

Komentovaný vzorový příklad posouzení rohového zděného pilíře

Vypracoval: Petr Bílý, červen 2023

Zadání

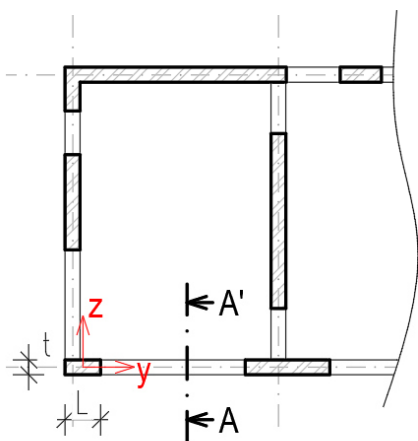
Posudte, zda rohový pilíř zděné budovy vyhoví z hlediska únosnosti v tlaku se zohledněním vlivu výstřednosti zatížení.

Vyděte ze zadaných průběhů vnitřních sil, které byly stanoveny na deskostěnovém konečněprvkovém modelu s uvažováním tuhých styčníků mezi svislými a vodorovnými prvky.

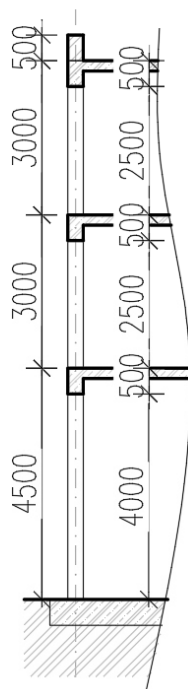
Parametry zadání:

- Schéma konstrukce – viz níže.
- Průběhy návrhových hodnot vnitřních sil z MKP modelu – viz níže.
- Šířka zdiva $t = 200$ mm
- Délka pilíře $L = 500$ mm
- Zdivo: Vápenopískové bloky na maltu pro tenké spáry
- Skupina zdicích prvků $S = 2$
- Normalizovaná pevnost zdicích prvků v tlaku $f_b = 20$ MPa
- Velikost návrhového zatížení větrem $w_d = 1,5$ kN/m²

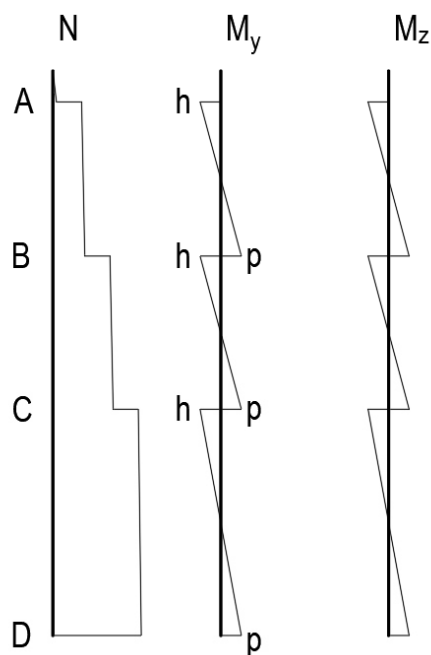
PŮDORYS ČÁSTI 1.NP



ŘEZ AA'



PRŮBĚHY VNITŘNÍCH SIL NA PILÍŘI



Legenda značení zadaných vnitřních sil:

- A, B, C, D = značka styčnicku, h = hlava, p = pata.
- Např. M_{yBh} je moment kolem osy y ve styčnicku B v hlavě přilehlé části pilíře.

Zadané vnitřní síly:

| N | [kN] |
|----------|------|
| N_{Ah} | 56 |
| N_{Bp} | 62 |
| N_{Bh} | 111 |
| N_{Cp} | 117 |
| N_{Ch} | 166 |
| N_{Dp} | 175 |

| M_y | [kNm] |
|-----------|-------|
| M_{yAh} | 3,9 |
| M_{yBp} | 3,9 |
| M_{yBh} | 3,9 |
| M_{yCp} | 3,9 |
| M_{yCh} | 2,4 |
| M_{yDp} | 1,2 |

| M_z | [kNm] |
|-----------|-------|
| M_{zAh} | 9,0 |
| M_{zBp} | 8,0 |
| M_{zBh} | 8,0 |
| M_{zCp} | 9,2 |
| M_{zCh} | 6,8 |
| M_{zDp} | 3,4 |

Návrhová pevnost zdiva v tlaku a modul pružnosti

Pro zdivo z vápenopískových zdicích prvků skupiny 2 na maltu pro tenké spáry stanovíme charakteristickou pevnost ze vztahu:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} = 0,65 \cdot 20^{0,85} = 8,3 \text{ MPa}$$

Součinitel K se získá z tabulky 3.3 ČSN EN 1996-1-1. Pro vápenopískové zdící prvky na maltu pro tenké spáry je K = 0,8 pro skupinu 1 a K = 0,65 pro skupinu 2.

