

**Fakulta stavební VUT v Praze**



**Komentovaný vzorový příklad výpočtu  
suterénní zděné stěny zatížené kombinací  
normálové síly a ohybového momentu**

**Výuková pomůcka**

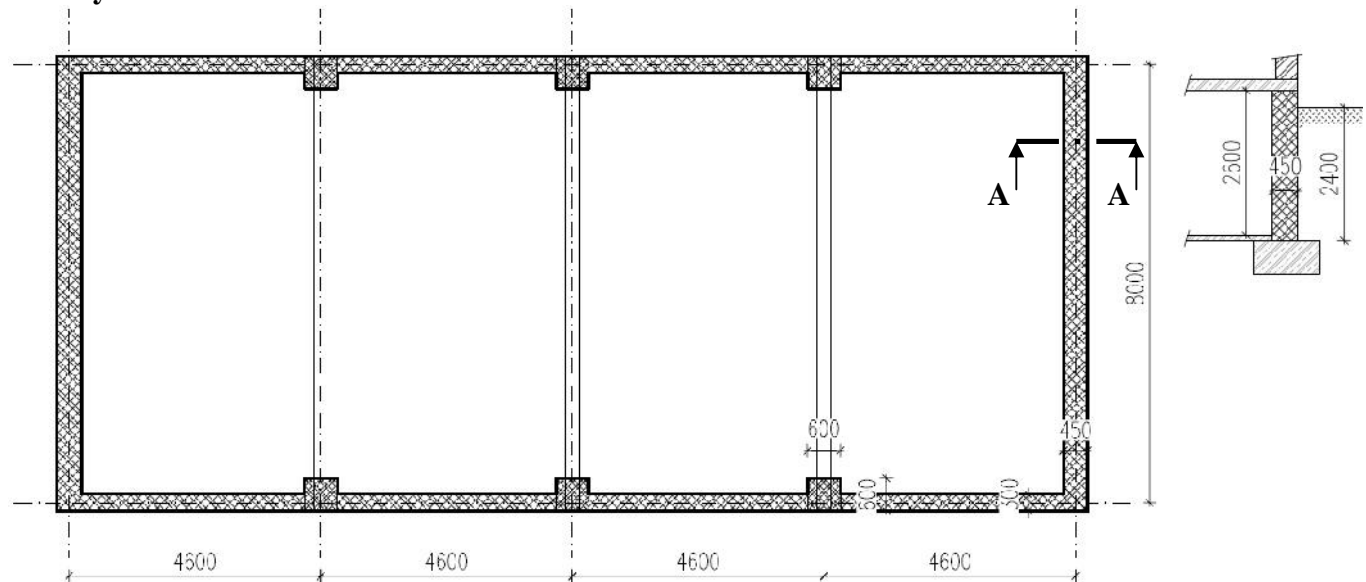
**Ing. Petr Bílý, 2012**

## Zadání vzorového p íkladu

Níže uvedená schémata zobrazují konstrukci vícepodlažního zd ného objektu se stropy z dutinových železobetonových panel uložených na železobetonové trámy a zd né st ny a pilí e. Stropy jsou jednosm rn pnuté na kratší rozpon.

Úkolem je posoudit suterénní zd né st ny na kombinované namáhání normálovou silou od vrchní stavby a ohybovým momentem od zeminy. Cílem bude stanovit, ve kterém stádiu výstavby je možno bezpečně provést zasypání suterénu zeminou a zda jsou st ny schopny přenést extrémní zatížení působící na ně v provozním stavu.

### P dorysné schéma suterénu



### Pro výpočet budou použity následující vstupní hodnoty

- Vlastní tíha dutinových stropních panelů  $g_k = 4,16 \text{ kN/m}^2$
- Proměnné zatížení stropní konstrukce jednoho podlaží  $q_{t,k} = 3 \text{ kN/m}^2$
- Proměnné zatížení ploché stěchy  $q_{s,k} = 1,5 \text{ kN/m}^2$
- Počet nadzemních podlaží:  $n = 3$
- Zdivo suterénních stěn z cihel plných pálených P10 na maltu cementovou MC5, pevnost  $f_d = 1,86 \text{ MPa}$
- Objemová tíha zdiva suterénních stěn  $\gamma_{zk} = 1700 \text{ kg/m}^3 = 17 \text{ kN/m}^3$
- Zdivo vrchní stavby z broušených zdících bloků HELUZ STI 40 na tenkovrstvou maltu, plošná hmotnost zdiva  $p_k = 305 \text{ kg/m}^2 = 3,05 \text{ kN/m}^2$
- Světlostá výška suterénu  $h = 2600 \text{ mm}$
- Výška zásypu  $h_e = 2400 \text{ mm}$
- Objemová tíha zeminy  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Konstrukční výška nadzemních podlaží  $h_k = 3000 \text{ mm}$
- Tloušťky stěn  $t_1 = 450 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 300 \text{ mm}$  (viz p dorysné schéma)

