

KONSTRUKCJE MUROWE WG EUROKODU 6

dr inż. Monika Siewczyńska
Politechnika Poznańska

Obowiązujący komplet norm

Polskie wersje Eurokodu 6 – PN-EN 1996 *Projektowanie konstrukcji murowych*, w tym:

- PN-EN 1996-1-1 *Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych*
- PN-EN 1996-1-2 *Reguły ogólne – Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe,*
- PN-EN 1996-2 *Uwarunkowania projektowe, dobór materiałów i wykonawstwo konstrukcji murowych*
- PN-EN 1996-3 *Uproszczone metody obliczania niezbrojonych konstrukcji murowych.*

Zasady ogólne

Projektowanie zgodnie z Eurokodami uważa się za spełnione jeżeli:

- zastosowano koncepcję stanów granicznych z metodą współczynników częściowych oraz zastosowano kombinacje obciążeń podaną w PN-EN 1990,
- przyjęto oddziaływania zgodnie z PN-EN 1991,
- zasady i reguły projektowania przyjęto według PN-EN 1996-1-1.

Zasady ogólne

Potrzebne do obliczania stanów granicznych w sytuacjach zwykłych i wyjątkowych współczynniki częściowe dla własności materiałów γ_M podane są w załączniku krajowym w tablicy NA.1 i NA.2. Wartości te zależą od:

- kategorii elementów murowych
- rodzaju zaprawy
- przekroju poprzecznego muru
- kategorii wykonania robót: klasa A, klasa B

Trwałość

Należy uwzględniać warunki mikro ekspozycji i ich wpływ na warunki mikro ekspozycji. Rozróżnia się pięć klas warunków mikro ekspozycji środowiska (pkt. 2.1.2.1 PN-EN 1996-2):

- MX1 – suche,
- MX2 – narażone na zawilgocenie lub zamoczenie,
- MX3 – narażone na zawilgocenie lub zamoczenie z cyklicznym zamrażaniem/rozmarzaniem,
- MX4 – narażone na działanie soli z powietrza lub wody morskiej,
- MX5 – chemicznie agresywne.

Przykłady opisów poszczególnych środowisk podano załączniku A do PN-EN 1996-2.

Trwałość

Czynniki makro ekspozycji (pkt. 2.1.2.2 PN-EN 1996-2):

- deszcz i śnieg,
- kombinacje wiatru z deszczem,
- różnice temperatur,
- zmiany wilgotności względnej.

Elementy murowe

Elementy murowe dzieli się na rodzaje, grupy i kategorie:

rodzaje:

- ceramiczne,
- silikatowe,
- z betonu kruszywowego,
- z autoklawizowanego betonu komórkowego,
- z kamienia sztucznego,
- z kamienia naturalnego,

Elementy murowe

grupy (szczegółowa klasyfikacja podana jest w tablicy 3.1 PN-EN 1996-1-1):

- 1 – elementy pełne i o objętości otworów $\leq 25\%$,
- 2 – elementy z drążeniami pionowymi o objętości otworów $> 25\%$ i $\leq 55\%$,
- 3 – elementy z drążeniami pionowymi o objętości otworów $> 25\%$ i $\leq 70\%$,
- 4 – elementy z drążeniami poziomymi o objętości otworów $> 25\%$ i $\leq 70\%$,

Elementy murowe

kategorie (na podstawie PN-EN 771-2:2006 pkt. 3.22 i 3.23):

- I – elementy o wytrzymałości na ściskanie deklarowanej z prawdopodobieństwem, że wystąpienie wytrzymałości mniejszej jest $\leq 5\%$,
- II – elementy, które nie spełniają standardów kategorii I.

Zaprawy murarskie

Rozróżnia się zaprawy murarskie:

- zwykłe,
- do cienkich spoin,
- inne zaprawy specjalne, np. lekkie.

W zależności od sposobu ustalania składu zaprawy dzieli się na:

- projektowane,
- przepisane.

Szczegóły dotyczące projektowania składu mieszanek zapraw podano w załączniku krajowym w punkcie NA.2.

Wytrzymałość na ściskanie zaprawy murarskiej oznaczono przez f_m .

ściskanie

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie dla murów:

- wykonanych na zaprawie zwykłej lub lekkiej (NA.1 PN-EN 1996-1-1)

$$f_k = K \cdot f_b^{0,70} \cdot f_m^{0,30}$$

- ze spoinami ciekimi z elementów ceramicznych grupy 1 i 4, silikatowych, z betonu kruszywowego oraz z autoklawizowanego betonu komórkowego o $f_b \geq 2,4$ MPa (NA.2 PN-EN 1996-1-1)

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

- ze spoinami ciekimi z autoklawizowanego betonu komórkowego o $f_b < 2,4$ MPa (NA.3 PN-EN 1996-1-1)

$$f_k = 0,8 \cdot K \cdot f_b^{0,85}$$

- ze spoinami ciekimi z elementów ceramicznych grupy 2 i 3 (NA.4 PN-EN 1996-1-1)

$$f_k = K \cdot f_b^{0,70}$$

gdzie K jest współczynnikiem zależnym od rodzaju elementów murowych i zaprawy określonym w tablicy NA.5 (PN-EN 1996-1-1).

Dodatkowe warunki

Dla murów wykonanych ze spoiną podłużną wartości obliczone według ww. wzorów należy pomnożyć przez wartość 0,8.

