

3.1.3 Wyznaczenie nośności obliczeniowej ściany

EN 1996-1-1 str. 52

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

N_{Ed} - obliczeniowa siła ściskająca

N_{Rd} - obliczeniowa nośność ściany

$$N_{Rd} = \phi A f_d$$

ϕ - współczynnik redukcyjny nośności, odpowiednio ϕ_i u góry i u dołu ściany, ϕ_m w środku ściany, uwzględniający wpływ smukłości i mimośród obciążenia

A - pole powierzchni przekroju sprawdzanej ściany

f_d - wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

f_k - wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie

γ_M - częściowy współczynnik bezpieczeństwa

EN 1996-1-1 str. 4 - wybieramy wzór odpowiadający konfiguracji naszej ściany

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie, f_k , nie zawierającego spoiny podłużnej, wykonanego zgodnie z wymaganiami konstrukcyjnymi podanymi w PN-EN 1996-1-1, Rozdział 8 wyznacza się ze wzorów:

- dla murów wykonanych na zaprawie zwykłej lub lekkiej

$$f_k = K f_b^{0,70} \cdot f_m^{0,30} \quad (\text{NA.1})$$

- dla murów ze spoinami cienkimi z elementów murowych ceramicznych grupy 1 i 4, elementów silikatowych, elementów z betonu kruszywowego oraz elementów z autoklawizowanego betonu komórkowego o $f_b \geq 2,4$ MPa

$$f_k = K f_b^{0,85} \quad (\text{NA.2})$$

- dla murów ze spoinami cienkimi z autoklawizowanego betonu komórkowego o $f_b < 2,4$ MPa

$$f_k = 0,8 K f_b^{0,85} \quad (\text{NA.3})$$

- dla murów ze spoinami cienkimi z elementów murowych ceramicznych grupy 2 i 3

$$f_k = K f_b^{0,7} \quad (\text{NA.4})$$

w których:

K - współczynnik według Tablicy NA.5;

f_b - znormalizowana wytrzymałość elementu murowego na ściskanie;

f_m - wytrzymałość zaprawy murarskiej na ściskanie.

$$\gamma_M = \gamma_m \eta_A$$

γ_m - współczynnik uwzględniający niekorzystne odchyłki własności materiału od wartości charakterystycznych → EN 1996-1-1 Tablica NA.1 str. 3

η_A - współczynnik uwzględniający niepewność modelu obliczeniowego → EN 1996-1-1 Tablica NA.2 str. 3

- wyznaczenie wytrzymałości muru na ściskanie

Wybieram wzór - dla ściany z bloczków z betonu komórkowego o $f_b > 2,4 \text{ MPa}$ na zaprawie cienkowarstwowej:

$$f_k = K f_b^{0,85}$$

$K = 0,75$ wg Tab. NA.5

$$f_k = K f_b^{0,85} = 0,75 \cdot 4^{0,85} = 2,44 \text{ MPa}$$

$\gamma_m = 2,0$ wg Tab. NA.1 (mury wykonane z el. Murowych kategorii I, zaprawa projektowana, klasa robót B)

$$\eta_A = 1,0$$

Uwaga! Liczymy 1mb ściany ale w rzeczywistości jest dłuższa więc $A > 0,30 \text{ m}^2$ i współczynnik $\eta_A = 1,0$.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m \eta_A} = \frac{2,44}{2} = 1,22 \text{ MPa}$$

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

$$\phi_1 = 1 - 2 \frac{e_1}{t}$$

EN 1996 Wzór 6.4

$$e_1 = \frac{M_{1d}}{N_{1d}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05t$$

EN 1996 Wzór 6.5

M_{1d} - moment zginający wywołany działaniem obciążeń obliczeniowych, u góry i u dołu ściany, będący wynikiem przekazywania reakcji na podporę ze stropu na mimośrodkie wyznaczonym zgodnie z 5.5.1 (Rys. 6.1);

N_{1d} - siła pionowa wywołana działaniem obciążeń obliczeniowych, u góry i u dołu ściany;

e_{he} - mimośród u góry i u dołu ściany, będący wynikiem działania sił poziomych (np. wiatru), jeżeli występują;

e_{init} - mimośród początkowy ze znakiem zwiększającym bezwzględną wartość e_i (5.5.1.1);

t - grubość ściany

$$e_{he} = 0 \text{ (w przypadku ściany wewnętrznej)}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450}$$

