

Vzorový příklad 4 : individuální zadání pro $n = 29$

1 Svislé napětí v podzákladích od přitížení základové spáry - teorie

Velmi běžným případem, který řeší stavební praxe, je potřeba stanovit, jak se zvýší svislý tlak v podzákladích vlivem přitížení stavbou v úrovni základové spáry. Od tohoto napětí vznikají svislé deformace základové půdy a počítá se z něho sedání stavby.

1.1 Přítížení základové spáry

Běžně stavba probíhá tak, že se v prostoru budoucí stavby vytěží zemina do úrovně základové spáry a do stavební jámy se umístí stavba, která přes své základy vnáší do podloží vyšší napětí, než které zde působil dříve. Toto zvýšené působící napětí v úrovni základové spáry se označuje jako přitížení základové spáry.

V úrovni základové spáry původně působil svislé napětí od tíhy zeminy – geostatické napětí

$$\sigma_{or} = \gamma \cdot d,$$

kde γ je objemová tíha nad základovou spárou a d je hloubka založení.

Zemina nad základovou spárou je pak odtěžena do požadované hloubky založení d . Místo původního napětí od tíhy zeminy σ_{or} je základová spára přitížena zatížením od prováděné stavby σ . Změna napětí v úrovni základové spáry se nazývá **přítížení základové spáry** a vypočítá se jako

$$\sigma_{ol} = \sigma - \sigma_{or}.$$

1.2 Tuhý a poddajný základ

Tuhý základ se v okolní základové půdě chová jako tuhé těleso, které se vtlačuje do podloží jako celek a přitom se nedeformuje. K tomu může docházet např. tam, kde se betonová základová patka vtlačuje do měkkého hlinitého nebo jílovitého podloží. Tuhý základ **sedá jako celek nebo se naklání jako celek**.

Poddajný základ se během vtlačování do podloží také sám deformuje a **mění svůj tvar**. Např. se pod soustředěným zatížením ve středu prohne. Tento případ nastává tam, kde rozdíl v tuhosti základové půdy a tuhosti základové konstrukce není tak velký, jako u tuhého základu.

Tuhost systému „základová půda – plošný základ“ lze určit ze vztahu

$$k = \frac{E}{E_{def}} \left(\frac{t}{\text{rozměr}} \right)^3,$$

kde E je modul pružnosti základové konstrukce, E_{def} – modul přetvárnosti základové půdy, t – tloušťka základu a *rozměr* je rozměr základu ve směru stanovované tuhosti (např. délka, šířka nebo průměr základu).

Základ je poddajný, když $k < 1$, základ je tuhý, když $k > 1$.

1.3 Svislé napětí σ_z vznikající v podzákladích vlivem přitížení základové spáry

Pro stanovení svislého napětí σ_z , které vzniká v podloží vlivem zatížení na povrchu, lze použít grafů na obr. 3, 4 a 5.¹ Svislé normálové napětí v hloubkách z pod základovou spárou pod zvoleným bodem na povrchu se určí jako

$$\sigma_z = \sigma_{ol} \cdot I,$$

¹ Grafy vycházejí z teorie pružného poloprostoru, ze vztahů odvozených Boussinesquem.

kde I je koeficient závislý na geometrických parametrech základu, pozici bodu, pod kterým stanovujeme napětí σ_z , a hloubce z . Součinitel I se odečte z grafu nebo se stanoví jako kombinace několika dílčích součinitelů.

V grafech se na svislé ose vynáší poměr hloubky z pod základovou spárou a rozměru základu (průměr kruhového základu nebo šířka základu) a na vodorovné ose se odečítá hledaný dílčí koeficient I .

1.4 Vliv hloubky založení

Grafy na obr. 3, 4 a 5 jsou zpracovány pro případ, kdy zatížení působí na povrchu a ne pod úrovní terénu. Běžně se ale základová spára stavby umísťuje do určité hloubky d pod povrchem – na dno stavební jámy. K řešení tohoto problému je možné použít Jelinkovu metodu náhradních hloubek, ve které se hloubka z , pro kterou se stanovuje napětí σ_z , vynásobí empirickým součinitelem κ_1 větším než 1. κ_1 se odečte z grafu (obr. 2).

$$z_{r1} = \kappa_1 * z$$

Napětí σ_z stanovené pro náhradní hloubku z_{r1} však působí v původní hloubce z .