Návrhovou pevnost získáme vydělením charakteristické pevnosti dílčím součinitelem $\gamma_M = 2,0$ (hodnota pro prvky kategorie I na návrhovou maltu):

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{8,3}{2,0} = 4,15 \text{ MPa}$$

Štíhlost pilíře

Aby platil dále uvedený postup výpočtu, je nutno ověřit, že pro štíhlost λ platí:

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \leq 27$$

Za účinnou tloušťku t_{ef} můžeme pro pilíř obdélníkového průřezu z jednovrstvého zdiva dosadit výšku pilíře při ohybu kolem dané osy. Vzpěrná výška pilíře podepřeného v hlavě i v patě železobetonovými stropy se stanoví podle vztahu:

$$h_{ef} = \rho_2 h$$

Zmenšující součinitel ρ_2 nabývá hodnoty 0,75 za předpokladu, že výstřednost zatížení v hlavě pilíře není větší než 0,25 násobek tloušťky pilíře a hodnoty 1,0 v ostatních případech. Jelikož výstřednost v tomto okamžiku neznáme, budeme bezpečně uvažovat $\rho_2 = 1,0$. Světlá výška pilíře 1. NP je $h = 3500$ mm. Pro jednotlivé směry tedy platí:

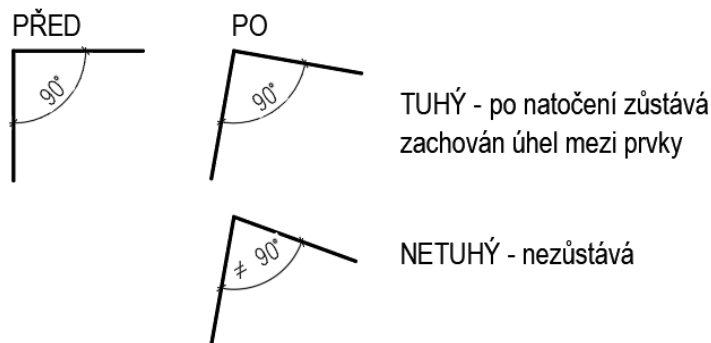
$$\lambda_y = \frac{h_{ef}}{t} = \frac{\rho_2 h}{t} = \frac{1,0 \cdot 3500}{200} = 17,5 \leq 27$$

$$\lambda_z = \frac{h_{ef}}{L} = \frac{\rho_2 h}{L} = \frac{1,0 \cdot 3500}{500} = 7 \leq 27$$

Podmínka štíhlosti bude tedy bezpečně splněna v obou směrech namáhání ve všech podlažích.

Komentář k vnitřním silám

Vnitřní síly byly stanoveny na deskostěnovém konečněprvkovém modelu s uvažováním tuhých styčniců mezi svislými a vodorovnými prvky. Tento předpoklad nemusí být pravdivý zejména pro styčnící vyšších podlaží, kde může vlivem malého svislého přetížení styčnící dojit při velké výstřednosti zatížení k jeho částečnému rozevření. Styčnící se pak chová jako netuhý a to vede ke změně působících momentů.



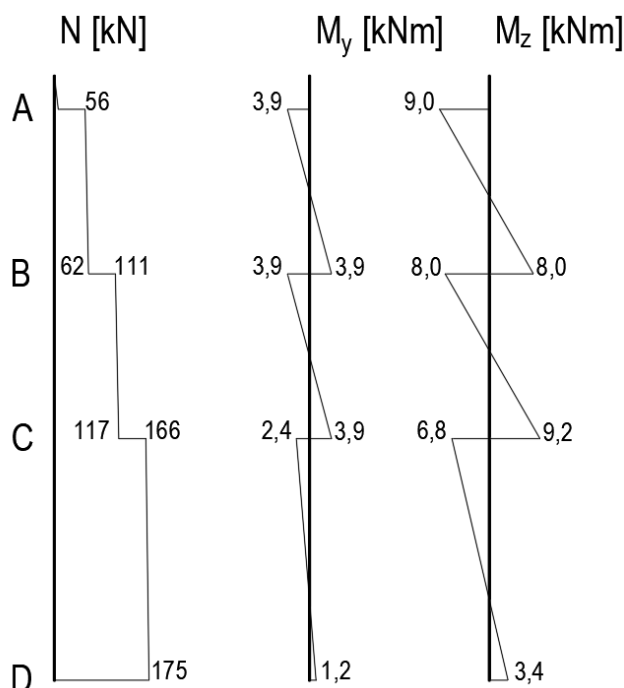
Výsledky získané z modelu však leží na bezpečné straně. Pokud skutečné působení styčnící svislého prvku a stropní konstrukce není tuhé, pak ohybové momenty, které se styčnícím přenášejí, nemohou dosáhnout hodnot při tuhém působení.

