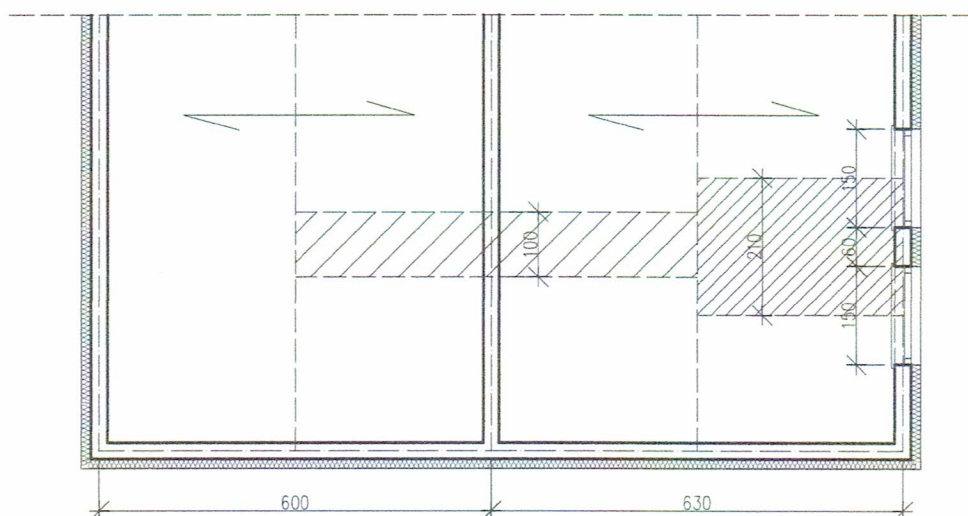


3.2 ŚCIANA ZEWNĘTRZNA



3.2.1 Parametry ściany wewnętrznej

- pustak **POROTHERM 25 P+W**
- wytrzymałość na ściskanie: $f_b = 20,0 \text{ MPa}$ (f_b - wytrzymałość el. murowego)
- grubość ściany: 25 cm
- zaprawa zwykła - zaprawa przepisana ($f_m=5\text{MPa}$)
- element murowy grupa 2
- element murowy kategoria I
- klasa wykonania robót B

3.2.2 Zestawienie obciążeń działających na ścianę

D. Obciążenie stałe

$$\begin{aligned} G_{kg} &= 6,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,15\text{m} \cdot 2,10\text{m} \text{ (stropodach)} + 5,46 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,15\text{m} \cdot 2,10\text{m} \cdot 3 \text{ (stropy)} + \\ &= 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,25\text{m} \cdot 0,25\text{m} \cdot 2,10\text{m} \cdot 4 \text{ (wieńce)} + 2,76 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,05\text{m} \cdot 0,6\text{m} \cdot 3 \text{ (ściany)} = \\ &= 178,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$G_{kś} = 178,9 \text{ kN} + 2,76 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,05\text{m} \cdot 0,6\text{m} \cdot 0,5 = 181,43 \text{ kN}$$

$$G_{kd} = 178,9 \text{ kN} + 2,76 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,05\text{m} \cdot 0,6\text{m} = 183,95 \text{ kN}$$

E. Obciążenie zmienne

$$Q_{k1} = 4,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,15\text{m} \cdot 2,1\text{m} \cdot 3 \text{ (użytkowe + ścianki)} = 95,3 \text{ kN}$$

$$Q_{k2} = 0,96 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,15\text{m} \cdot 2,1\text{m} \text{ (śnieg)} = 6,35 \text{ kN}$$

F. Kombinacje obciążeń

$$\text{KOMB1: } \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\text{KOMB2: } \sum \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\psi_{0,1} = 0,7 \rightarrow \text{kategoria użytkowania C}$$

$$\psi_{0,1} = 0,5 \rightarrow \text{obciążenie śniegiem}$$

$$\gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

$$\text{KOMB1: } 1,35 \cdot 178,9 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 95,3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 6,35 = 346,3 \text{ kN}$$

$$\text{KOMB2: } 1,35 \cdot 0,85 \cdot 178,9 + 1,5 \cdot 95,3 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 6,35 = 352,9 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ed,g}}^1 = 352,9 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ed,d}}^2 = 358,7 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ed,s}}^3 = 355,8 \text{ kN}$$