EN 1996 5.5.1.1 (4)

h_{eff} - efektywna wysokość ściany;

$$h_{ef} = h \cdot \rho_n$$

EN 1996 Wzór 5.2

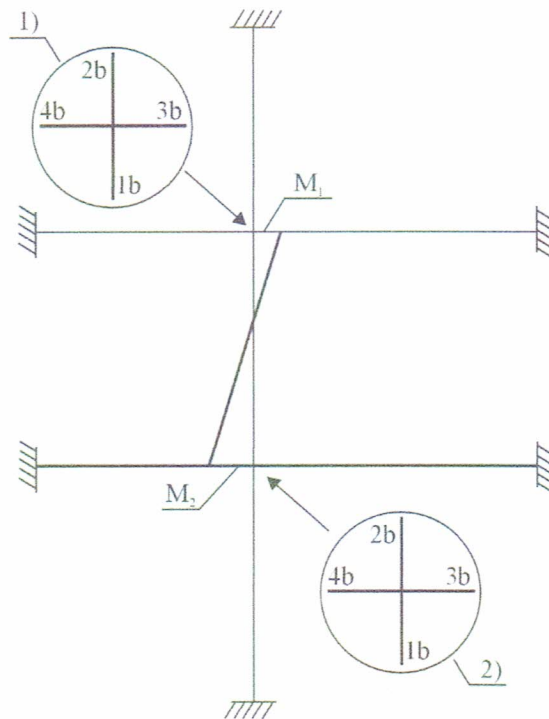
ρ_n - współczynnik redukcyjny, gdzie $n=2,3$ lub 4 , w zależności od utwierdzenia krawędzi lub usztywnienia ściany

$\rho_n = 0,75$ - dla ścian utwierdzonych na górnej i dolnej krawędzi przez stropy żelbetowe lub dachy rozpięte dwukierunkowo lub przez stropy żelbetowe rozpięte jednokierunkowo oparte na co najmniej $2/3$ grubości ściany (chyba że mimośród obciążenia na górnej krawędzi ściany jest większy niż $0,25$ grubości ściany, wtedy $\rho_n = 1,0$)

$\rho_n = 1,0$ - dla ścian utwierdzonych na górnej i dolnej krawędzi przez stropy lub dachy drewniane rozpięte dwukierunkowo lub przez stropy drewniane rozpięte jednokierunkowo oparte na co najmniej $2/3$ grubości ściany i nie mniej niż 85mm (jeśli ściana przegubowo połączona)

h - wysokość kondygnacji w świetle

Wszystkie wartości wyznaczamy tworząc model ramowy naszej ściany na wzór przedstawionego rysunku. Pręt nr 3 to pręt o większej rozpiętości.



$$M_{1d} = \frac{\frac{n_1 \cdot E_1 \cdot I_1}{h_1}}{\frac{n_1 \cdot E_1 \cdot I_1}{h_1} + \frac{n_2 \cdot E_2 \cdot I_2}{h_2} + \frac{n_3 \cdot E_3 \cdot I_3}{l_3} + \frac{n_4 \cdot E_4 \cdot I_4}{l_4}} \cdot \left[\frac{w_3 \cdot l_3^2}{4 \cdot (n_3 - 1)} - \frac{w_4 \cdot l_4^2}{4 \cdot (n_4 - 1)} \right]$$

n_i - współczynnik sztywności prętów przyjmowany równy 4 dla prętów utwierdzonych na obydwu końcach, w przeciwnym przypadku 3;

E_i - moduł sprężystości pręta i , $i=1,2,3$ lub 4

$E_i = 30 \text{ GPa}$ (31 GPa) - dla stropu monolitycznego, gęstożebrowego (moduł betonu)

EN 1996 NA.6

W przypadku braku wyników badań ścian murowanych, doraźny sieczny moduł sprężystości muru można przyjmować:

- dla murów wykonanych na zaprawie $f_m \geq 5 \text{ MPa}$, z wyjątkiem murów z betonu komórkowego, $E = 1000f_k$