2 Vzorový příklad 4a: Svislé napětí σ_z pod kruhovým základem od přitížení σ_{ol} v základové spáře: individuální zadání pro $n = 29$

Zadání:

Stanovte svislé napětí σ_z od přitížení v základové spáře σ_{ol} pod kruhovým základem o průměru $2r = B$. Vyhodnoťte a vykreslete napětí σ_z pod středem základu (= pod bodem A1), pod okrajem základu (= pod bodem A3) a ve vzdálenosti $B/2 = r$ od okraje základu (= pod bodem A4) v hloubkách $z = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 14$ a 18 m pod základovou spárou. Do výpočtu zaveďte vliv hloubky založení.

Průměr základu: $2r = B = 8 + 0,2 * n$ (m) = $8 + 0,2 * 29 = 13,8$ m;

hloubka založení: $d = 2$ m;

objemová tíha zeminy nad základovou spárou: $\gamma = 18,5$ kN/m³;

rovnorné kontaktní napětí od stavby v úrovni základové spáry:

$$\sigma = 202 + 5 * n$$
 (kPa) = $202 + 5 * 29 = 347$ kPa.

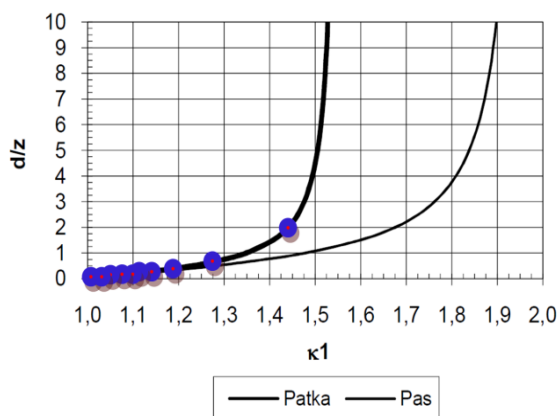
2.1 Přitížení základové spáry

Geostatické napětí v úrovni základové spáry

$$\sigma_{or} = \gamma * d = 18,5 * 2,0 = 37$$
 kPa

Přitížení v základové spáře

$$\sigma_{ol} = \sigma - \sigma_{or} = 347 - 37 = 310$$
 kPa



Obr. 6: Čtení κ_1 pro příklad 4

2.2 Svislé napětí σ_z pod kruhovým základem

Máme vyčíslit svislá napětí σ_z v hloubkách $z = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 14$ a 18 m pod základovou spárou. Pro základovou spáru $z = 0$. Výpočet je proveden v Tab. 1.

Při výpočtu se nejprve zavedou náhradní hloubky kvůli hloubce založení d (kap. 1.4). Využije se grafu obr. 2 a obr. 6. V grafu je na svislé ose vynesena poměr d/z a pro jednotlivé hloubky z se podle tohoto poměru odečítá příslušný redukční koeficient κ_1 (viz Tab. 1, sloupce 4 a 5).

Náhradní hloubky

$$z_{r1} = \kappa_1 * z$$

jsou uvedeny ve sloupci 6 Tab. 1.

Pro kruhový základ zatížený svislým rovnoměrným zatížením je zpracovaný graf (obr. 3), kde se na svislé ose vynáší poměr z/b , v našem případě za z dosazujeme náhradní hloubku z_{r1} daného bodu pod základovou spárou a b je průměr kruhového základu:

popis na ose z/b : v našem případě $z = z_{r1}$, $b = B = 2r =$ průměr základu $z/b \rightarrow z_{r1}/B$

V grafu je uvedený návod na použití, který ukazuje, pro které body lze odečítat součinitele I :

Bod A1 – střed kruhového základu, bod A3 – okraj základu a bod A4 – bod mimo základ, ve vzdálenosti $B/2 = r$ od okraje základu nebo $B = 2r$ od středu základu. Pod těmito body máme vyhodnotit napětí σ_z v požadovaných hloubkách. Ve sloupci 7 Tab. 1 je uveden průměr základu, ve sloupci 8 je poměr z_{r1}/B . V 9. sloupci jsou uvedeny součinitele I_{A1} odečtené pro střed základu A1, ve sloupci 10 jsou součinitele I_{A3} pro okraj základu A3 a v 11. sloupci jsou součinitele I_{A4} pro bod A4 mimo základ. Ve sloupcích 12, 13 a 14 jsou vyčíslena příslušná napětí

