až 29						
F 4	CS	ν, β, γ kN/m ³	$\nu = 0,35; \beta = 0,62; \gamma = 18,5;$						
		E_{def} MPa	2,5 až 4	4 až 6	5 až 8	8 až 12	vyšetří se zkouškami		
		c_u kPa	30	50	70	70 až 80			
		φ_u °	0	0	5	8 až 14			
		c_{ef} kPa	10 až 18		14 až 22	22 až 44			22 až 30
		φ_{ef} °	22 až 27						

Příklad

Stanovení svislé výpočtové únosnosti - dle EN (řešení dle BRINCH - HANSENa (1970):

Výpočtové charakteristiky zemin:

Dle ČSN

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{\gamma_{m\gamma}} = \underline{\underline{18}}$$

$$c_d = \frac{c_{ef}}{\gamma_{mc}} = \underline{\underline{48}}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_d = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{ef}}{\gamma_{m\varphi}} = \underline{\underline{0,141}}$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (1.MS) (2.GK)

Výpočtové hodnoty parametrů zemin:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{\gamma_{m\gamma}}$$

$$c_d = \frac{c_{ef}}{\gamma_{mc}}$$

$$tg \varphi_d = \frac{tg \varphi_{ef}}{\gamma_{mtg\varphi}}$$

Dle EN: viz tabulka

Přístup	Součinitel γ_F			Součinitel γ_m					Součinitel γ_R	
	stálé		proměnné nepříznivé	tg φ	c'	c _u	q _u	γ	zaboření	usmyknutí
	nepříznivé	příznivé								
^a 1-GEO	1,00	1,00	1,30	1,25	1,25	1,40 (1,60)	1,40	1,00	1,00	1,00
^b 1-STR	1,35	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	1,35	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40	1,10
3	1,00 (1,35)	1,00 (1,00)	1,30 (1,50)	1,25	1,25	1,40	1,40	1,00	1,00	1,00

GEO – porušení nebo nadměrná deformace základové půdy

STR – porušení nebo nadměrná deformace konstrukce nebo konstrukčních prvků

q_u – pevnost v prostém tlaku

Příklad

Stanovení kontaktního napětí:

Excentricita [m]

$$e = \frac{M_{de}}{V_{de}} = 0,165$$

Výpočet efektivních rozměrů základu:

$$l_{ef} = \underline{\underline{2,5}} \text{ [m]}$$

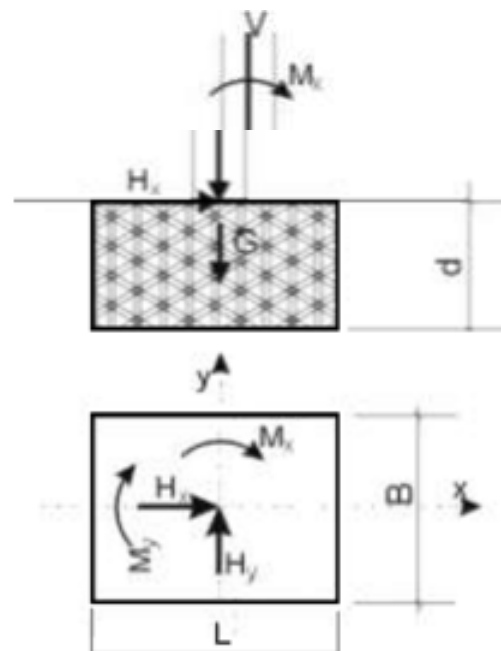
$$b_{ef} = b - 2 \cdot e_b = \underline{\underline{1,47}} \text{ [m]}$$

Výpočet efektivní plochy základu:

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot l_{ef} = \underline{\underline{3,676}} \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet kontaktního napětí:

$$\sigma_{de} = \frac{V_{de}}{A_{ef}} = \underline{\underline{115,6}} \text{ [kPa]}$$



Součinitelé únosnosti:

$$k_p = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_d}{2} \right) = \underline{\underline{1,325}}$$

$$N_c = \left[e^{\pi \operatorname{tg} \varphi_d} \cdot k_p - 1 \right] \cdot \cot g \varphi_d = \underline{\underline{7,539}}$$

$$N_d = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi_d} \cdot k_p = \underline{\underline{2,063}}$$

$$N_b = 1,5 \cdot \left[e^{\pi \operatorname{tg} \varphi_d} \cdot k_p - 1 \right] \cdot \operatorname{tg} \varphi_d = \underline{\underline{0,225}}$$

Součinitelé tvaru základu:

$$s_b = 1 - 0,3 \cdot \frac{b_{ef}}{l_{ef}} = \underline{\underline{0,824}}$$

$$s_d = 1 + \frac{b_{ef}}{l_{ef}} \cdot \sin \varphi_d = \underline{\underline{1,082}}$$

$$s_c = \frac{s_d \cdot N_d - 1}{N_d - 1} = \underline{\underline{1,159}}$$

Součinitel vlivu hloubky založení:

$$d_b = 1$$

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b_{ef}}} = \underline{\underline{1,111}}$$

$$d_d = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b_{ef}} \cdot \sin 2\varphi_d} = \underline{\underline{1,064}}$$

Příklad

Součinitel vlivu šikmého zatížení (bereme méně příznivý stav):

Pro H rovnoběžné - s délkou základu (l_{ef})

$$i_c = \frac{i_d \cdot N_d - 1}{N_d - 1}$$

$$i_d = i_b = 1 - \frac{H_{xd}}{V_d + A_{ef} \cdot c_d \cdot \cot g \varphi_d}$$

- s šířkou základu (b_{ef}):

$$i_c = \frac{i_d \cdot N_d - 1}{N_d - 1}$$

$$i_d = \left[1 - \frac{0,7 \cdot H_{yd}}{V_d + A_{ef} \cdot c_d \cdot \cot g \varphi_d} \right]^3$$

$$i_b = \left[1 - \frac{H_{yd}}{V_d + A_{ef} \cdot c_d \cdot \cot g \varphi_d} \right]^3$$

Výpočet svislé výpočtové únosnosti

$$R_d = c_d \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d + \gamma_2 \cdot \frac{b_{ef}}{2} \cdot N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b = \underline{\underline{545,41}} \text{ [kPa]}$$

Posouzení únosnosti základové půdy