3.2.3 Wyznaczenie nośności obliczeniowej ściany

- wyznaczenie wytrzymałości muru na ściskanie

$$K = 0,40$$

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} = 0,40 \cdot 20^{0,7} \cdot 5^{0,3} = 5,28 \text{ MPa}$$

$$\gamma_m = 2,2$$

Liczmy pole powierzchni ściany:

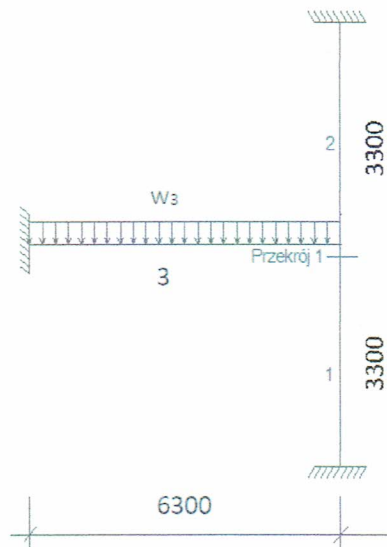
$$A = 0,25 \cdot 0,6 = 0,15 \text{ m}^2 < 0,30 \text{ m}^2$$

współczynnik $\eta_A = 1,36$.

$$f_d = \frac{f_d}{\gamma_m \eta_A} = \frac{5,28}{2,2 \cdot 1,36} = 1,76 \text{ MPa}$$

- wyznaczenie współczynnika redukcyjnego ϕ_i uwzględniającego smukłość i mimośród w górnej części ściany

Dla górnej części ściany (przekrój 1) model ramowy wygląda następująco:



$$h = 3,30 - 0,27 = 3,03 \text{ m}$$

$$\rho_n = 0,75$$

$$h_{ef} = h \cdot \rho_n = 3,03 \cdot 0,75 = 2,27 \text{ m}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2,27}{450} = 0,0051$$

$$n_1 = n_2 = n_3 = 4,0$$

$$E_1 = E_2 = 1000 f_k = 1000 \cdot 5,28 = 5278,03 \text{ MPa}$$

$$E_3 = 31 \text{ GPa (beton C25/30)}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{bt^3}{12} = \frac{0,6 \cdot 0,25^3}{12} = 0,00078 \text{ m}^4$$

$$I_3 = \frac{bt^3}{12} = \frac{2,10 \cdot 0,15^3}{12} = 0,00059 \text{ m}^4$$

$$h_1 = h_2 = 3,30$$

$$l_3 = 6,30 \text{ m}$$

$$w_3 = [1,35 \cdot 0,85 \cdot 5,46 + 1,5 \cdot 4,8] \cdot 2,1 = 28,28 \text{ kN/m}$$

$$M_{1d} = \frac{\frac{4 \cdot 5278,03 \cdot 0,00078}{3,30}}{\frac{4 \cdot 5278,03 \cdot 0,00078}{3,30} + \frac{4 \cdot 5278,03 \cdot 0,00078}{3,30} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,00059}{6,30}} \cdot \left[\frac{28,28 \cdot 6,30^2}{4 \cdot (4 - 1)} \right] = 21,62 \text{ kNm}$$

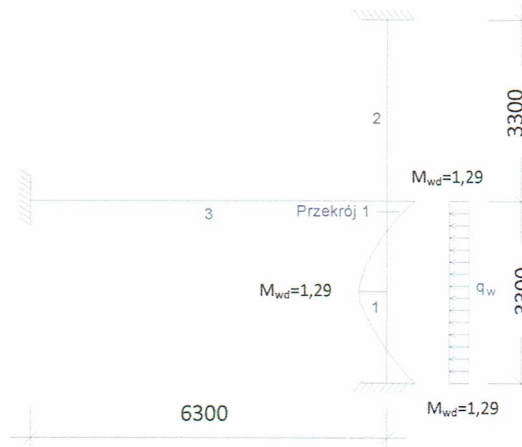
Obliczenie momentu zginającego od obciążeń poziomych:

Przyjęto, że obciążenie wiatrem q_{wd} jest przekazywane z okien na filar, więc w przekroju dolnym i górnym obciążenie parciem wiatru generuje moment zgodny z momentem od obciążeń pionowych. Wartość obliczeniowa obciążenia poziomego od parcia wiatru na filar ściany zewnętrznej:

$$q_{wd} = 1,5 \cdot 0,6 \text{ (współczynniki bezpieczeństwa)} \cdot w_k \cdot 2,1 \text{ m} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,1 \text{ m} = 1,89 \text{ kN/m}$$

Moment zginający wywołany działaniem obciążeń poziomych:

$$M_{wd} = \frac{q_{wd} \cdot h_1^2}{16} = \frac{1,89 \text{ kN/m} \cdot (3,3\text{m})^2}{16} = 1,29 \text{ kNm}$$



Wyznaczenie mimośrodów będących wynikiem działania sił poziomych od wiatru:

$$e_{he} = \frac{M_{wd}}{N_{Ed,1}} = \frac{1,29 \text{ kNm}}{352,9 \text{ kN}} = 0,0036 \text{ m}$$

$$e_1 = \frac{M_{1d}}{N_{Ed,1}} + e_{he} + e_{init} = \frac{21,62}{352,9} + 0,0036 + 0,0051 = 0,0700 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunków:

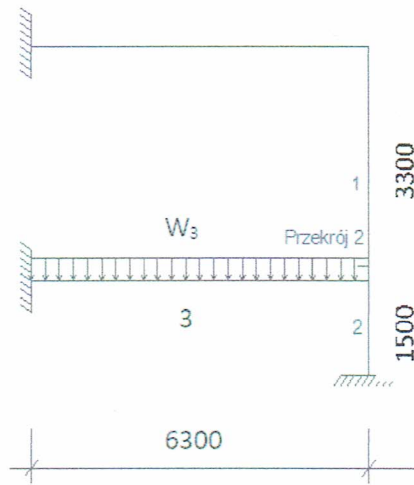
$$e_1 \geq 0,05t = 0,05 \cdot 0,25 = 0,0125 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$e_1 < 0,45t = 0,45 \cdot 0,25 = 0,1125 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$\phi_1 = 1 - 2 \frac{e_1}{t} = 1 - 2 \frac{0,0700}{0,25} = 0,44$$

- wyznaczenie współczynnika redukcyjnego ϕ_i uwzględniającego smukłość i mimośród w dolnej części ściany

Dla dolnej części ściany (przekrój 2) model ramowy wygląda następująco:



$$h = 3,30 - 0,27 = 3,03 \text{ m}$$

$$\rho_n = 0,75$$

$$h_{ef} = h \cdot \rho_n = 3,03 \cdot 0,75 = 2,27 \text{ m}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2,27}{450} = 0,0051$$

$$n_1 = n_2 = n_3 = 4,0$$

$$E_1 = 1000f_k = 1000 \cdot 5,28 = 5278,03 \text{ MPa}$$

$$E_2 = E_3 = 31 \text{ GPa (beton C25/30)}$$

$$I_1 = \frac{bt^3}{12} = \frac{0,6 \cdot 0,25^3}{12} = 0,00078 \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{bt^3}{12} = \frac{2,1 \cdot 0,25^3}{12} = 0,00273 \text{ m}^4$$

$$I_3 = \frac{bt^3}{12} = \frac{2,10 \cdot 0,15^3}{12} = 0,00059 \text{ m}^4$$

$$h_1 = 3,30$$

$$h_2 = 1,50$$

$$l_3 = 6,30 \text{ m}$$

$$w_3 = [1,35 \cdot 0,85 \cdot 5,46 + 1,5 \cdot 4,8] \cdot 2,1 = 28,28 \text{ kN/m}$$

$$M_{1d} = \frac{\frac{4 \cdot 5278,03 \cdot 0,00078}{3,30}}{\frac{4 \cdot 5278,03 \cdot 0,00078}{3,30} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,00273}{1,50} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,00059}{6,30}} \cdot \left[\frac{28,28 \cdot 6,30^2}{4 \cdot (4 - 1)} \right] = 1,92 \text{ kNm}$$

Wartość obliczeniowa obciążenia poziomego od parcia wiatru na filar ściany zewnętrznej:

$$q_{wd} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_k \cdot 2,1 \text{ m} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,1 \text{ m} = 1,89 \text{ kN/m}$$