$$\sigma_z = \sigma_{ol} * \text{příslušné } I_A.$$

Tab. 1: Napětí pod kruhovým základem

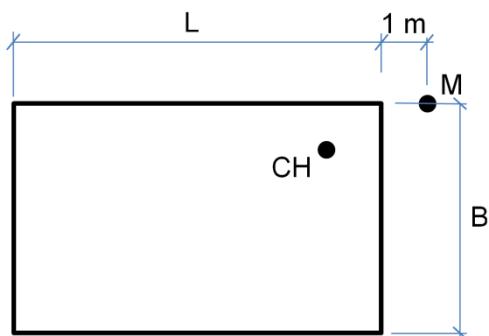
č. sloupce										přetížení $\sigma_{ol} = 310$ kPa				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			Náhradní hloubka z_{r1}						Součinitele I			Napětí s_z pod bodem A1		
poř. č. bodu	hloubka pod zákl. spárou z (m)	hloubka založení d (m)	d/z	kapa 1	náhradní hloubky z_{r1} (m)	Průměr základu B (m)	z_{r1}/B	I_{A1}	I_{A3}	I_{A4}	Napětí σ_z pod bodem A1	Napětí σ_z pod bodem A3	Napětí σ_z pod bodem A4	
1	1,0	2,0	2,000	1,44	1,44	13,8	0,104	0,98	0,46	0,00	303,8	142,6	0,6	
2	3,0	2,0	0,667	1,28	3,84	13,8	0,278	0,85	0,40	0,02	263,5	124,0	5,0	
3	5,0	2,0	0,400	1,19	5,95	13,8	0,431	0,69	0,34	0,03	213,9	105,4	10,5	
4	7,0	2,0	0,286	1,14	7,98	13,8	0,578	0,55	0,30	0,05	170,5	93,0	15,5	
5	9,0	2,0	0,222	1,12	10,08	13,8	0,730	0,43	0,25	0,06	133,3	77,5	18,6	
6	11,0	2,0	0,182	1,1	12,10	13,8	0,877	0,34	0,22	0,07	105,4	68,2	20,8	
7	14,0	2,0	0,143	1,08	15,12	13,8	1,096	0,24	0,17	0,07	74,4	52,7	21,7	
8	18,0	2,0	0,111	1,06	19,08	13,8	1,383	0,17	0,13	0,07	52,7	40,3	20,8	

Průběh napětí σ_z pod body A1, A3 a A4 vykreslete v měřítku délek a napětí do 1 obrázku. Vykreslete také průběh napětí v úrovni 1 m p. t. a 9 m p. t.

3 Vzorový příklad 4b: Svislé napětí σ_z pod tuhým obdélníkovým základem od rovnoměrného přitížení σ_{ol} v základové spáře: individ. zadání pro $n = 29$

Zadání:

Stanovte svislé napětí σ_z od přitížení v základové spáře pod tuhým obdélníkovým základem půdorysných rozměrů $L \times B$. Vyhodnoťte a vykreslete průběh napětí σ_z pod charakteristickým bodem CH základu a pod bodem M, který leží mimo základ v pozici – viz obr. 1 v hloubkách



Obr. 7: Zadání př. 4b

$z = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 14$ a 18 m pod základovou spárou. Do výpočtu zaveďte vliv hloubky založení.

$$\text{Délka základu: } L = 8 + 0,1 \cdot n \text{ (m)} = 10,9 \text{ m;}$$

$$\text{šířka základu: } B = 8 - 0,1 \cdot n \text{ (m)} = 5,1 \text{ m;}$$

$$\text{hloubka založení: } d = 2 \text{ m;}$$

objemová tíha zeminy nad základovou spárou:

$$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3;$$

rovnoměrné kontaktní napětí od stavby v úrovni základové spáry:

$$\sigma = 202 + 2 \cdot n \text{ (kPa)} = 260 \text{ kPa.}$$

3.1 Svislé napětí σ_z pod charakteristickým bodem obdélníkového základu

Charakteristický bod obdélníkového základu je místo na základu, kde je teoretické sedání tuhého i poddajného základu stejné. U obdélníkového základu má tento bod souřadnice $[0,37B ; 0,37L]$ od středu základu (viz Obr. 4). Napětí pod tímto bodem lze vyhodnotit pomocí grafu na Obr. 4.

3.1.1 Příklad 4b – přitížení v základové spáře a vliv hloubky založení

Přitížení v základové spáře (viz kap. 1.1):

$$\sigma_{ol} = \sigma - \sigma_{or} = \sigma - \gamma \cdot d = 260 - 18,5 \cdot 2,0 = 260 - 37 = 223 \text{ kPa}$$

Vliv hloubky založení: závisí na hloubce založení d a volených hloubkách pod základovou spárou z . V př. 4b jsou stejné jako v př. 4a, vliv hloubky založení je tedy stejný jako v př. 4a (viz kap. 2.2 a Tab. 1 a Tab. 2, sloupce 4 - 6).

