

1. Zebranie obciążeń charakterystycznych na filarek – sposób uproszczony do modelu przegubowego

a) obciążenia z wyższych kondygnacji

Stale

- dach	$2,2 \text{ m} \cdot 1,17 \text{ kN/m}^2 \cdot ((10,58 \text{ m} / 2) / \cos 30^\circ) = 15,70 \text{ kN}$
- strop nad I piętrzem	$2,2 \text{ m} \cdot 6,3 \text{ kN/m}^2 \cdot ((4,5 \text{ m} - 2 \cdot 0,24 \text{ m} / 2) / 2) = 29,52 \text{ kN}$
- ściana zewnętrzna I piętra	$5,06 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,47 \text{ m}^2 = 17,56 \text{ kN}$
- ścianka kolankowa	$5,06 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,83 \text{ m}^2 = 9,26 \text{ kN}$
- wieńce x2	$2 \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 1,08 \text{ kN/m} = 4,80 \text{ kN}$
	Suma G = 76,84 kN

Zmienne użytkowe

- dach	$2,2 \text{ m} \cdot 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,11 \text{ m} = 5,38 \text{ kN}$
- strop nad I piętrzem	$2,2 \text{ m} \cdot 2,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,13 \text{ m} = 9,37 \text{ kN}$
- zastępcze od ścianek działowych	$2,2 \text{ m} \cdot 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,13 \text{ m} = 2,34 \text{ kN}$
	Suma I = 17,09 kN

Śnieg

$$2,2 \text{ m} \cdot 0,72 \text{ kN/m}^2 \cdot 10,58 \text{ m} / 2 = 8,36 \text{ kN}$$

S = 8,36 kN

Wiatr wiejący na ścianę podłużną – parcie

Obciążenie zmienne na długości połączenia. Połączenie nachylone pod kątem 30°.

- dach (pole G i H)

$$(2,2 \text{ m} \cdot 0,56 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 30^\circ) \cdot (1,36 \text{ m} / \cos 30^\circ) + (2,2 \text{ m} \cdot 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 30^\circ) \cdot ((5,29 \text{ m} / \cos 30^\circ) - (1,36 \text{ m} / \cos 30^\circ)) = 5,04 \text{ kN}$$

$$\text{Dach } W_p = 5,04 \text{ kN}$$

- ściana – pole D $2,2 \text{ m} \cdot 0,62 \text{ kN/m}^2 = 1,36 \text{ kN/m}$

$$\text{Ściana } W_p = 1,36 \text{ kN/m}$$

Wiatr wiejący na ścianę poprzeczną – ssanie

- dach (pole I)

$$2,2 \text{ m} \cdot (-0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 30^\circ \cdot (5,29 \text{ m} / \cos 30^\circ)) = -4,52 \text{ kN}$$

$$\text{Dach } W_s = -4,52 \text{ kN}$$

- ściana – W polu B jest większe obciążenie ssaniem wiatru niż w polu E przy wietrze wiejącym na ścianę podłużną. $2,2 \text{ m} \cdot (-0,56 \text{ kN/m}^2) = -1,23 \text{ kN/m}$

$$\text{Ściana } W_s = -1,23 \text{ kN/m}$$

b) obciążenie stropu nad parterem

Stale

- strop	29,52 kN
- wieńiec	2,40 kN
	Suma G = 31,92 kN

Zmienne

- użytkowe	9,37 kN
- zastępcze od ścianek działowych	2,34 kN
	Suma I = 11,71 kN

c) ciężar ściany parteru

- w połowie wysokości ściany $5,06 \text{ kN/m}^2 \cdot (2,2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} + 0,7 \text{ m} \cdot 1,1 \text{ m}) = 6,12 \text{ kN}$