Postup stanovení momentů včetně možnosti jejich redukce pro netuhé působení uvádí norma ČSN EN 1996-1-1 v příloze C pro prvky s výstředností zatížení v jednom směru. Tento postup však není jednoduše aplikovatelný pro prvky s výstředností zatížení v obou směrech (typicky rohové pilíře).

Vykreslení vnitřních sil od svislého zatížení

Jako prevenci chyb a pro usnadnění kontroly domácího cvičení před zahájením posouzení všichni studenti povinně vykreslí zadané průběhy vnitřních sil, a to v měřítku!

PRŮBĚHY VNITŘNÍCH SIL NA PILÍŘI



Momenty od vodorovného zatížení

Pilíř je namáhán rovněž vodorovným zatížením od tlaku a sání větru působícího na jeho vnější povrch. S ohledem na umístění prvku na nároží budovy, kde jsou účinky větru největší, nelze tento vliv zanedbat. Navíc může být namáhání od větru působícího na samotný pilíř ještě zvýšeno o namáhání vnášené ze sousedních výplňových konstrukcí. S tímto jevem však v daném příkladu pro jednoduchost nebudeme počítat (to odpovídá případu, kdy by šlo o rohový pilíř lodžie, nebo by přilehlé výplně otvorů byly kotveny výhradně do železobetonových stropních konstrukcí).

Pro průřezy v hlavě a patě pilíře odhadneme hodnoty momentů od větru následovně (odpovídá bezpečně vetknutí konců pilíře).

3.NP + 2.NP:

1. NP:

$$M_{wi,y} = \frac{1}{12} \cdot w_d \cdot L \cdot h^2 = \frac{1}{12} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 2,5^2 = 0,391 \text{ kNm} \quad M_{wi,y} = \frac{1}{12} \cdot w_d \cdot L \cdot h^2 = \frac{1}{12} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 3,5^2 = 0,766 \text{ kNm}$$

$$M_{wi,z} = \frac{1}{12} \cdot w_d \cdot t \cdot h^2 = \frac{1}{12} \cdot 1,5 \cdot 0,2 \cdot 2,5^2 = 0,156 \text{ kNm} \quad M_{wi,z} = \frac{1}{12} \cdot w_d \cdot t \cdot h^2 = \frac{1}{12} \cdot 1,5 \cdot 0,2 \cdot 3,5^2 = 0,306 \text{ kNm}$$

Pro průřezy uprostřed výšky pilíře odhadneme hodnoty momentů od větru následovně (odpovídá bezpečně kloubovému uložení konců pilíře).

3.NP + 2.NP:

1. NP:

$$M_{wm,y} = \frac{1}{8} \cdot w_d \cdot L \cdot h^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 2,5^2 = 0,587 \text{ kNm} \quad M_{wm,y} = \frac{1}{8} \cdot w_d \cdot L \cdot h^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 3,5^2 = 1,148 \text{ kNm}$$

$$M_{wm,z} = \frac{1}{8} \cdot w_d \cdot t \cdot h^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,5 \cdot 0,2 \cdot 2,5^2 = 0,234 \text{ kNm} \quad M_{wm,z} = \frac{1}{8} \cdot w_d \cdot t \cdot h^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,5 \cdot 0,2 \cdot 3,5^2 = 0,459 \text{ kNm}$$

Komentář k postupu posouzení

Je nutno posoudit všechny kritické průřezy, tzn. průřezy s největšími hodnotami vnitřních sil, průřezy s největší výstředností zatížení a průřezy s největším vlivem štíhlosti pilíře. Jak bude dále patrné, o únosnosti nemusí zdaleka rozhodovat průřez s největší normálovou silou. Výběr kritických průřezů je nutno provést specificky pro každou konstrukci, obecně se nemusí shodovat s tímto příkladem!

Závěrečný krok dále použitého postupu posouzení, kdy je teoretická únosnost v dostředném tlaku $t \cdot L \cdot f_d$ násobena postupně dvěma zmenšujícími součiniteli Φ_y a Φ_z , není v normě ČSN 1996-1-1 definován. Norma se zabývá pouze prvky s výstředností zatížení v jednom směru. Postup však vychází z obecných zásad stavební mechaniky. Je zřejmé, že při šikmém ohybu je nutno redukovat účinnou plochu pilíře v obou směrech. Uvedený přístup uvádí i prof. Wolfram Jäger z TU Dresden, přední evropská kapacita v oblasti statiky zděných konstrukcí (viz Jäger, W.: Mauerwerk-Kalender 2012. Schwerpunkt: Eurocode 6. Ernst und Sohn, 2013).