Załącznik krajowy określa ponadto wartości maksymalne f_b i f_m przyjmowane w obliczeniach:

- f_m dla muru na zaprawie zwykłej nie powinno przekraczać:
 - ▣ 20 MPa oraz $2 \cdot f_b$ dla elementów grupy 1
 - ▣ $1 \cdot f_b$ dla elementów grupy 2, 3 i 4,
- f_m dla muru na zaprawie lekkiej i ze spoinami cienkimi nie powinno przekraczać 10 MPa.

Parametry wytrzymałościowe muru

Zasady podane w normie PN-EN 1996-1-1 można stosować do murów o przekroju poprzecznym nie mniejszym niż 0,04 m².

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M \cdot \gamma_{Rd}}$$

γ_M – tabl. NA.1 PN-EN 1996-1-1

Gdy pole przekroju poprzecznego muru jest mniejsze niż 0,30 m² należy dodatkowo stosować mnożnik γ_{Rd} – tabl. NA.2 PN-EN 1996-1-1.

Pole przekroju poprzecznego muru [m ²]	≤ 0,05–0,09	0,12	0,20	≥ 0,30
γ_{Rd}	2,00	1,43	1,25	1,00

Uwaga: Dla wartości pośrednich pola przekroju muru wartości γ_{Rd} można interpolować.

Wartości współczynnika γ_m

Materiał			γ_M		
			klasa		
			A	B	
A	mur z elementów kategorii I, zaprawa projektowana		ściany grubości $t > 150$ mm*	1,7	2,0
B	mur z elementów kategorii I, zaprawa przepisana			2,0	2,2
C	mur z elementów kategorii II, zaprawa dowolna			2,2	2,5
D	zakotwienie prętów stali zbrojeniowej			2,0	2,2
E	stal zbrojeniowa i sprężająca			1,15	
F	wyroby dodatkowe zgodne z PN-EN 845- i PN-EN 845-3			2,0	2,2
G	nadproża	prefabrykowane zgodne z PN-EN 845-2		1,7	
		wykonywane na budowie		2,5	
<p>* dla ścian grubości $150 \text{ mm} \geq t \geq 100 \text{ mm}$:</p> <ul style="list-style-type: none"> – wykonanych z elementów murowych kategorii I i zaprawy projektowanej, klasa A wykonania robót $\gamma_M = 2,5$ – w pozostałych przypadkach $\gamma_M = 2,7$ 					

Właściwości odkształceniowe muru

Doraźny sieczny moduł sprężystości, przy braku wyników badań, można przyjąć według załącznika krajowego:

- dla murów wykonanych na zaprawie $f_m \geq 5$ MPa, z wyjątkiem murów z autoklawizowanego betonu komórkowego

$$E = 1000 \cdot f_k$$

- dla murów z autoklawizowanego betonu komórkowego oraz innych wykonanych na zaprawie $f_m < 5$ MPa

$$E = 600 \cdot f_k$$

Właściwości odkształceniowe muru

Długotrwały moduł sprężystości muru wyznacza się z zależności (wzór 3.8 PN-EN 1996-1-1):

$$E_{longterm} = \frac{E}{1 + \phi_{\infty}}$$

gdzie: ϕ_{∞} – końcowy współczynnik pełzania,
 E – doraźny, sieczny moduł sprężystości muru.

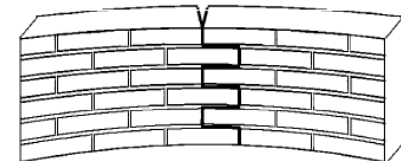
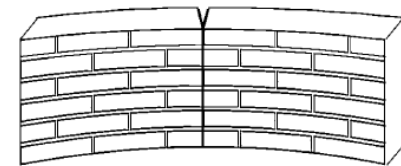
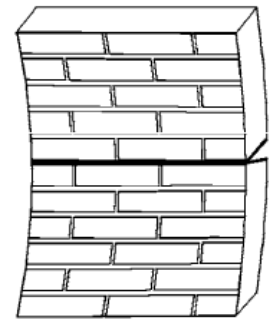
Końcowy współczynnik pełzania odczytuje się z tablicy w punkcie 3.7.4(2) PN-EN 1996-1-1 w zależności od rodzaju elementów murowych.

zginanie

Wytrzymałość charakterystyczna muru na zginanie

Wytrzymałość muru na rozciąganie przy zginaniu określa się według załącznika krajowego w zależności od rodzaju elementów murowych i zaprawy dla dwóch przypadków:

- gdy zniszczenie następuje w płaszczyźnie **równoległej** do spoin wspornych
- gdy zniszczenie następuje w płaszczyźnie **prostopadłej** do spoin wspornych



Wytrzymałość charakterystyczna muru na zginanie – kierunek równoległy

Gdy zniszczenie następuje w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych f_{xk1} przyjmuje się z tablicy NA.8

Materiał elementu murowego	Rodzaj zaprawy			
	Zaprawa zwykła		Zaprawa do cienkich spoin	Zaprawa lekka
	$f_m < 5 \text{ MPa}$	$f_m \geq 5 \text{ MPa}$		
Ceramika	0,10	0,10	0,15	0,10
Silikaty	0,05	0,10	0,15	nie stosuje się
Beton kruszywowy	0,05	0,10	nie stosuje się	nie stosuje się
Autoklawizowany beton komórkowy	0,05	0,10	$0,035 f_b$	0,10
Kamień sztuczny	0,05	0,10	nie stosuje się	nie stosuje się
Kamień naturalny	0,05	0,10	0,15	nie stosuje się

Wytrzymałość charakterystyczna muru na zginanie – kierunek prostopadły

Gdy zniszczenie następuje w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych f_{xk2} przyjmuje się z tablicy NA.9.