## Metoda výpočtu

Výpočet bude proveden **metodou posouzení suterénních stěn podle normy SN EN 1996-3 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – část 3: Zjednodušené metody výpočtu nevyztužených zděných konstrukcí**. Tato metoda vyžaduje splnění několika předpokladů, viz následující tabulka.

číslo	Předpoklad	Splnění
1	Sv tlá výška stěny $h$ není vyšší než 2,6 m	Splněno, viz zadání
2	Tloušťka stěny $t$ není menší než 200 mm	Splněno, viz zadání
3	Stěna je podepřena na všech čtyřech okrajích	Splněno, viz zadání
4	Strop podzemního podlaží působí ve své rovině jako tuhá deska, která je schopná výsledné síly od zemního tlaku převzít a dále rozvést do příčných stěn.	Splněno, železobetonový strop je dostatečně tuhý
5	Charakteristická hodnota rovnoměrného užitečného zatížení terénu podél stěny $q_k$ není větší než $5 \text{ kN/m}^2$	Předpokládáme, že je splněno
6	Charakteristická hodnota osamělého břemene $Q_k$ , které působí v pruhu šířky 1,5 m podél stěny, není větší než 15 kN	Předpokládáme, že je splněno
7	Povrch terénu vedle stěny je rovinný nebo ve spádu od budovy	Splněno, viz zadání
8	Výška zásypu není větší než výška stěny	Splněno, viz zadání
9	Na stěnu nepůsobí žádný hydrostatický tlak	Splněno, hladina podzemní vody pod základovou spárou
10	Ve stěně se nevyskytuje žádná kluzná plocha, například izolace proti zemní vlhkosti.	Splněno, stěna je v patě opřena o ŽB desku, nehrozí její uklouznutí

**Princip posouzení spoívá v ověření dvou podmínek spolehlivosti**, které jsou vyjádřeny dvěma nerovnicemi. První nerovnice kontroluje, zda je stěna dostatečně svíslé přitížena, aby odolala vodorovným úhlným zatížením od zeminy. Splnění druhé nerovnice pak zaručuje, že není překročena tlaková únosnost stěny ve svíslém směru:

$$N_{Ed,min} \geq F_{Ed} = \frac{\gamma b h h_e^2}{S_e t}$$

$$N_{Ed,max} \leq N_{Rd} = \frac{b t f_d}{3}$$

kde:  $N_{Ed,min}$  je minimální návrhová hodnota síly od svíslého přitížení v úrovni poloviny výšky zásypu (tj. de facto charakteristická hodnota stálého zatížení, nebo dílčí součinitel pro zatížení působící ve prospěch bezpečnosti konstrukce je 1,00 pro stálé a 0,00 pro proměnné zatížení),

$N_{Ed,max}$  je maximální návrhová hodnota síly od svíslého přitížení v úrovni poloviny výšky zásypu (tj. de facto návrhová hodnota veškerého stálého i proměnného zatížení),

$F_{Ed}$  je boční úhlné zatížení,

$\gamma$  je objemová tíha pŕirozené vlhké zeminy (objemová hmotnost zásypu),

$b$  je šířka stěny, uvažuje se  $b = 1 \text{ m}$ ,

$h$  je sv tlá výška stěny,

$h_e$  je výška zásypu,

$S_e$  je součinitel pro zohlednění vodorovného přenášení zatížení. Je-li  $L \geq 2h$ , je  $S_e = 20$ , pro  $L < h$  je  $S_e = 40$ , pro  $h < L < 2h$  je  $S_e = 60 - 20(L/h)$ .  $L$  je sv tlá délka stěny.