Zcela přesně bychom měli jako účinnou plochu pilíře uvažovat část průřezu, jejíž těžiště odpovídá působišti výslednice zatížení a jejíž jedna hrana sleduje směr neutrálné osy. Postup použitý v tomto příkladu vede k menším hodnotám účinné plochy a je tedy konzervativní. Ostatní kroky postupu jsou standardní, stejné jako u prvků s výstředností zatížení v jednom směru.

Posouzení pilíře

Pilíř 3. NP

Průřez v hlavě – posoudíme (největší momenty a největší výstřednost zatížení v rámci celé konstrukce)

Ohyb kolem osy y:

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_y}{N} = \frac{3,9}{56} = 69,6 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wi,y}}{N} = \frac{0,391}{56} = 7,0 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 1,0, \text{ protože } 69,6 + 7,0 = 76,6 \text{ mm} \geq 0,25t = 0,25 \cdot 200 = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 1,0 \cdot 2500 = 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2500}{450} = 5,6 \text{ mm}$$

$$\text{Výstřednost zatížení: } e_i = e_f + e_h + e_{init} = 69,6 + 7,0 + 5,6 = 82,2 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální výstřednost: } e_{min} = 0,05t = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ mm} \leq e_i$$

$$\text{Zmenšující součinitel: } \Phi_{iy} = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 \cdot 82,2}{200} = 0,178$$

Ohyb kolem osy z:

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_z}{N} = \frac{9}{56} = 160,7 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wi,z}}{N} = \frac{0,156}{56} = 2,8 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 1,0, \text{ protože } 160,7 + 2,8 = 163,5 \text{ mm} \geq 0,25L = 0,25 \cdot 500 = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 1,0 \cdot 2500 = 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2500}{450} = 5,6 \text{ mm}$$

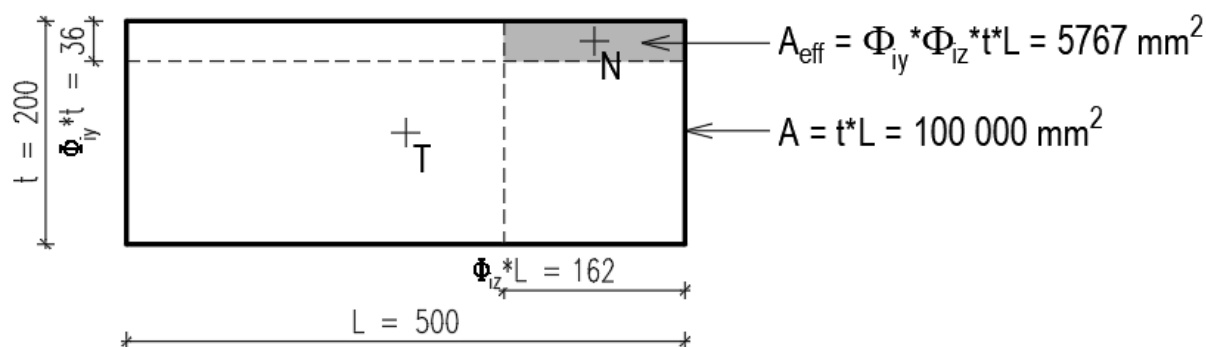
$$\text{Výstřednost zatížení: } e_i = e_f + e_h + e_{init} = 160,7 + 2,8 + 5,6 = 169,1 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální výstřednost: } e_{min} = 0,05L = 0,05 \cdot 500 = 25 \text{ mm} \leq e_i$$

$$\text{Zmenšující součinitel: } \Phi_{iz} = 1 - \frac{2e_i}{L} = 1 - \frac{2 \cdot 169,1}{500} = 0,324$$

$$\text{Posouzení: } N_{Rd,i} = \Phi_{iy} \cdot \Phi_{iz} \cdot t \cdot L \cdot f_d = 0,178 \cdot 0,324 \cdot 200 \cdot 500 \cdot 4,15 = 23,9 \text{ kN} \leq \underline{N_{Ed} = 56 \text{ kN}}$$

Vykreslení účinné plochy pilíře (všichni studenti povinně vykreslí):



Závěr: Průřez nevyhověl.

Průřez uprostřed výšky – posoudíme (vliv štíhlosti při malé normálové síle, tj. potenciálně velké excentricitě). Vnitřní síly v polovině výšky pilíře se dopočítají z koncových sil na základě podobnosti trojúhelníků.