Rozměry obdélníkového základu v př. 4B pro zadání 29 jsou:

$$\text{délka } L = 10,9 \text{ m, šířka základu } B = 5,1 \text{ m.}$$

Délka je vždy větší rozměr základu.

3.1.2 Příklad 4b – napětí pod charakteristickým bodem

Pod grafem na Obr. 4 pro stanovení napětí pod charakteristickým bodem je opět návod na použití. Pomocí grafu vyhodnotíme součinitel I_{CHAR} ($= I_2$ v grafu). Je zpracován pro vyhodnocení napjatosti pod charakteristickým bodem tuhého základu zatíženého rovnoměrným svislým zatížením. Na svislé ose grafu se vynáší poměr:

$$z/b \quad \text{v našem případě } z = z_{r1} \quad b = B \quad z/b \rightarrow z_{r1}/B$$

V grafu jsou dva svazky linií - pro svazek linií vlevo se odečítá z poměru $z/b \rightarrow z_{r1}/B$ na stupnici vlevo; pro svazek linií vpravo se odečítá z poměru $z/b \rightarrow z_{r1}/B$ na stupnici vpravo.

Jednotlivé linie svazku jsou zpracované pro jednotlivé štíhlostní poměry základu l/b . Řešený případ má štíhlostní poměr základu

$$l/b = L/B = 10,9 / 5,1 = 2,14 \quad (\text{viz také Tab. 2, sloupec 9}).$$

(viz Tab. 2, sloupec 12). Napětí σ_z pod charakteristickým bodem opět vykreslete v měřítku délek a napětí. Z grafu se tedy odečítá z interpolační linie pro $L/B = 2,1$, kterou je třeba si do svazku linií vkreslit mezi 3. a 4. linií zleva mezi linie pro $l/b = 2$ a $l/b = 3$. Příslušné součinitele I_{CHAR} ($= I_2$ v grafu) se odečítají na horní vodorovné ose grafu. Pro řešený příklad jsou zapsány ve sloupci č. 11 Tab. 2. Napětí od přitížení v hledané hloubce se stanoví opět jako

$$\sigma_z = \sigma_{ol} \cdot I_{CHAR} (= \sigma_{ol} \cdot I_2 \text{ z grafu}),$$

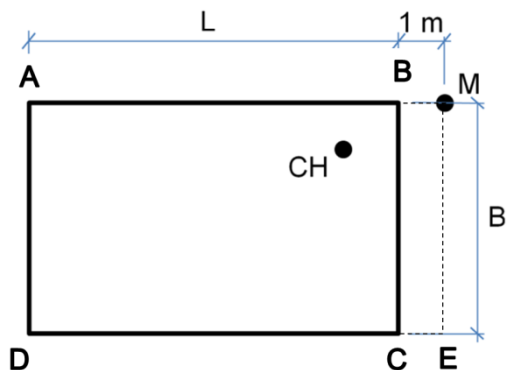
Tab. 2: Napětí pod charakteristickým bodem tuhého obdélníkového základu zatíženého rovnoměrným svislým zatížením

Napětí pod charakteristickým bodem

č. sloupce								přítížení $\sigma_d = 223$ kPa			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			Náhradní hloubka z_{r1}			Rozměry základu			Souč. I	Souč. I	σ_z
poř. č. bodu	hloubka pod zákl. spárou z (m)	hloubka založení d (m)	d/z	kapa 1	náhradní hloubky z_{r1} (m)	Délka základu L (m)	Šířka základu B (m)	štíhlostní poměr základu L/B	z_{r1}/B	I_{char}	Napětí σ_z pod charakt. bodem (kPa)
1	1,0	2,0	2,00	1,44	1,44	10,9	5,1	2,14	0,28	0,69	153,9
2	3,0	2,0	0,67	1,28	3,84	10,9	5,1	2,14	0,75	0,39	87,0
3	5,0	2,0	0,40	1,19	5,95	10,9	5,1	2,14	1,17	0,27	60,2
4	7,0	2,0	0,29	1,14	7,98	10,9	5,1	2,14	1,56	0,20	44,6
5	9,0	2,0	0,22	1,12	10,08	10,9	5,1	2,14	1,98	0,16	35,7
6	11,0	2,0	0,18	1,1	12,10	10,9	5,1	2,14	2,37	0,10	22,3
7	14,0	2,0	0,14	1,08	15,12	10,9	5,1	2,14	2,96	0,08	17,8
8	18,0	2,0	0,11	1,06	19,08	10,9	5,1	2,14	3,74	0,06	13,4

3.2 Svislé napětí σ_z od zatížení obdélníkového základu mimo základ – kombinace napětí pod rohem zatíženého obdélníka

Přítížení a vliv hloubky založení v základové spáře je stejné jako v př. 4a a 4b pro charakteristický bod. První část výpočtu je tedy stejná (viz Tab. 2 a Tab. 3, sloupce 1 – 8 jsou stejné, v Tab. 3 jsou sloupce 3 – 5 skryté).