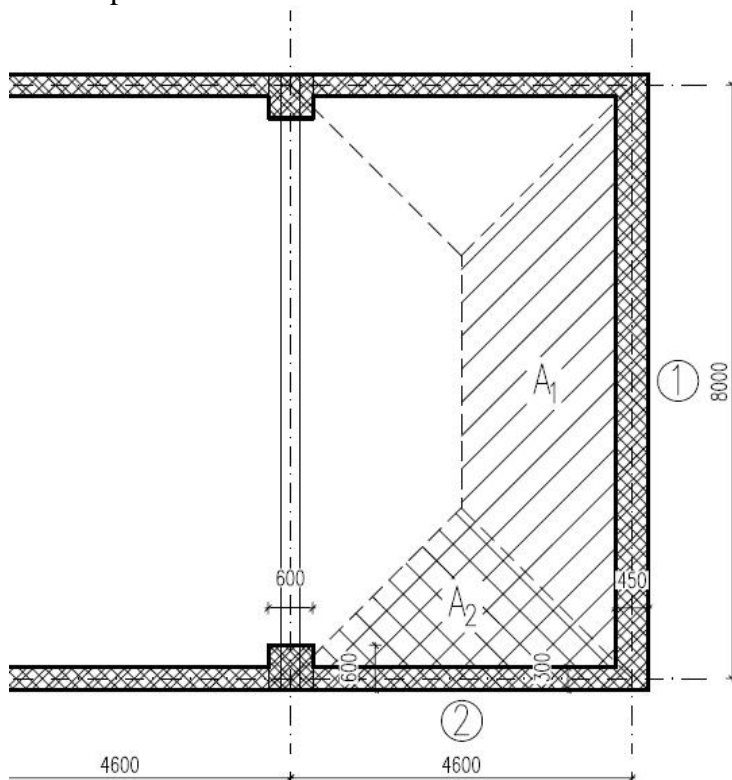
$t$  je tloušťka stěny,

$N_{Rd}$  je tlaková únosnost stěny,

$f_d$  je tlaková pevnost zdiva kolmo na ložné spáry.

## Výpočet

Výpočet bude proveden zvlášť pro stěnu ①, na které jsou přímo uloženy stropní panely (stěna na kratší straně objektu) a zvlášť pro stěnu mezi pilířmi ②, u které bude uvažováno pouze přitížení od zdiva vyšších podlaží a menší přilehlé části stropní konstrukce.



**Zatěžovací plochy.** Z výše uvedeného schématu odečteme plošné rozměry.

$$A_1 = 8 \cdot \frac{4,6}{2} - \frac{4,6}{2} \cdot \frac{4,6}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = 13,11 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 4,6 \cdot \frac{4,6}{2} \cdot \frac{1}{2} = 5,29 \text{ m}^2$$

**Tlaková únosnost stěn.** Únosnosti počítáme na 1 metr šířky stěny.

$$N_{Rd,1} = \frac{bt_1 f_d}{3} = \frac{1,0 \cdot 0,45 \cdot 1,86}{3} = 279 \text{ kN/m}$$

$$N_{Rd,2} = \frac{bt_2 f_d}{3} = \frac{1,0 \cdot 0,30 \cdot 1,86}{3} = 186 \text{ kN/m}$$

**Boční úinek zásypu.** Úinek počítáme na 1 metr šířky stěny.

$$\text{Sv tlá délka stěny 2: } L_2 = 4600 - \frac{600}{2} - \frac{450}{2} = 4075 \text{ mm}$$

$$F_{Ed,1} = \frac{\chi b h h_e^2}{S_{e,1} t_1} = \frac{20 \cdot 1,0 \cdot 2,6 \cdot 2,4^2}{20 \cdot 0,45} = 33,3 \text{ kN/m}$$

$$F_{Ed,2} = \frac{\chi b h h_e^2}{S_{e,2} t_2} = \frac{20 \cdot 1,0 \cdot 2,6 \cdot 2,4^2}{\left(60 - 20 \frac{4075}{2600}\right) \cdot 0,3} = 34,8 \text{ kN/m}$$

**Maximální hodnota zatížení st ny v provozním stavu.** Zatížení po ítáme na 1 m délky st ny, uvažujeme osové délky, tj.  $l_1 = 8 \text{ m}$ ,  $l_2 = 4,6 \text{ m}$ .