Materiał elementu murowego	Rodzaj zaprawy			
	Zaprawa zwykła		Zaprawa do cienkich spoin	Zaprawa lekka
	$f_m < 5 \text{ MPa}$	$f_m \geq 5 \text{ MPa}$		
Ceramika	0,20	0,40	0,15	0,10
Silikaty	0,20	0,40	0,30	nie stosuje się
Beton kruszywowy	0,20	0,40	nie stosuje się	nie stosuje się
Autoklawizowany beton komórkowy	0,20	0,40	$0,035 f_b^*)$	0,15
Kamień sztuczny	0,20	0,40	nie stosuje się	nie stosuje się
Kamień naturalny	0,20	0,40	0,15	nie stosuje się

*) W przypadku pionowych spoin niewypełnionych zaprawą $f_{xk2} = 0,025 f_b$.

ściananie

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie

Wytrzymałość muru na ścinanie określa się według załącznika krajowego oddzielnie dla murów:

- ze spoinami pionowymi wypełnionymi (pkt. NA.4.1)
- ze spoinami pionowymi niewypełnionymi (pkt. NA.4.2)

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie – spoiny wypełnione

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie w kierunku:

- **równoległym** do spoin wspornych określana jest jako najmniejsza z wartości wyznaczonych z zależności (wzór NA.5):

$$\min. \left\{ \begin{array}{l} f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d \\ f_{vk} = 0,065 \cdot f_b \end{array} \right.$$

$$f_{vk} = \text{wartości graniczne tabl. NA.6 PN-EN 1996-1-1}$$

gdzie: f_{vko} – wartości podane w tabl. NA.6 PN-EN 1996-1-1,

σ_d – wartość średnia obliczeniowych naprężeń ściskających w przekroju w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ścinania.

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie – spoiny wypełnione

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie w kierunku:

- **prostopadłym** do spoin wspornych przyjmuje się z tablicy NA.7 w zależności od grupy elementów murowych,

Grupa elementu murowego	f_b				
	< 5	5	10	15	≥ 20
1 – z wyjątkiem autoklawizowanego betonu komórkowego	nie stosuje się	0,7	0,9	1,0	1,1
2	0,1	0,2	0,3		0,4
3 i 4	0,1	0,2			
Autoklawizowany beton komórkowy	$0,1 f_k$				

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie – spoiny niewypełnione

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie określana jest jako najmniejsza z wartości wyznaczonych z zależności (wzór NA.6):

$$\min. \left\{ \begin{array}{l} f_{vk} = 0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d \\ f_{vk} = 0,045 \cdot f_b > f_{vko} \\ f_{vk} = 0,7 \text{ wartości graniczne tabl. NA.6} \end{array} \right.$$

Materiał elementu murowego	f_{vko}				Ograniczenie f_{vk}		
	Zaprawa zwykła		Zaprawa do cienkich spoin	Zaprawa lekka	Grupa elementu murowego		
	f_m	f_{vko}			1	2	3 i 4
Ceramika	15; 20	0,30	0,25	0,10	1,7	1,4	ograniczenia jak pod wzorem (NA.5)
	5; 10	0,20			1,5	1,2	
	1; 2,5	0,10			1,2	1,0	
Silikaty	15; 20	0,20	0,30	nie stosuje się	1,7	1,4	
	5; 10	0,15			1,5	1,2	
	1; 2,5	0,10			1,2	1,0	
Beton kruszywowy	15; 20	0,20	nie stosuje się		ograniczenia jak pod wzorem (NA.5)		
Autoklawizowany beton komórkowy	2,5; 5; 10	0,15	0,25	0,10			
Kamień naturalny i sztuczny	1; 2,5	0,10	nie stosuje się				

ściskanie

ściany obciążone siłą skupioną

Nośność ścian murowych obciążonych siłą skupioną

Sprawdzenie nieprzekroczenia dopuszczalnego docisku pod siłą skupioną (N_{Edc}) przeprowadza się według wzoru (wzór 6.9 PN-EN 1996-1-1):

$$N_{Edc} \leq N_{Rdc}$$

Wartość nośności wyznacza się z zależności (wzór 6.10 PN-EN 1996-1-1):

$$N_{Rdc} = \beta \cdot A_b \cdot f_d$$

dla elementów murowych z **grupy 1**:

$$\beta = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c} \right) \cdot \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}} \right)$$