- dla murów z betonu komórkowego niezależnie od rodzaju zaprawy, a także murów z innego rodzaju elementów murowych na zaprawie $f_m < 5 \text{ MPa}$, $E = 600f_k$

I_i - moduł bezwładności pręta i , $i=1,2,3$ lub 4

$I_i \cdot 0,8$ - dla stropu kanałowego

$I_i \cdot 0,4$ - dla stropu gęstożebrowego

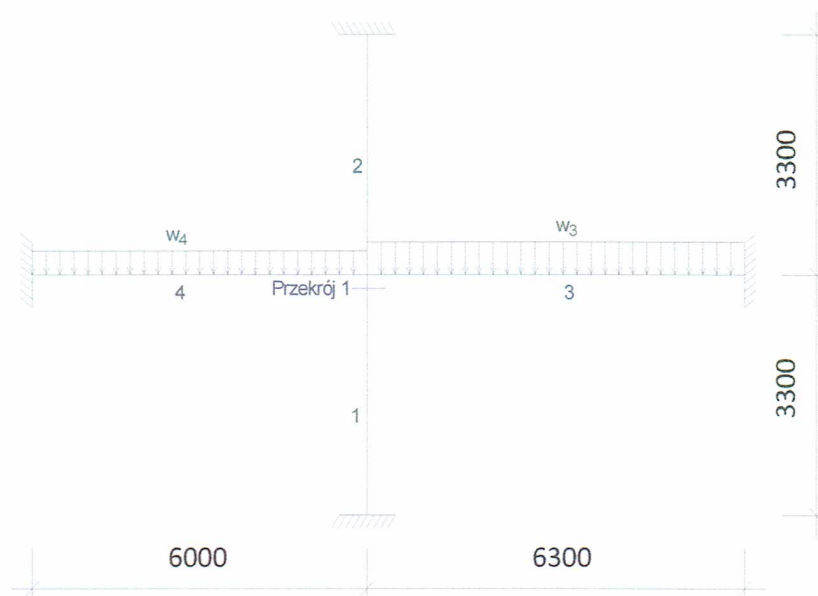
h_i - wysokość w świetle pręta i , $i=1,2$ (możemy przyjąć w tym miejscu wysokość w osiach stropów czyli wysokość z założeń)

l_i - wysokość w świetle pręta i , $i=3,4$ (możemy przyjąć w tym miejscu rozpiętość w osiach ścian czyli rozpiętości z założeń)

w_3 - obciążenie obliczeniowe równomiernie rozłożone na pręcie 3, przy przyjęciu częściowych współczynników bezpieczeństwa z EN 1990, wywołujących efekt niekorzystny

w_4 - obciążenie obliczeniowe równomiernie rozłożone na pręcie 4, przy przyjęciu częściowych współczynników bezpieczeństwa z EN 1990, wywołujących efekt niekorzystny

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



Jako nr 1 oznaczamy pręt odzwierciedlający naszą liczoną ścianę, pręt nr 2 to jest ściana kolejna dochodząca do analizowanego węzła, pręt nr 3 to pręt odzwierciedlający strop o większej rozpiętości, pręt nr 4 to pręt odzwierciedlający strop o mniejszej rozpiętości.

$$h = 3,30 - 0,27(\text{warstwy wykończenia}) = 3,03 \text{ m}$$

$$\rho_n = 0,75$$

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

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

$$n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 4,0 \text{ (ponieważ każdy pręt ma zamocowanie sztywne z obu stron)}$$

$$E_1 = E_2 = 600f_k = 600 \cdot 2,44 = 1462,05 \text{ MPa (moduły sprężystości ścian nr 1 i nr 2)}$$

$$E_3 = E_4 = 31 \text{ GPa (moduł sprężystości stropów 3 i 4 = modułowi sprężystości betonu C25/30)}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{bt^3}{12} = \frac{1\text{m} \cdot 0,24\text{m}^3}{12} = 0,001152 \text{ m}^4$$

($I_1 = I_2$ - moment bezwładności przekroju liczonej ściany nr 1 i ściany wyższej nr 2; 0,24m - szerokość części konstrukcyjnej ściany; 1m - zakres liczonej ściany)

$$I_3 = I_4 = \frac{bt^3}{12} = \frac{1\text{m} \cdot 0,15\text{m}^3}{12} = 0,0002813 \text{ m}^4$$