<i>Vlastní tíha stropních desek</i>	<i>Prom nné zatížení stropních desek</i>	<i>Prom nné zatížení st echy</i>	<i>P evod na 1 m</i>	<i>ást st ny suterénu nad polovinou výšky zásypu</i>	<i>St ny nadzemních podlaží</i>
$N_{Ed,max,1} = \left( g_k \cdot X_G \cdot A_1 (n+1) + q_{tk} \cdot X_Q \cdot A_1 n + q_{s,k} \cdot X_Q \cdot A_1 \right) \frac{1}{l_1} + X_{zk} t_1 X_G \left( h - \frac{h_c}{2} \right) + p_k X_G h_k n$ $= \left( 4,16 \cdot 1,35 \cdot 13,11 \cdot 4 + 3 \cdot 1,5 \cdot 13,11 \cdot 3 + 1,5 \cdot 1,5 \cdot 13,11 \right) \frac{1}{8,0} + 17 \cdot 0,45 \cdot 1,35 \cdot \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 3,05 \cdot 1,35 \cdot 3 \cdot 3$ $= 114,1 \text{ kN/m} < N_{Rd,1} \Rightarrow \underline{\text{Konstrukce vyhovuje}}$					
$N_{Ed,max,2} = \left( g_k \cdot X_G \cdot A_2 (n+1) + q_{tk} \cdot X_Q \cdot A_2 n + q_{s,k} \cdot X_Q \cdot A_2 \right) \frac{1}{l_2} + X_{zk} t_2 X_G \left( h - \frac{h_c}{2} \right) + p_k X_G h_k n$ $= \left( 4,16 \cdot 1,35 \cdot 5,29 \cdot 4 + 3 \cdot 1,5 \cdot 5,29 \cdot 3 + 1,5 \cdot 1,5 \cdot 5,29 \right) \frac{1}{4,6} + 17 \cdot 0,3 \cdot 1,35 \cdot \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 3,05 \cdot 1,35 \cdot 3 \cdot 3$ $= 90,6 \text{ kN/m} < N_{Rd,2} \Rightarrow \underline{\text{Konstrukce vyhovuje}}$					

**Zatížení st ny p i do asné návrhové situaci .1: P ed zastropením suterénu.** Zatížení po ítáme na 1 m délky st ny, uvažujeme osové délky, tj.  $l_1 = 8 \text{ m}$ ,  $l_2 = 4,6 \text{ m}$ . Stálá zatížení uvažujeme v charakteristických hodnotách, prom nná zanedbáváme.

$$N_{Ed,min,1,1} = X_{zk} t_1 \left( h - \frac{h_c}{2} \right) = 17 \cdot 0,45 \cdot \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right)$$

$$= 10,7 \text{ kN/m} < F_{Ed,1} \Rightarrow \underline{\text{Konstrukce nevyhovuje}}$$

$$N_{Ed,min,2,1} = X_{zk} t_2 \left( h - \frac{h_c}{2} \right) = 17 \cdot 0,3 \cdot \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right)$$

$$= 7,14 \text{ kN/m} < F_{Ed,2} \Rightarrow \underline{\text{Konstrukce nevyhovuje}}$$

**Zatížení st ny p i do asné návrhové situaci .2: Po zastropení suterénu.** Zatížení po ítáme na 1 m délky st ny, uvažujeme osové délky, tj.  $l_1 = 8 \text{ m}$ ,  $l_2 = 4,6 \text{ m}$ . Stálá zatížení uvažujeme v charakteristických hodnotách, prom nná zanedbáváme.

$$N_{Ed,min,1,2} = g_k A_1 \frac{1}{l_1} + X_{zk} t_1 \left( h - \frac{h_c}{2} \right) = 4,16 \cdot 13,11 \cdot \frac{1}{8,0} + 17 \cdot 0,45 \cdot \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right)$$

$$= 17,5 \text{ kN/m} < F_{Ed,1} \Rightarrow \underline{\text{Konstrukce nevyhovuje}}$$

$$N_{Ed,min,2,2} = g_k A_2 \frac{1}{l_2} + X_{zk} t_2 \left( h - \frac{h_c}{2} \right) = 4,16 \cdot 5,29 \cdot \frac{1}{4,6} + 17 \cdot 0,3 \cdot \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right)$$

$$= 11,9 \text{ kN/m} < F_{Ed,2} \Rightarrow \underline{\text{Konstrukce nevyhovuje}}$$

**Zatížení st ny p i do asné návrhové situaci .3: P ed zastropením 1. nadzemního podlaží.** Zatížení po ítáme na 1 m délky st ny, uvažujeme osové délky, tj.  $l_1 = 8$  m,  $l_2 = 4,6$  m. Stálá zatížení uvažujeme v charakteristických hodnotách, prom nná zanedbáváme.