$$0 < \beta \leq 1,25 + \frac{a_1}{2h_c}$$

$$0 < \beta \leq 1,5$$

Nośność ścian murowych obciążonych siłą skupioną

dla elementów murowych z **grupy 2, 3 i 4:** $\beta = 1,0$

gdzie: A_b – pole, przez które przekazywane jest obciążenie,

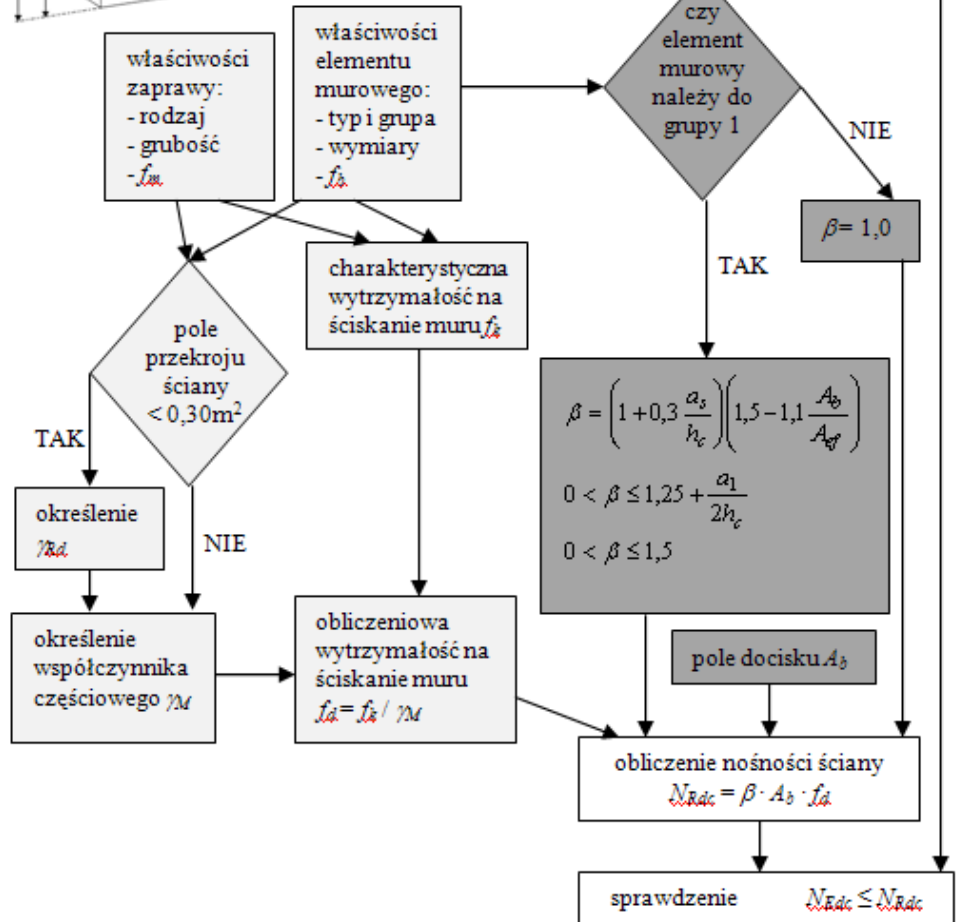
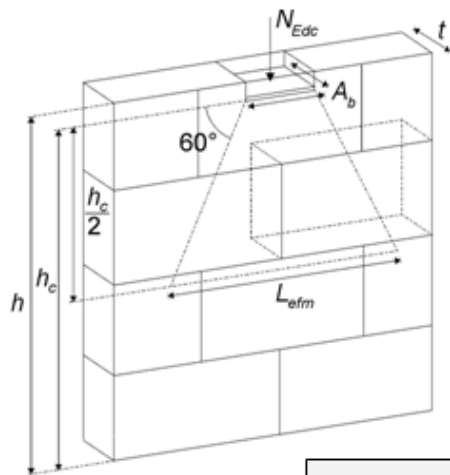
A_{ef} – pole, na które rozkłada się obciążenie (w połowie wysokości ściany) $A_{ef} = l_{efm} \cdot t$,

l_{efm} – efektywna długość rozdziału w połowie wysokości ściany, może być ograniczona szerokością filarka,

a_1 – odległość końca ściany od krawędzi pola A_b ,

h_c – wysokość ściany do poziomu obciążenia.

Przyjmuje się, że obciążenie rozkłada się w murze pod kątem 60° do poziomu. Bezpośrednio pod polem docisku powinny być zastosowane elementy murowe grupy 1. Algorytm sprawdzania nośności ściany pod obciążeniem skupionym przedstawiono na rys. 5.6.



Uproszczona metoda obliczania ścian poddanych obciążeniu skupionemu

Metodę można stosować pod warunkiem, że:

- powierzchnia oddziaływania obciążenia skupionego jest $\leq 1/4$ powierzchni przekroju poprzecznego ściany oraz jest $\leq 2 \cdot t^2$,
- mimośród przyłożenia obciążenia jest $\leq t/4$.

Uproszczona metoda obliczania ścian poddanych obciążeniu skupionemu

Nośność ściany poddanej obciążeniu skupionemu (N_{Rdc}) dla murów wykonanych z elementów grupy 1 wyznacza się z warunku (wzór 4.7 PN-EN 1996-3):

$$N_{Rdc} = f_d \cdot \left(1,2 + 0,4 \frac{a_1}{h_c} \right) \cdot A_b \leq 1,5f_d \cdot A_b$$

gdzie:

a_1 – odległość od krawędzi ściany do najbliższej krawędzi pola oddziaływania obciążenia skupionego,

h_c – wysokość ściany do poziomemu obciążeniu,

A_b – pole oddziaływania obciążenia skupionego.

ściskanie

ściany obciążone głównie pionowo

Nośność ścian murowych obciążonych pionowo

Przy obliczaniu ścian obciążonych głównie pionowo należy uwzględnić:

- obciążenia pionowe bezpośrednio przyłożone do ściany,
- efekty drugiego rzędu,
- mimośrodowość oddziaływań i współpracę ścian ze stropami i ścianami usztywniającymi,
- mimośród przypadkowy e_{init} wyznaczony jako:

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

gdzie h_{ef} jest efektywną wysokością ściany.