($I_3 = I_4$ - moment bezwładności przekroju stropu dochodzącego do ściany nr 3 i nr 4; 0,15m - wysokość części konstrukcyjnej stropu; 1m - zakres liczonej ściany do której dochodzi strop)

$$h_1 = h_2 = 3,30 \text{ (przyjmuję wysokość w osiach - rozwiązanie bezpieczniejsze)}$$

$$l_3 = 6,30 \text{ m (przyjmuję rozpiętość w osiach - rozwiązanie bezpieczniejsze)}$$

$$l_4 = 6,0 \text{ m, (przyjmuję rozpiętość w osiach - rozwiązanie bezpieczniejsze)}$$

$$w_3 = [1,35 \cdot 0,85 \cdot 5,46 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 4,8 \text{ kN/m}^2] \cdot 1,0\text{m} = 13,47 \text{ kN/m}$$

$$w_4 = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 5,46 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0\text{m} = 6,27 \text{ kN/m}$$

Obciążenie ustawiamy w ten sposób aby uzyskać największą różnicę momentów zginających w węźle. Jeżeli na przęśle dłuższym (nr 3) damy maksymalne obciążenie (stałe + zmienne) to na przęśle krótszym ustawiamy tylko obciążenie konieczne czyli stałe. Obciążenia są zbieramy z pola obciążenia działającego na fragment ściany długości 1m i uzyskujemy obciążenie liniowe na pręcie nr 3 i nr 4.

Obliczamy moment w punkcie górnym ściany ze wzoru:

$$M_{1d} = \frac{\frac{n_1 \cdot E_1 \cdot I_1}{h_1}}{\frac{n_1 \cdot E_1 \cdot I_1}{h_1} + \frac{n_2 \cdot E_2 \cdot I_2}{h_2} + \frac{n_3 \cdot E_3 \cdot I_3}{l_3} + \frac{n_4 \cdot E_4 \cdot I_4}{l_4}} \cdot \left[\frac{w_3 \cdot l_3^2}{4 \cdot (n_3 - 1)} - \frac{w_4 \cdot l_4^2}{4 \cdot (n_4 - 1)} \right]$$

$$M_{1d} = \frac{\frac{4 \cdot 1462,05 \cdot 0,001152}{3,30}}{\frac{4 \cdot 1462,05 \cdot 0,001152}{3,30} + \frac{4 \cdot 1462,05 \cdot 0,001152}{3,30} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,0002813}{6,30} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,0002813}{6,00}} \cdot$$

$$\cdot \left[\frac{13,47 \cdot 6,30^2}{4 \cdot (4 - 1)} - \frac{6,27 \cdot 6,00^2}{4 \cdot (4 - 1)} \right] = 3,41 \text{ kNm}$$

$$e_1 = \frac{M_{1d}}{N_{Ed,1}} + e_{he} + e_{init} = \frac{3,41}{326} + 0 + 0,0051 = 0,0155 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunków:

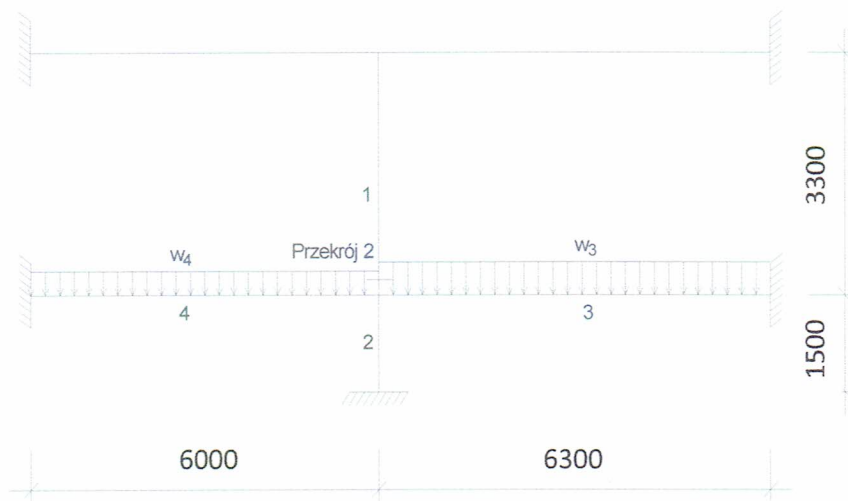
$$e_1 \geq 0,05t = 0,05 \cdot 0,24 = 0,0120 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$e_1 < 0,45t = 0,45 \cdot 0,24 = 0,1080 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