Ohyb kolem osy y:

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_y}{N} = \frac{0}{59} = 0 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wm,y}}{N} = \frac{0,587}{59} = 9,9 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 1,0 \text{ (podle hlavy pilíře)}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 1,0 \cdot 2500 = 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2500}{450} = 5,6 \text{ mm}$$

$$\text{Výstřednost od zatížení: } e_m = e_f + e_h + e_{init} = 0 + 9,9 + 5,6 = 15,5 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda = \frac{h_{ef}}{t} = \frac{2500}{200} = 12,5$$

$$\text{Výstřednost od dotvarování: } e_k = 0, \text{ protože } \lambda \leq 15$$

$$\text{Výstřednost zatížení: } e_{mk} = e_m + e_k = 15,5 + 0 = 15,5 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální výstřednost: } e_{min} = 0,05t = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ mm} \leq e_{mk}$$

$$\text{Poměrná výstřednost: } \frac{e_{mk}}{t} = \frac{15,5}{200} = 0,078$$

Zmenšující součinitel se stanoví podle ČSN EN 1996-1-1 obr. G.1 (viz další strana) na základě poměrné výstřednosti a štíhlosti: $\Phi_{my} = 0,750$

Ohyb kolem osy z:

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_z}{N} = \frac{0,5}{59} = 8,5 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wm,z}}{N} = \frac{0,234}{59} = 4,0 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 1,0 \text{ (podle hlavy pilíře)}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 1,0 \cdot 2500 = 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2500}{450} = 5,6 \text{ mm}$$

$$\text{Výstřednost od zatížení: } e_m = e_f + e_h + e_{init} = 8,5 + 4,0 + 5,6 = 18,1 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda = \frac{h_{ef}}{L} = \frac{2500}{500} = 5$$

Výstřednost od dotvarování:

$$e_k = 0, \text{ protože } \lambda \leq 15$$

Výstřednost zatížení:

$$e_{mk} = e_m + e_k = 18,1 + 0 = 18,1 \text{ mm}$$

Minimální výstřednost:

$$e_{\min} = 0,05L = 0,05 \cdot 500 = 25 \text{ mm} \geq e_{mk} \Rightarrow e_{mk} = 25 \text{ mm}$$

Poměrná výstřednost:

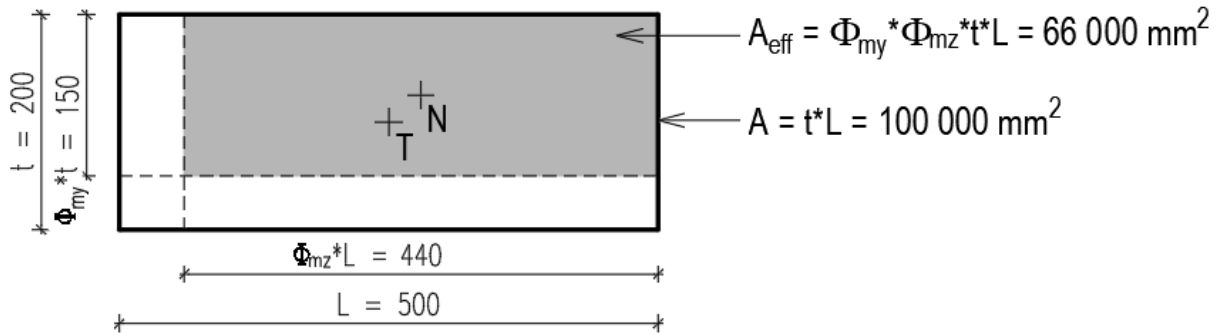
$$\frac{e_{mk}}{L} = \frac{25}{500} = 0,05$$

Zmenšující součinitel se stanoví na základě poměrné výstřednosti a štíhlosti:

$$\Phi_{mz} = 0,880$$

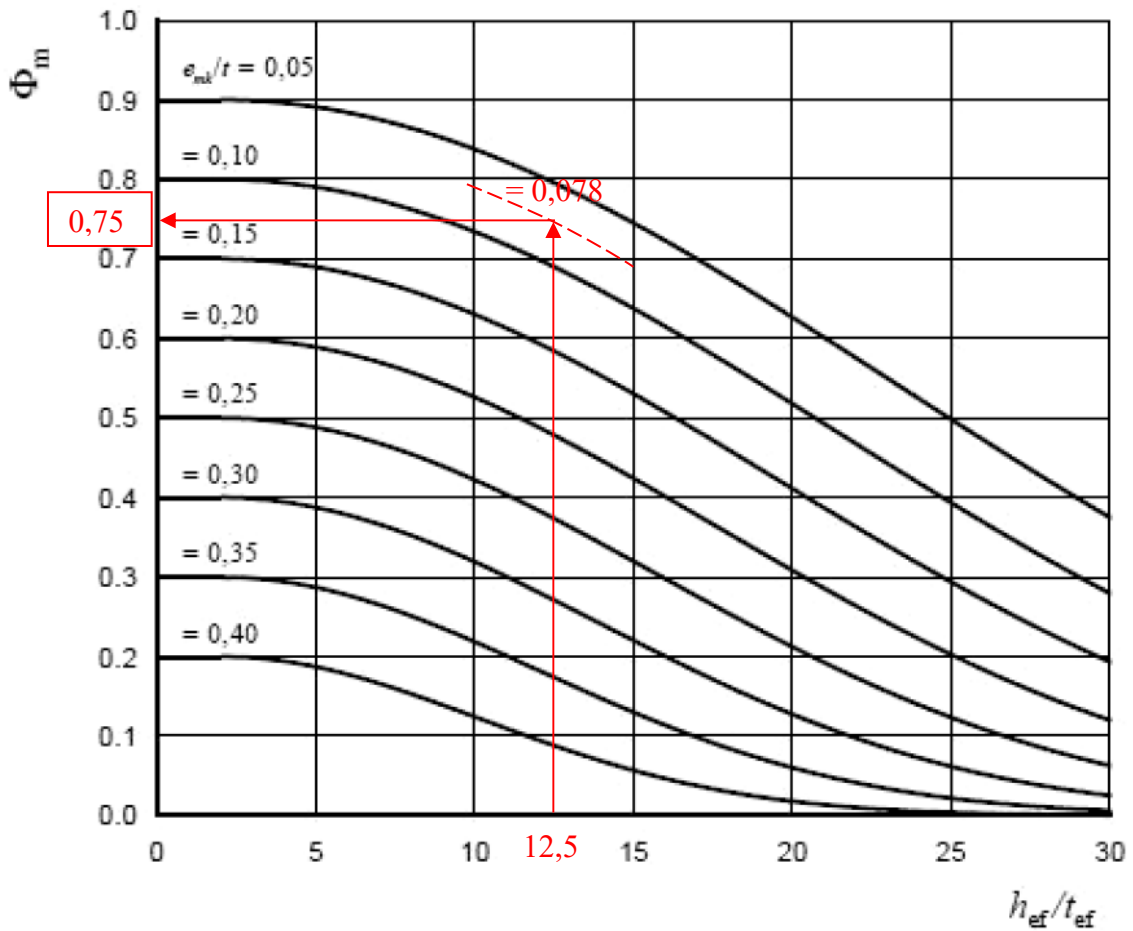
$$\text{Posouzení: } N_{Rd,m} = \Phi_{my} \cdot \Phi_{mz} \cdot t \cdot L \cdot f_d = 0,750 \cdot 0,880 \cdot 200 \cdot 500 \cdot 4,15 = 274 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 59 \text{ kN}$$

Vykreslení účinné plochy pilíře (všichni studenti povinně vykreslí):



Závěr: Průřez vyhověl.

Průřez v patě – nebudeme posuzovat (prakticky shodný s průřezem v hlavě, mírně nižší výstřednost vlivem větší normálové síly – není kritický)



Pilíř 2. NP

Nebudeme posuzovat (menší vnitřní síly a menší štíhlost než pilíř 1. NP, menší výstřednost než pilíř 3. NP – není kritický).

Pilíř 1. NP

Průřez v hlavě – posoudíme (kombinace téměř největší norm. síly na kci a relativně velkého momentu)

Ohyb kolem osy y:

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_y}{N} = \frac{2,4}{166} = 14,5 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wi,y}}{N} = \frac{0,766}{166} = 4,6 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 0,75, \text{ protože } 14,5 + 4,6 = 19,1 \text{ mm} \leq 0,25t = 0,25 \cdot 200 = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 0,75 \cdot 3500 = 2625 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2625}{450} = 5,8 \text{ mm}$$

$$\text{Výstřednost zatížení: } e_i = e_f + e_h + e_{init} = 14,5 + 4,6 + 5,8 = 24,9 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální výstřednost: } e_{min} = 0,05t = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ mm} \leq e_i$$

$$\text{Zmenšující součinitel: } \Phi_{iy} = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 \cdot 24,9}{200} = 0,751$$

Ohyb kolem osy z:

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_z}{N} = \frac{6,8}{166} = 41,0 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wi,z}}{N} = \frac{0,306}{166} = 1,8 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 0,75, \text{ protože } 41,0 + 1,8 = 42,8 \text{ mm} \leq 0,25L = 0,25 \cdot 500 = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 0,75 \cdot 3500 = 2625 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2625}{450} = 5,8 \text{ mm}$$