$$\text{W połowie wysokości ściany } G = 6,12 \text{ kN}$$

- na dole ściany

$$\text{Na dole ściany } G = 17,56 \text{ kN}$$

2. Kombinacje obciążeń obliczeniowych

-	stałe	zmiennie	śnieg	wiatr - parcie	wiatr - ssanie
	G	I	S	dach W_{pd} ściana W_{ps}	dach W_{sd} ściana W_{ss}
Siła pionowa w ścianie w przekroju 1	76,84 kN	17,09 kN	8,36 kN	5,04 kN 1,36 kN/m	-4,52 kN -1,23 kN/m
Siła pionowa w ścianie w przekroju m	76,84 + 6,12 = 82,96 kN	17,09 kN	8,36 kN	5,04 kN 1,36 kN/m	-4,52 kN -1,23 kN/m
Siła pionowa w ścianie w przekroju 2	76,84 + 17,56 = 94,40 kN	17,09 kN	8,36 kN	5,04 kN 1,36 kN/m	-4,52 kN -1,23 kN/m
Siła pionowa od stropu nad parterem	31,92 kN	11,71 kN	-	-	-

Kombinacje:

nr	Rodzaj	Obc. dominujące	Kombinacja dla siły pionowej w przekroju 1, m, 2 W kolejnych przekrojach różnią się wartości siły G	Kombinacja dla siły od stropu	Kombinacja dla obciążenie poziomego w ścianie
1	EQU 4.2	W_p	$1,1 \cdot G + 1,5 \cdot W_{pd} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$	$1,1 \cdot G + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I$	$1,5 \cdot W_{ps}$
2	EQU 4.2	W_s	$1,1 \cdot G + 1,5 \cdot W_{sd} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$	$1,1 \cdot G + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I$	$1,5 \cdot W_{ss}$
3	STR 4.3	G	$1,1 \cdot G$	$1,1 \cdot G$	—
4	STR 4.4	I	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot I + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{pd} + 1,5 \cdot 1,5 \cdot S$	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot I$	$1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{ps}$
5	STR 4.4	I	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot I + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{sd} + 1,5 \cdot 1,5 \cdot S$	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot I$	$1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{ss}$
6	STR 4.4	W_p	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot W_{pd} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I$	$1,5 \cdot W_{ps}$
7	STR 4.4	W_s	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot W_{sd} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I$	$1,5 \cdot W_{ss}$
8	STR 4.4	S	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{pd}$	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I$	$1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{ps}$
9	STR 4.4	S	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{sd}$	$1,15 \cdot G + 1,5 \cdot 0,7 \cdot I$	$1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{ss}$

	G	I	S	Wp	Ws
NEdu1	76,84	17,09	8,36	5,04	-4,52
				1,36	-1,23
Nedum	82,96	17,09	8,36	5,04	-4,52
				1,36	-1,23
NEdu2	94,4	17,09	8,36	5,04	-4,52
				1,36	-1,23
Nedf	31,92	11,71			

parcie/ssanie	nr		NEdu1	W ściana	Nedf	Nedum	NEdu2
p	1	EQU 4.2 Wp	116,30	2,04	47,41	123,03	135,61
s	2	EQU 4.2 Ws	101,96	-1,85	47,41	108,69	121,27
p	3	STR 4.3 G	84,52	0,00	35,11	91,26	103,84
p	4	STR 4.4 I	124,81	1,22	54,27	131,85	145,00
s	5	STR 4.4 I	116,20	-1,11	54,27	123,24	136,40
p	6	STR 4.4 W	120,14	2,04	49,00	127,18	140,33
s	7	STR 4.4 W	105,80	-1,85	49,00	112,84	125,99
p	8	STR 4.4 S	123,39	1,22	49,00	130,42	143,58
s	9	STR 4.4 S	114,78	-1,11	49,00	121,82	134,98

Najbardziej niekorzystne siły otrzymano w kombinacji nr 4 STR wzór 4.4 z obciążeniem dominującym I (użytkowe) oraz parciem wiatru. W tej kombinacji moment od działania wiatru na ścianę niekorzystnie zmniejsza ugięcie ściany, zatem dla obliczeń w środku wysokości ściany przyjęto siły z kombinacji nr 7 STR wzór 4.4 z obciążeniem dominującym W oraz ssaniem wiatru.