Obr. 8: Kombinace zatížených obdélníků pro stanovení napětí σ_z pod bodem M

Na obr. 5 je graf pro odečet součinitele I_1 pro stanovení napětí σ_z pod rohem rovnoměrně zatíženého poddajného obdélníkového základu. Pomocí něho lze stanovit napětí v kterémkoli bodu podzákladí kombinací vhodně zvolených zatěžovacích obdélníků. **Kombinace výpočtu pro bod M mimo základ: Pro stanovení napětí σ_z pod bodem M v zadaném příkladu (Obr. 8) se příslušný součinitel I_M vypočítá jako rozdíl součinitele I_{AMED} stanoveného pro zatížený obdélník AMED a součinitele I_{BMEC} stanoveného pro obdélník BMEC:**

$$I_M = I_{AMED} - I_{BMEC}$$

Rozměry obdélníka AMED:

délka $(L+1) = 10,9 + 1 = 11,9$ m, šířka obdélníka $B = 5,1$ m; štíhlostní poměr

$$l/b = 11,9 / 5,1 = 2,33 \quad (\text{viz také Tab. 3, sloupec č. 10}).$$

Rozměry obdélníka BMEC:

větší rozměr obdélníka = $B = 5,1$ m, šířka obdélníka = $1,0$ m;
 štiřlostní poměr

$$l/b = B/1 = 5,1 \quad (\text{viz také Tab. 3, sloupec č. 15}).$$

Tab. 3: Napětí pod bodem M obdélníkového základu

Napětí pod obdélníkovým základem - bod M 1m mimo základ

č. sloupce													přítížení $\sigma_d = 223$ kPa			
1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
poř. č. bodu	hloubka pod zákl. spárou z (m)	náhradní hloubky z_{r1} (m)	Rozměry základu			Součinitel I_{AMED}			Součinitel I_{BMEC}			$I_M = I_{AMED} \cdot I_{BMEC}$	Napětí σ_z pod bodem M (kPa)			
			Délka základu L (m)	Šířka základu B (m)	vzdálenost bodu M od základu (m)	štiřlostní poměr $(L+1)/B$	z_{r1}/B	I_{AMED}	štiřhl. poměr*) B/1	z_{r1}^2	I_{BMEC}					
1	1,0	1,44	10,9	5,1	1,0	2,33	0,28	0,25	5,10	1,44	0,17	0,08	17,2			
2	3,0	3,84	10,9	5,1	1,0	2,33	0,75	0,22	5,10	3,84	0,07	0,15	34,1			
3	5,0	5,95	10,9	5,1	1,0	2,33	1,17	0,19	5,10	5,95	0,04	0,15	32,3			
4	7,0	7,98	10,9	5,1	1,0	2,33	1,56	0,15	5,10	7,98	0,03	0,12	27,0			
5	9,0	10,08	10,9	5,1	1,0	2,33	1,98	0,13	5,10	10,08	0,02	0,11	25,2			
6	11,0	12,10	10,9	5,1	1,0	2,33	2,37	0,11	5,10	12,10	0,01	0,10	21,9			
7	14,0	15,12	10,9	5,1	1,0	2,33	2,96	0,08	5,10	15,12	0,01	0,07	15,6			
8	18,0	19,08	10,9	5,1	1,0	2,33	3,74	0,06	5,10	19,08	0,006	0,06	13,4			

*) Délka základu (v grafu "l") je vždy větší rozměr řešeného obdélníka, šířka základu (v grafu "b") je vždy kratší rozměr obdélníka.

Výsledné součinitele I_M jsou uvedeny ve sloupci 16 Tab. 3. Po vynásobení I_M přítížením $\sigma_d = 223$ kPa se získají příslušná napětí σ_z pod bodem M (viz Tab. 3, sloupec 17). Napětí σ_z pod bodem M opět vykreslete v měřítku délek a napětí.