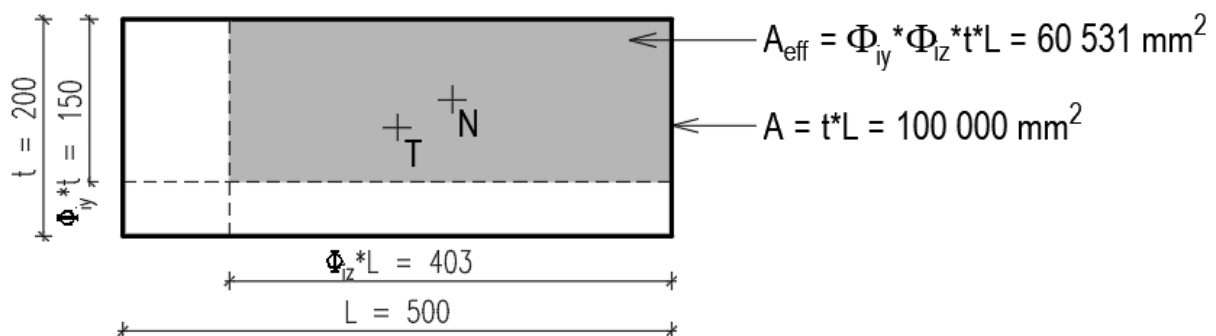
$$\text{Výstřednost zatížení: } e_i = e_f + e_h + e_{init} = 41,0 + 1,8 + 5,8 = 48,6 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální výstřednost: } e_{min} = 0,05L = 0,05 \cdot 500 = 25 \text{ mm} \leq e_i$$

$$\text{Zmenšující součinitel: } \Phi_{iz} = 1 - \frac{2e_i}{L} = 1 - \frac{2 \cdot 48,6}{500} = 0,806$$

$$\text{Posouzení: } N_{Rd,i} = \Phi_{iy} \cdot \Phi_{iz} \cdot t \cdot L \cdot f_d = 0,751 \cdot 0,806 \cdot 200 \cdot 500 \cdot 4,15 = 251 \text{ kN} \geq \underline{N_{Ed} = 166 \text{ kN}}$$

Vykreslení účinné plochy pilíře (všichni studenti povinně vykreslí):



Závěr: Průřez vyhověl.

Průřez uprostřed výšky – posoudíme (největší vliv štíhlosti na konstrukci vzhledem k velké konstrukční výšce podlaží)

Ohyb kolem osy y :

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_y}{N} = \frac{0,6}{170,5} = 3,5 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wm,y}}{N} = \frac{1,148}{170,5} = 6,7 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 0,75 \text{ (podle hlavy pilíře)}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 0,75 \cdot 3500 = 2625 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2625}{450} = 5,8 \text{ mm}$$

$$\text{Výstřednost od zatížení: } e_m = e_f + e_h + e_{init} = 3,5 + 6,7 + 5,8 = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda = \frac{h_{ef}}{t} = \frac{2625}{200} = 13,1$$

$$\text{Výstřednost od dotvarování: } e_k = 0, \text{ protože } \lambda \leq 15$$

$$\text{Výstřednost zatížení: } e_{mk} = e_m + e_k = 16,0 + 0 = 16,0 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální výstřednost: } e_{min} = 0,05t = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ mm} \leq e_{mk}$$

$$\text{Poměrná výstřednost: } \frac{e_{mk}}{t} = \frac{16}{200} = 0,080$$

Zmenšující součinitel se stanoví na základě poměrné výstřednosti a štíhlosti:

$$\Phi_{my} = 0,720$$

Ohyb kolem osy z :

$$\text{Výstřednost od svislého zatížení: } e_f = \frac{M_z}{N} = \frac{1,7}{170,5} = 10,0 \text{ mm}$$

$$\text{Výstř. od vodorovného zatížení: } e_h = \frac{M_{wm,z}}{N} = \frac{0,459}{170,5} = 2,7 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel vzpěrné výšky: } \rho_2 = 0,75 \text{ (podle hlavy pilíře)}$$

$$\text{Vzpěrná výška: } h_{ef} = \rho_2 h = 0,75 \cdot 3500 = 2625 \text{ mm}$$

$$\text{Počáteční výstřednost: } e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2625}{450} = 5,8 \text{ mm}$$

$$\text{Výstřednost od zatížení: } e_m = e_f + e_h + e_{init} = 10,0 + 2,7 + 5,8 = 18,5 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda = \frac{h_{ef}}{L} = \frac{2625}{500} = 5,3$$

$$\text{Výstřednost od dotvarování: } e_k = 0, \text{ protože } \lambda \leq 15$$

$$\text{Výstřednost zatížení: } e_{mk} = e_m + e_k = 18,5 + 0 = 18,5 \text{ mm}$$

$$\text{Minimální výstřednost: } e_{min} = 0,05L = 0,05 \cdot 500 = 25 \text{ mm} \geq e_{mk} \Rightarrow e_{mk} = 25 \text{ mm}$$