Grubość i wysokość efektywna ściany

Grubość efektywna ścian:

$$t_{ef} = t$$

Wysokość efektywną określa się z zależności (wzór 5.2 PN-EN 1996-1-1):

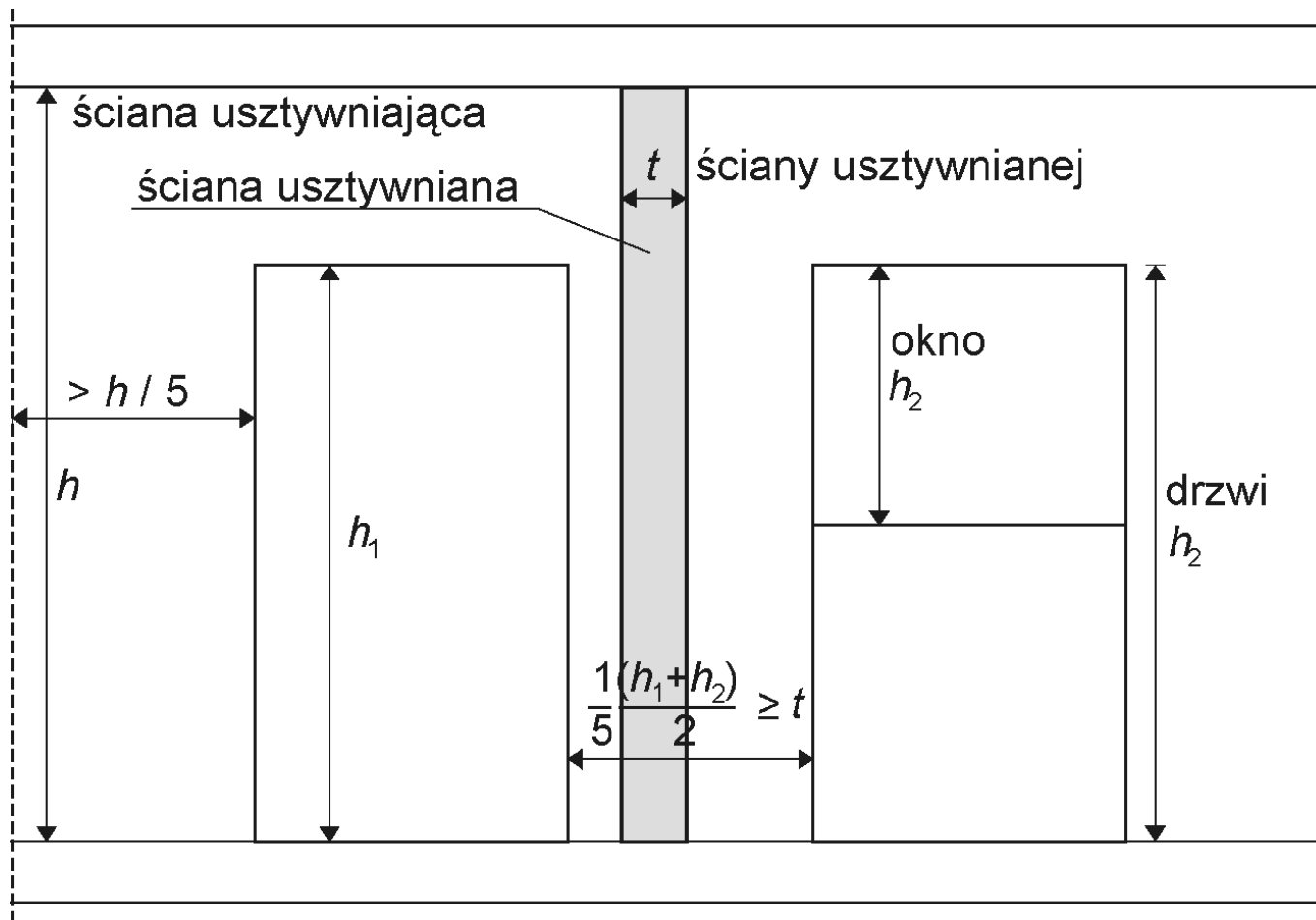
$$h_{ef} = \rho_n \cdot h$$

gdzie: h – wysokość konstrukcji w świetle,

ρ_n – współczynnik redukcji,

gdzie n jest liczbą krawędzi usztywnionych.

Ściana usztywniająca



Smukłość ściany

Jeżeli ściana usztywniona jest pilastrami oraz dla ściany szczelinowej grubość efektywną wyznacza się zgodnie z punktem 5.5.1.3 PN-EN 1996-1-1.

Smukłość ścian obciążonych głównie pionowo powinien spełniać warunek:

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} < 27$$

Współczynnik redukcji ρ_n

Wartość współczynnika ρ_n przyjmuje się dla:

- ścian **usztwnionych przez stropy** lub dachy żelbetowe

$$\rho_n = \rho_2 = 0,75$$

- gdy mimośród obciążenia na górnej krawędzi jest większy niż $0,25 \cdot t$

$$\rho_n = \rho_2 = 1,00$$

- ścian usztwnionych przez stropy lub dachy drewniane

$$\rho_n = \rho_2 = 1,00$$

Współczynnik redukcji ρ_n

Wartość współczynnika ρ_n przyjmuje się dla:

□ ścian **usztynionych na trzech krawędziach**

□ gdy $h \leq 3,5 \cdot l$

$$\rho_n = \rho_3 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot l} \right)^2} \cdot \rho_2$$

□ gdy $h > 3,5 \cdot l$

$$\rho_n = \rho_3 = \frac{1,5 \cdot l}{h} \geq 0,3$$

gdzie l jest długością ściany

Współczynnik redukcji ρ_n

Wartość współczynnika ρ_n przyjmuje się dla:

□ ścian **usztywnionych na czterech krawędziach**

□ gdy $h \leq 1,15 \cdot l$

$$\rho_n = \rho_4 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho_2 \cdot h}{l} \right)^2} \cdot \rho_2$$

□ gdy $h > 1,15 \cdot l$

$$\rho_n = \rho_4 = \frac{0,5 \cdot l}{h}$$

Sprawdzenie nośności

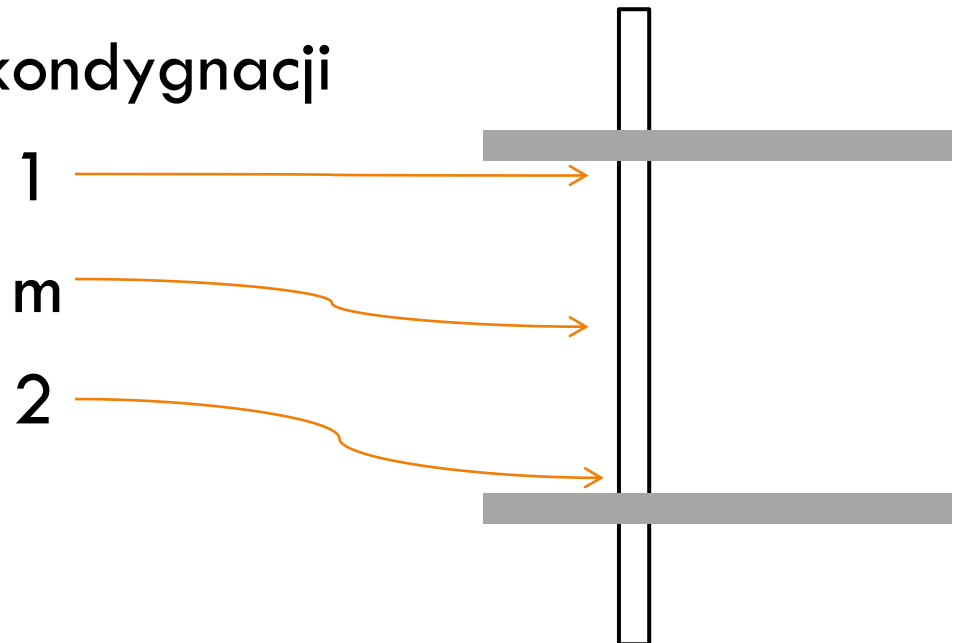
W stanie granicznym nośności sprawdza się, czy obliczeniowe siły pionowe (N_{Ed}) nie przekraczają obliczeniowej nośności ściany (N_{Rd}) według wzoru (wzór 6.1 PN-EN 1996-1-1):

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

Sprawdzenie nośności

Kontrolę wykonuje się w trzech najbardziej niekorzystnych przekrojach:

- pod stropem wyższej kondygnacji
- w środkowej części ściany
- nad stropem niższej kondygnacji



Sprawdzenie nośności

Nośność obliczeniową wyznacza się z zależności (wzór 6.2 PN-EN 1996-1-1):

$$N_{Rd} = \phi \cdot t \cdot f_d$$

gdzie: ϕ – współczynnik redukcyjny nośności (ϕ_1, ϕ_m, ϕ_2) uwzględniający smukłość ściany i mimośród obciążenia,
 t – grubość ściany, (**A – w przypadku liczenia filarka**)
 f_d – wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie (wzór 5.1).

Sprawdzenie nośności

Gdy pole przekroju muru jest mniejsze niż $0,10 \text{ m}^2$ należy zredukować wartość f_d mnożąc przez współczynnik:

$$(0,7 + 0,3 \cdot A)$$

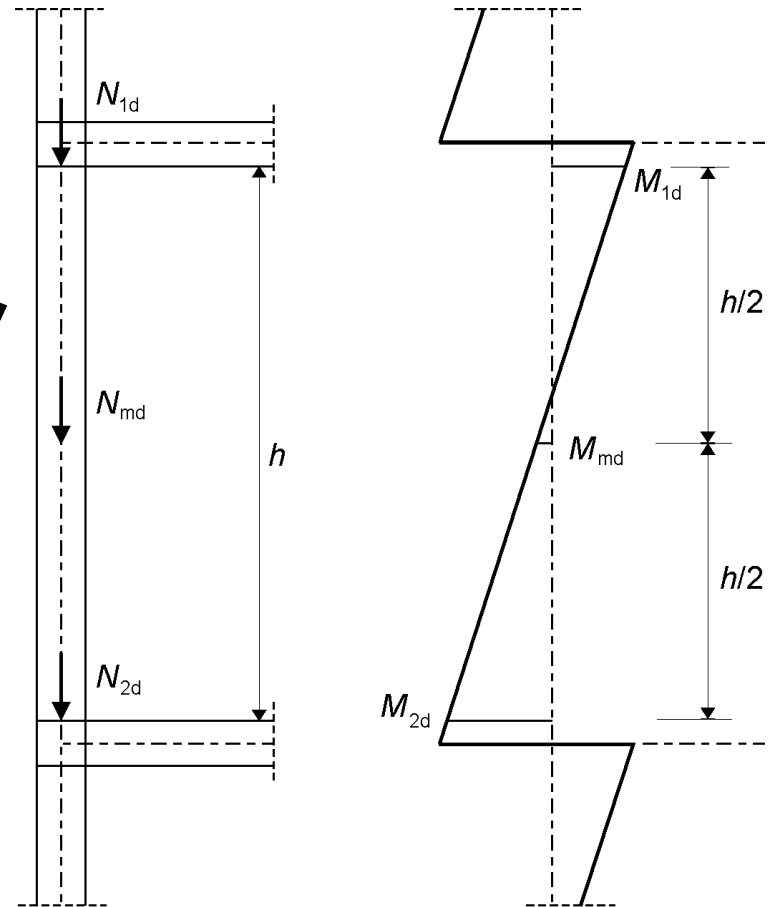
gdzie A jest polem przekroju muru.