Moment zginający wywołany działaniem obciążeń poziomych:

$$M_{wd} = \frac{q_{wd} \cdot h_1^2}{16} = \frac{1,89 \text{ kN/m} \cdot (3,3 \text{ m})^2}{16} = 1,29 \text{ kNm}$$

Wyznaczenie mimośrodów będących wynikiem działania sił poziomych od wiatru:

$$e_{he} = \frac{M_{wd}}{N_{Ed,1}} = \frac{1,29kNm}{358,73kN} = 0,0036 \text{ m}$$

$$e_1 = \frac{M_{1d}}{N_{Ed,1}} + e_{he} + e_{init} = \frac{1,92}{358,73} + 0,0036 + 0,0051 = 0,0141 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunków:

$$e_1 \geq 0,05t = 0,05 \cdot 0,25 = 0,0125 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$e_1 < 0,45t = 0,45 \cdot 0,25 = 0,1125 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$\phi_1 = 1 - 2 \frac{e_1}{t} = 1 - 2 \frac{0,0141}{0,25} = 0,89$$

• wyznaczenie współczynnika redukcyjnego ϕ_i uwzględniającego smukłość i mimośród w środkowej części ściany

$$h = 3,30 - 0,27 = 3,03 \text{ m}$$

$$\rho_n = 0,75$$

$$h_{ef} = h \cdot \rho_n = 3,03 \cdot 0,75 = 2,27 \text{ m}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2,27}{450} = 0,0051$$

Wartość mimośrodu w $2/5h$ wysokości ściany licząc od góry:

$$M_{md} = 11,86 \text{ kNm}$$

$$\lambda = \frac{h_{eff}}{t} = \frac{2,27}{0,25} = 9,09 < 15 \rightarrow e_k = 0$$

Wartość obliczeniowa obciążenia poziomego od parcia wiatru na filar ściany zewnętrznej:

$$q_{wd} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_k \cdot 2,1m = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,1m = 1,89 \text{ kN/m}$$

Moment zginający wywołany działaniem obciążeń poziomych:

$$M_{wd} = \frac{q_{wd} \cdot h_1^2}{16} = \frac{1,89kN/m \cdot (3,3m)^2}{16} = 1,29 \text{ kNm}$$

Wyznaczenie mimośrodu będącego wynikiem działania sił poziomych od wiatru:

$$e_{he} = \frac{M_{wd}}{N_{Ed,1}} = \frac{1,29kNm}{355,83kN} = 0,0036 \text{ m}$$

$$e_m = \frac{11,86}{355,83} + 0,0036 + 0,0051 = 0,0430$$

$$e_{mk} = 0,0420 + 0 = 0,0420$$

Sprawdzenie warunków:

$$e_{mk} > 0,05t = 0,05 \cdot 0,24 = 0,0120 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$e_{mk} < 0,45t = 0,45 \cdot 0,24 = 0,1080 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2 \frac{0,0420}{0,25} = 0,66$$

$$u = \frac{h_{eff}/t_{eff} - 2}{23 - 37e_{mk}/t} = \frac{2,27/0,25 - 2}{23 - 37 \cdot 0,0420/0,25} = 0,43$$

$$\phi_m = 0,66 \cdot e^{-\frac{0,43^2}{2}} = 0,60$$

$$N_{Rd,1} = \phi_1 A f_d = 0,44 \cdot 0,6 \cdot 0,25 \cdot 1,76 \cdot 10^3 = 116,35 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,2} = \phi_2 A f_d = 0,89 \cdot 0,6 \cdot 0,25 \cdot 1,76 \cdot 10^3 = 391,07 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,m} = \phi_m A f_d = 0,60 \cdot 0,6 \cdot 0,25 \cdot 1,76 \cdot 10^3 = 263,96 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,1} = 116,35 \text{ kN} < N_{Ed,1} = 352,94 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,2} = 391,07 \text{ kN} > N_{Ed,2} = 355,83 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,m} = 263,96 \text{ kN} < N_{Ed,m} = 358,73 \text{ kN}$$

Warunki nośności ściany nie zostały spełnione, należy przeprojektować ścianę, tzn. zwiększyć jej grubość.