$$N_{Ed,min,1,3} = g_k A_1 \frac{1}{l_1} + x_{zk} t_1 \left( h - \frac{h_e}{2} \right) + p_k h_k = 4,16 \cdot 13,11 \cdot \frac{1}{8,0} + 17 \cdot 0,45 \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 3,05 \cdot 3$$

$$= 26,7 \text{ kN/m} < F_{Ed,1} \Rightarrow \text{Konstrukce nevyhovuje}$$

$$N_{Ed,min,2,3} = g_k A_2 \frac{1}{l_2} + x_{zk} t_2 \left( h - \frac{h_e}{2} \right) + p_k h_k = 4,16 \cdot 5,29 \cdot \frac{1}{4,6} + 17 \cdot 0,3 \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 3,05 \cdot 3$$

$$= 21,1 \text{ kN/m} < F_{Ed,2} \Rightarrow \text{Konstrukce nevyhovuje}$$

**Zatížení st ny p i do asné návrhové situaci .4: Po zastropení 1. nadzemního podlaží.** Zatížení po ítáme na 1 m délky st ny, uvažujeme osové délky, tj.  $l_1 = 8$  m,  $l_2 = 4,6$  m. Stálá zatížení uvažujeme v charakteristických hodnotách, prom nná zanedbáváme.

$$N_{Ed,min,1,4} = 2g_k A_1 \frac{1}{l_1} + x_{zk} t_1 \left( h - \frac{h_e}{2} \right) + p_k h_k = 2 \cdot 4,16 \cdot 13,11 \cdot \frac{1}{8,0} + 17 \cdot 0,45 \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 3,05 \cdot 3$$

$$= 33,5 \text{ kN/m} < F_{Ed,1} \Rightarrow \text{Konstrukce nevyhovuje}$$

$$N_{Ed,min,2,4} = 2g_k A_2 \frac{1}{l_2} + x_{zk} t_2 \left( h - \frac{h_e}{2} \right) + p_k h_k = 2 \cdot 4,16 \cdot 5,29 \cdot \frac{1}{4,6} + 17 \cdot 0,3 \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 3,05 \cdot 3$$

$$= 25,9 \text{ kN/m} < F_{Ed,2} \Rightarrow \text{Konstrukce nevyhovuje}$$

**Zatížení st ny p i do asné návrhové situaci .5: P ed zastropením 2. nadzemního podlaží.** Zatížení po ítáme na 1 m délky st ny, uvažujeme osové délky, tj.  $l_1 = 8$  m,  $l_2 = 4,6$  m. Stálá zatížení uvažujeme v charakteristických hodnotách, prom nná zanedbáváme.

Vlastní tíha      P evod      ást st ny suterénu nad      St ny nadzemních  
stropních desek      na 1 m      polovinou výšky zásypu      podlaží

$$N_{Ed,min,1,5} = 2g_k A_1 \frac{1}{l_1} + x_{zk} t_1 \left( h - \frac{h_e}{2} \right) + 2p_k h_k = 2 \cdot 4,16 \cdot 13,11 \cdot \frac{1}{8,0} + 17 \cdot 0,45 \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 2 \cdot 3,05 \cdot 3$$

$$= 42,6 \text{ kN/m} > F_{Ed,1} \Rightarrow \text{Konstrukce vyhovuje}$$

$$N_{Ed,min,2,5} = 2g_k A_2 \frac{1}{l_2} + x_{zk} t_2 \left( h - \frac{h_e}{2} \right) + 2p_k h_k = 2 \cdot 4,16 \cdot 5,29 \cdot \frac{1}{4,6} + 17 \cdot 0,3 \left( 2,6 - \frac{2,4}{2} \right) + 2 \cdot 3,05 \cdot 3$$

$$= 35,0 \text{ kN/m} > F_{Ed,2} \Rightarrow \text{Konstrukce vyhovuje}$$

## Záv r

Z uvedeného výpo tu vyplývá, že **zasypání suterénu zeminou lze bezpe n provést po vyzd ní st n 2. nadzemního podlaží.** P i d ív jším zasypání by hrozilo porušení st n v d sledku p sobení zemních tlak .

P íklad ukazuje **d ležitost posuzování do asných návrhových situací.** A koliv zd né st ny v provozním stavu konstrukce bezpe n vyhoví na extrémní návrhové zatížení, p i menší hodnot zatížení v do asných návrhových situacích st ny vyhov t nemusí, nebo zatížení p sobí s výrazn v tší excentricitou (st ny jsou mén svisle p ítíženy) a je tedy pro zdivo nep ízniv jší.

Nosné pilí e pod trámy na ú ínek zemních tlak nebyly samostatn posuzovány, nebo jsou ve všech do asných návrhových situacích zatíženy více než sousední st ny a pokud tedy vyhoví st ny, vyhoví i pilí e. Podrobné posouzení pilí na tlak není p edm tem tohoto vzorového p íkladu.