Sprawdzenie nośności – przekroje 1 i 2

Wartość współczynników ϕ_1 i ϕ_2 wyznacza się z zależności (wzór 6.4 PN-EN 1996-1-1):

$$\phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$$

gdzie: i – oznaczenie przekroju: 1,2,
 e_i – mimośród na górze
i dole ściany.



Sprawdzenie nośności – przekroje 1 i 2

Mimośrodki w przekrojach 1 i 2 wyznacza się ze wzoru (6.5 PN-EN 1996-1-1):

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05 \cdot t$$

gdzie: M_{id} – moment zginający od obciążeń obliczeniowych, jako wynik mimośrodowego działania na podporę reakcji ze stropu (rys. 5.2),

N_{id} – siła pionowa wywołana działaniem obciążeń obliczeniowych,

e_{he} – mimośród będący wynikiem działania sił poziomych,

e_{init} – mimośród początkowy (wzór 5.14).

Sprawdzenie nośności – przekrój m

Mimośród w połowie wysokości ściany wyznacza się z zależności (wzory 6.6 i 6.7 PN-EN 1996-1-1):

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

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

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

gdzie: e_m – mimośród działania obciążenia,

e_k – mimośród wywołany przez pełzanie,

dla ścian o smukłości $\leq l_c = 15$ wartość $e_k = 0$,

M_{md} – moment zginający w środkowej strefie ściany wywołany działaniem momentów na górze i dole ściany,

N_{md} – siła pionowa od obciążeń obliczeniowych w połowie wysokości ściany,

e_{hm} – mimośród w połowie wysokości ściany wywołany obciążeniem poziomym,

ϕ_{∞} – końcowy współczynnik pełzania (pkt. 5.3.4).

Sprawdzenie nośności – przekrój m

Wartość współczynnika ϕ_m wyznacza się, zgodnie z załącznikiem G do normy PN-EN 1996-1-1 (wzory G.1 ÷ G.6 lub rysunki G.1 i G.2 PN-EN 1996-1-1), według wzorów:

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

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

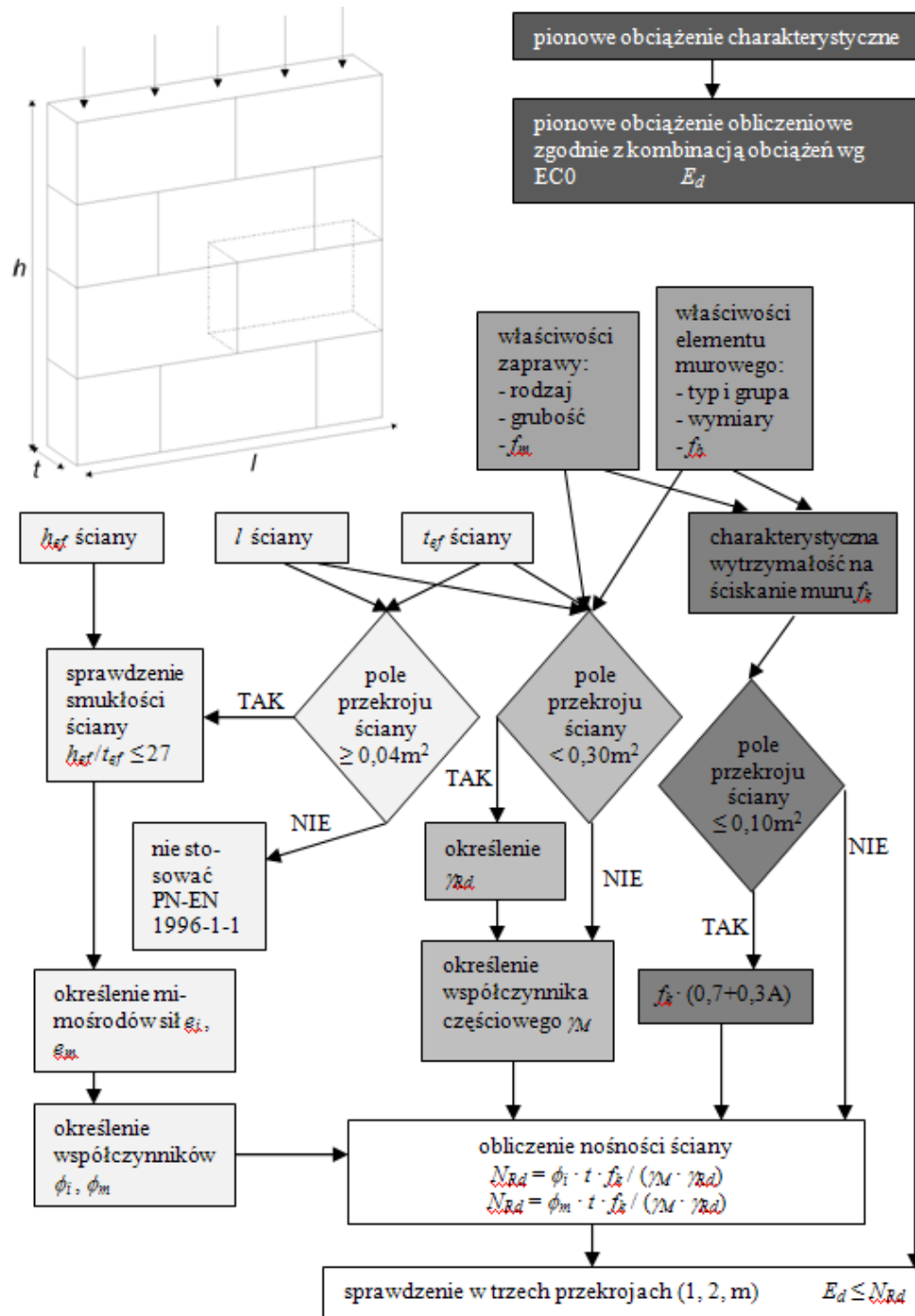
a) dla $E = 700 \cdot f_k$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 1,67}{19,3 - 31 \cdot \frac{e_{mk}}{t}}$$