3. Określanie mimośrodków działania poszczególnych sił

W tym przykładzie przyjęto, że wieniec jest węższy niż ściana o 4 cm, więc w przykładzie dolicza się momenty od mimośrodowego działania sił z wyższych kondygnacji i stropu. Jeżeli wieniec jest tej samej szerokości co ściana liczy się tylko moment od obciążenia rozłożonego na stropie – wg metody uproszczonej z normy.

$$a = 0,04 \text{ m}$$

1) węzeł górny

– siła od stropu

$$e_{1st} = t / 2 - (t - a) / 2 = a / 2 = 0,04 \text{ m} / 2 = 0,02 \text{ m}$$

– siła ze ściany

$$e_1 = t / 2 - (t - a) / 4 = (t + a) / 4 = (0,24 \text{ m} + 0,04 \text{ m}) / 4 = 0,07 \text{ m}$$

2) węzeł dolny

– siła ze ściany (+ciężar ściany na dole)

$$e_2 = t / 2 - a - (t - a) / 4 = (t - 3 \cdot a) / 4 = (0,24 \text{ m} - 3 \cdot 0,04 \text{ m}) / 4 = 0,03 \text{ m}$$

4. Obliczenie momentów (wartości maksymalne wytłuszczono)

a) od parcia wiatru (kombinacja nr 4)

– węzeł górny

$$\mathbf{M_{1d}} = N_{Edf} \cdot e_{1st} + N_{Edu1} \cdot e_1 = 54,27 \cdot 0,02 + 124,81 \cdot 0,07 = \mathbf{10,91 \text{ kNm}}$$

– węzeł dolny

$$\mathbf{M_{2d}} = (N_{Edu2} + N_{Edf}) \cdot e_2 = (145,00 + 54,27) \cdot 0,03 = \mathbf{5,98 \text{ kNm}}$$

– środek wysokości ściany

od momentów $M_{mdM} = (10,91 + 5,98) / 2 = 8,45 \text{ kNm}$

od wiatru $M_{wdp} = (-1,22 \cdot 2,6^2) / 8 = -1,03 \text{ kNm}$

całkowity $M_{md} = M_{mdM} + M_{wdp} = 8,45 - 1,03 = 7,42 \text{ kNm}$

b) od ssania wiatru (kombinacja nr 7)

– węzeł górny

$$M_{1d} = N_{Edf} \cdot e_{1st} + N_{Edu1} \cdot e_1 = 49,0 \cdot 0,02 + 105,8 \cdot 0,07 = 8,39 \text{ kNm}$$

– węzeł dolny

$$M_{2d} = (N_{Edu2} + N_{Edf}) \cdot e_2 = (125,99 + 49,0) \cdot 0,03 = 5,25 \text{ kNm}$$

– środek wysokości ściany

od momentów $M_{mdM} = (8,39 + 5,25) / 2 = 6,82 \text{ kNm}$

od wiatru $M_{wdp} = (1,85 \cdot 2,6^2) / 8 = 1,56 \text{ kNm}$

całkowity $M_{md} = M_{mdM} + M_{wdp} = 6,82 + 1,56 = \mathbf{8,38 \text{ kNm}}$

5. Określanie wypadkowych mimośrodków

– mimośród przypadkowy

$$e_{init} = h_{eff} / 450 = 2,6 \text{ m} / 450 = 0,006 \text{ m}$$

– mimośród na górze ściany

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

$e_{he,1}$ – od obciążeń poziomych, w modelu przegubowym = 0 w tym przekroju

$$e_1 = 10,91 / (54,27 + 124,81) + 0 + 0,006 = 0,07 \text{ m} > 0,05 \cdot 0,24 = 0,012 \text{ m}$$