$$\phi_1 = 1 - 2 \frac{e_1}{t} = 1 - 2 \frac{0,0155}{0,24} = 0,87$$

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

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



Jako nr 1 oznaczamy pręt odzwierciedlający naszą liczoną ścianę, pręt nr 2 to jest ściana kolejna dochodząca do analizowanego węzła czyli w tym przypadku ściana fundamentowa lub piwnicy, pręt nr 3 to pręt odzwierciedlający strop o większej rozpiętości, pręt nr 4 to pręt odzwierciedlający strop o mniejszej rozpiętości.

Jeżeli została zaprojektowana piwnica to w miejsce wysokości ściany nr 2 wpisujemy wysokość ściany piwnicy, jeżeli jest tylko ściana fundamentowa to wpisujemy wysokość ściany do poziomu górnego fundamentu. Ścianę fundamentową najlepiej zaprojektować jako wylewaną, betonową. Wtedy bez problemu można przyjąć połączenie z fundamentem jako sztywne. W przypadku gdy ściana fundamentowa zostanie zaprojektowana jako ściana murowana należy uwzględnić zmianę współczynnika zamocowania „n” na wartość „3”, ponieważ połączenie ściany murowanej z betonowym fundamentem nie należy traktować jako sztywne i w miejscu zakończenia ściany nr 2 należałoby wtedy wprowadzić przegub.

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

$$\rho_n = 0,75$$

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

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

$$n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 4,0$$

$$E_1 = 600f_k = 600 \cdot 2,44 = 1462,05 \text{ MPa}$$

$$E_2 = 31 \text{ GPa (ściana fundamentowa betonowa)}$$

$$E_3 = E_4 = 31 \text{ GPa (strop betonowy)}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{bt^3}{12} = \frac{1 \cdot 0,24^3}{12} = 0,001152 \text{ m}^4$$

$$I_3 = I_4 = \frac{bt^3}{12} = \frac{1 \cdot 0,15^3}{12} = 0,0002813 \text{ m}^4$$

$$h_1 = 3,30$$

$$h_2 = 1,50$$

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

$$l_4 = 6,00 \text{ m}$$

$$w_3 = [1,35 \cdot 0,85 \cdot 5,46 + 1,5 \cdot 4,8] \cdot 1,0 = 13,47 \text{ kN/m}$$

$$w_4 = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 5,46 \cdot 1,0 = 6,27 \text{ kN/m}$$

$$M_{2d} = \frac{\frac{4 \cdot 1462,05 \cdot 0,001152}{3,30} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,001152}{1,50} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,0002813}{6,30} + \frac{4 \cdot 31000 \cdot 0,0002813}{6,00}}{\left[\frac{13,47 \cdot 6,30^2}{4 \cdot (4-1)} - \frac{6,27 \cdot 6,00^2}{4 \cdot (4-1)} \right]} = 0,48 \text{ kNm}$$

$$e_2 = \frac{M_{2d}}{N_{Ed,2}} + e_{he} + e_{init} = \frac{0,48}{333,0} + 0 + 0,0051 = 0,0065 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunków:

$$e_2 \geq 0,05t = 0,05 \cdot 0,24 = 0,0120 \rightarrow \text{warunek niespełniony}$$

$$e_2 < 0,45t = 0,45 \cdot 0,24 = 0,1080 \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

Przyjmuję $e_2 = 0,012$

$$\phi_2 = 1 - 2 \frac{e_2}{t} = 1 - 2 \frac{0,012}{0,24} = 0,90$$

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

$$\phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}}$$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t}$$

EN 1996 Załącznik G

e_{mk} - mimośród w połowie wysokości ściany

Wybieramy wzór jako jeden z dwóch:

Dla: $E = 1000f_k$

$$u = \frac{h_{eff}/t_{eff} - 2}{23 - 37e_{mk}/t}$$

Dla: $E = 700(600)f_k$

$$u = \frac{h_{eff}/t_{eff} - 1,54}{17,8 - 28,5e_{mk}/t}$$

$$e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05t$$

EN 1996 Wzór 6.6

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{Ed,m}} + e_{hm} + e_{init}$$

e_k - mimośród wywołany przez pętlanie

$$e_k = 0,002\phi_\infty \frac{h_{eff}}{t_{eff}} \sqrt{te_m}$$

EN 1996 Wzór 6.8

W przypadku ścian o smukłości nie większej niż λ_c , wartość e_k mimośrodu spowodowanego pętlaniem można przyjąć równą zero.

$$e_k = 0 \text{ jeżeli } \lambda \leq \lambda_c = 15 \rightarrow \lambda = \frac{h_{eff}}{t}$$

Obliczamy smukłość ściany λ i sprawdzamy czy nie jest większa od 15. Jeżeli okaże się, że będzie więcej niż 15 najlepiej na tym etapie przeprojektować ścianę czyli zwiększyć jej grubość.

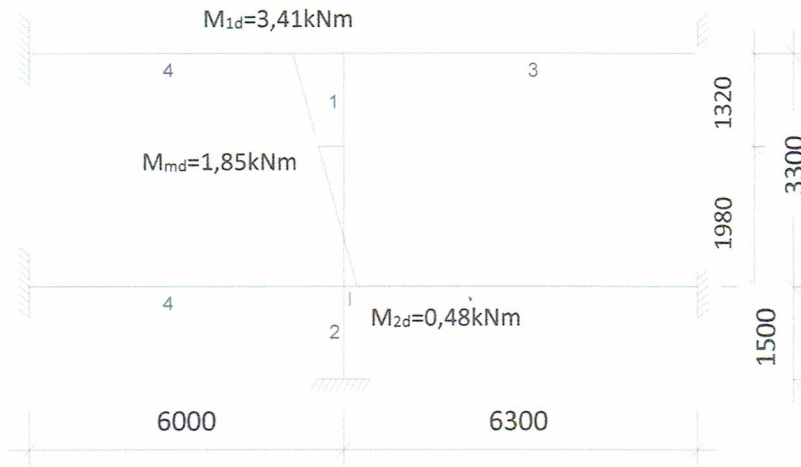
$$h = 3,30 - 0,27 = 3,03 \text{ m}$$

$$\rho_n = 0,75$$

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

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

Wartość mimośrodów w 2/5h wysokości ściany licząc od góry (wyznaczamy z proporcji liniowej zależności):



$$M_{md} = 1,85 \text{ kNm}$$

$$\lambda = \frac{h_{eff}}{t} = \frac{2,27}{0,24} = 9,47 < 15 \rightarrow e_k = 0$$

$$e_m = \frac{1,85}{329,5} + 0 + 0,0051 = 0,0107$$

$$e_{mk} = 0,0077 + 0 = 0,0077$$

Sprawdzenie warunków:

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

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

Zatem przyjmuję $e_{mk} = 0,0120 \text{ m}$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2 \frac{0,0120}{0,24} = 0,90$$

$$u = \frac{h_{eff}/t_{eff} - 1,54}{17,8 - 28,5 e_{mk}/t} = \frac{2,27/0,24 - 1,54}{17,8 - 28,5 \cdot 0,0120/0,24} = 0,48$$

$$\phi_m = 0,90 \cdot e^{-\frac{0,48^2}{2}} = 0,80$$

$$N_{Rd,1} = \phi_1 A f_d = 0,87 \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} \cdot 1,22 \text{ MPa} \cdot 10^3 = 254,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,2} = \phi_2 A f_d = 0,90 \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} \cdot 1,22 \text{ MPa} \cdot 10^3 = 234,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,m} = \phi_m A f_d = 0,80 \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} \cdot 1,22 \text{ MPa} \cdot 10^3 = 263,2 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,1} = 254,6 \text{ kN} < N_{Ed,1} = 326,0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,2} = 234,6 \text{ kN} < N_{Ed,2} = 333,0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,m} = 263,2 \text{ kN} < N_{Ed,m} = 329,5 \text{ kN}$$

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