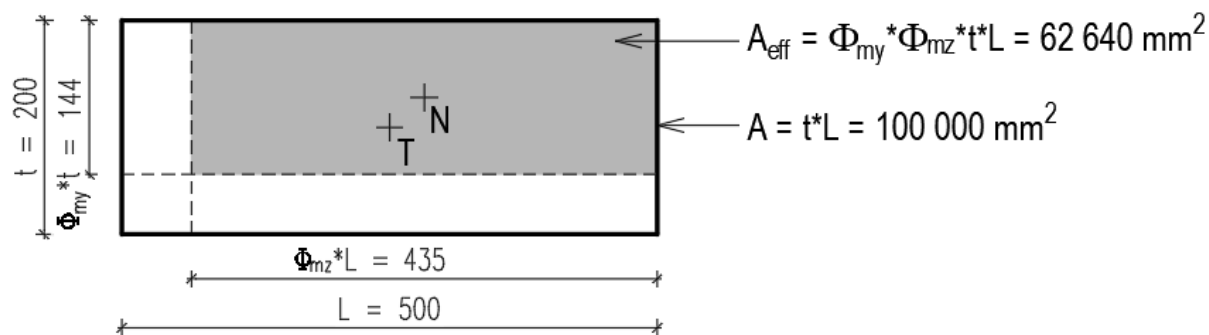
$$\text{Poměrná výstřednost: } \frac{e_{mk}}{L} = \frac{25}{500} = 0,05$$

Zmenšující součinitel se stanoví na základě poměrné výstřednosti a štíhlosti:

$$\Phi_{mz} = 0,870$$

$$\text{Posouzení: } N_{Rd,m} = \Phi_{my} \cdot \Phi_{mz} \cdot t \cdot L \cdot f_d = 0,720 \cdot 0,870 \cdot 200 \cdot 500 \cdot 4,15 = 260 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 170,5 \text{ kN}$$

Vykreslení účinné plochy pilíře (všichni studenti povinně vykreslí):



Závěr: Průřez vyhověl.

Průřez v patě – nebudeme posuzovat (prakticky shodný s průřezem v hlavě 1.NP, mírně nižší výstřednost vlivem větší normálové síly a menších momentů – není kritický)

Shrnutí výsledků

Všichni studenti povinně zpracují souhrnnou tabulku a stručné závěrečné slovní zhodnocení.

| Průřez | N_{Ed} [kN] | N_{Rd} [kN] | Využití |
|-------------|---------------|---------------|---------|
| 3. NP hlava | 56 | 24 | 234 % |
| 3. NP střed | 59 | 274 | 22 % |
| 1. NP hlava | 166 | 251 | 66 % |
| 1. NP pata | 171 | 260 | 66 % |

Pilíř ve 3. NP nevyhověl v průřezu v hlavě pilíře. Vzhledem k velkému deficitu únosnosti by nebylo dostatečným opatřením použití zdiva vyšší pevnosti. Potřebná charakteristická pevnost zdiva by byla $f_k = 2,34 * 8,3 = 19,4 \text{ MPa}$, což odpovídá normalizované pevnosti zdících prvků:

$$f_b = \left(\frac{f_k}{K} \right)^{\frac{1}{0,85}} = \left(\frac{19,4}{0,65} \right)^{\frac{1}{0,85}} = 54,3 \text{ MPa}$$

Takový materiál není na trhu dostupný. Bylo by nutno zvětšit průřez pilíře, upravit MKP model, přepočítat vnitřní síly a znovu posoudit konstrukci.

Pilíř v 1. NP vyhověl s rezervou 34 % a jeví se tedy jako vhodně navržený. Zmenšení průřezu s ohledem na délkový modul zdiva 250 mm nepřipadá v úvahu.

Pilíř ve 2. NP nebyl posuzován. Vzhledem k obdobným hodnotám momentů a zhruba dvojnásobné hodnotě normálové síly oproti pilíři 3. NP lze odhadnout, že by zmenšující součinitele Φ v hlavě pilíře 2. NP vyšly pro oba směry namáhání přibližně dvojnásobné oproti hlavě pilíře 3. NP. To by znamenalo přibližně čtyřnásobnou účinnou plochu a tedy i čtyřnásobnou únosnost, odhadem v rozmezí $N_{Rd} = 90$ až 100 kN . Pilíř by tedy pro zatížení $N_{Ed} = 111 \text{ kN}$ pravděpodobně rovněž nevyhověl. V tomto případě je však deficit únosnosti pouze 10 až 20 %, takže by mohlo být dostačující použít zdivo vyšší pevnosti.