– mimośród na dole ściany

$$e_2 = M_{2d} / N_{2d} + e_{he,2} + e_{init} \geq 0,05 \cdot t$$

$e_{he,2}$ – od obciążeń poziomych, w modelu przegubowym = 0 w tym przekroju

$$e_2 = 5,98 / (54,27 + 145,0) + 0 + 0,006 = 0,04 \text{ m} > 0,012 \text{ m}$$

– mimośród w połowie wysokości ściany

$$e_{mk} = e_m + e_k$$

$$e_m = M_{md} / N_{md} + e_{hm} + e_{init}$$

$$e_m = 6,82 / (49,0 + 112,84) + 1,56 / (49,0 + 112,84) + 0,006 = 0,05 \text{ m}$$

$$e_k = 0,002 \cdot \phi_{sc} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m}$$

$$e_k = 0,002 \cdot 1,5 \cdot \frac{2,6}{0,24} \cdot \sqrt{0,24 \cdot 0,05} = 0,004 \text{ m}$$

$$e_{mk} = 0,05 + 0,004 = 0,05 \text{ m}$$

6. Określenie współczynników redukcyjnych

– na górze ściany

$$\Phi_1 = 1 - 2 \cdot e_1 / t$$

$$\Phi_1 = 1 - 2 \cdot 0,07 / 0,24 = 0,42$$

– na dole ściany

$$\Phi_2 = 1 - 2 \cdot e_2 / t$$

$$\Phi_2 = 1 - 2 \cdot 0,04 / 0,24 = 0,67$$

– w połowie wysokości ściany

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

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

dla $E = 1000 \cdot f_k$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 37 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{\frac{2,6}{0,24} - 2}{23 - 37 \cdot \frac{0,05}{0,24}} = 0,578$$

$$A_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2 \cdot \frac{0,05}{0,24} = 0,58$$

$$\phi_m = A_1 \cdot e^{\frac{u^2}{2}} = 0,58 \cdot 2,718^{-0,167} = 0,49$$

7. Sprawdzenie nośności ściany

$$A = 0,7 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} = 0,168 \text{ m}^2 \quad > 0,1 \text{ m}^2 \quad < 0,3 \text{ m}^2$$

– na górze ściany

$$N_{1Rd} = \phi_1 \cdot A \cdot f_d = 0,42 \cdot 0,168 \cdot 2,54 = 0,1792 \text{ MN}$$

$$N_{1Ed} = 124,81 + 54,27 = 179,08 = 0,1791 \text{ MN} < N_{1Rd} = 0,1792 \text{ MN}$$

zbyt mały zapas nośności

– na dole ściany

$$N_{2Rd} = \phi_2 \cdot A \cdot f_d = 0,67 \cdot 0,168 \cdot 2,54 = 0,286 \text{ MN}$$

$$N_{2Ed} = 145,0 + 54,27 = 199,27 = 0,199 \text{ MN} < N_{2Rd} = 0,286 \text{ MN}$$

– w połowie wysokości ściany

$$N_{mRd} = \phi_m \cdot A \cdot f_d = 0,49 \cdot 0,168 \cdot 2,54 = 0,209 \text{ MN}$$

$$N_{mEd} = 105,8 + 49,0 = 154,80 = 0,155 \text{ MN} < N_{mRd} = 0,209 \text{ MN}$$

Przyjęto wyższą klasę elementów murowych (25).

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M \cdot \gamma_{Rd}} = \frac{6,9}{1,7 \cdot 1,32} = 3,07 \text{ MPa}$$

– na górze ściany

$$N_{1Rd} = \phi_1 \cdot A \cdot f_d = 0,42 \cdot 0,168 \cdot 3,07 = 0,217 \text{ MN}$$

$$N_{1Ed} = 0,180 \text{ MN} < N_{1Rd} = 0,217 \text{ MN}$$

– na dole ściany

$$N_{2Rd} = \phi_2 \cdot A \cdot f_d = 0,67 \cdot 0,168 \cdot 3,07 = 0,346 \text{ MN}$$

$$N_{2Ed} = 0,200 \text{ MN} < N_{2Rd} = 0,346 \text{ MN}$$

– w połowie wysokości ściany

$$N_{mRd} = \phi_m \cdot A \cdot f_d = 0,49 \cdot 0,168 \cdot 3,07 = 0,253 \text{ MN}$$

$$N_{mEd} = 0,155 \text{ MN} < N_{mRd} = 0,253 \text{ MN}$$

Warunek nośności został spełniony.