b) dla $E = 1000 \cdot f_k$

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

Wartości ϕ_m można alternatywnie odczytać z wykresów zamieszczonych w załączniku G.

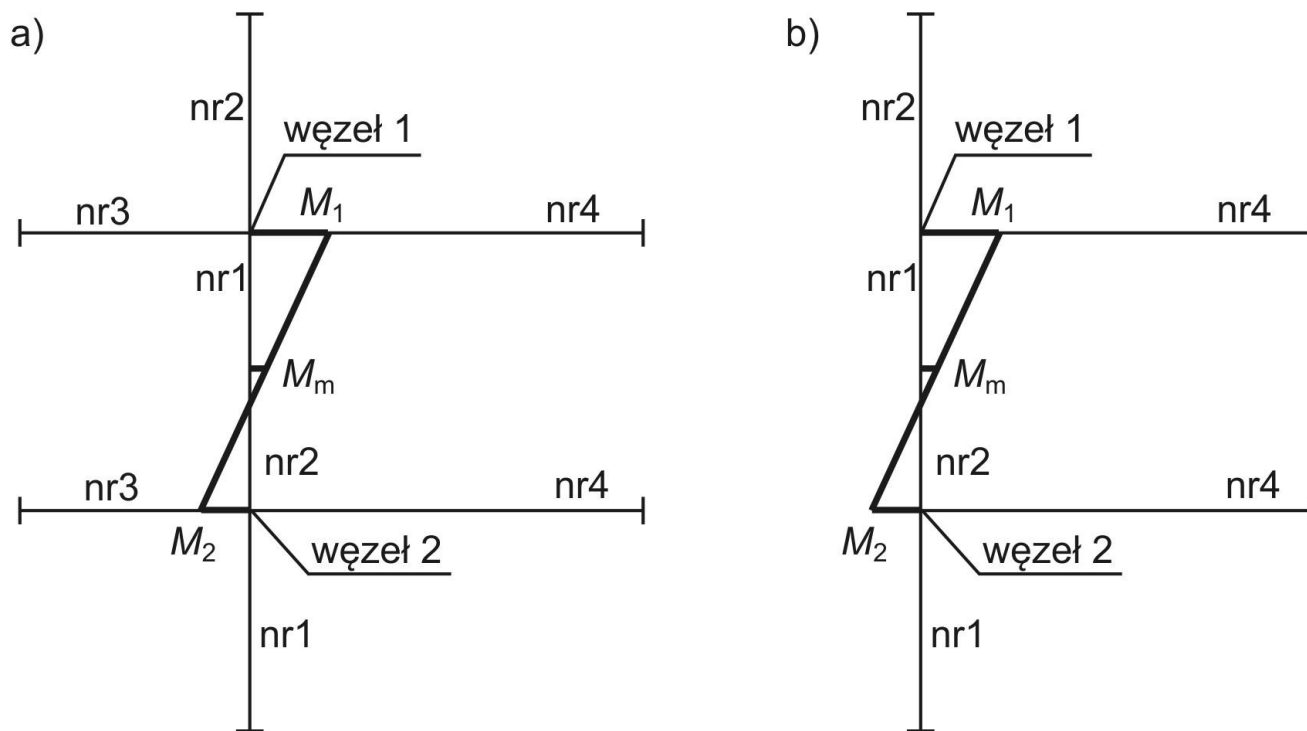


ściskanie

model ciągły

Uproszczona metoda wyznaczania mimośrodów działania obciążenia pionowego ściany

Zakłada się, że w połączeniu ściany ze stropem przekrój nie jest zarysowany, a materiał ściany zachowuje się sprężyste. Wzory podano dla przypadku, gdy w węźle stykają się cztery pręty, gdy elementów jest mniej, nieistniejące pomija się we wzorze. Przeciwległe końce prętów uznaje się za zamocowane, chyba, że wiadomo, że nie przenoszą momentów. Wówczas można je przyjąć za przegubowe.



Uproszczona metoda wyznaczania mimośrodowego działania obciążenia pionowego ściany

Momenty w węzłach wyznacza się ze wzorów 5.33 i 5.34 (wzór C.1 PN-EN 1996-1-1):

$$M_1 = \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_3 E_3 I_3}{l_3} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}} \left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

$$M_2 = \frac{\frac{n_2 E_2 I_2}{h_2}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_3 E_3 I_3}{l_3} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}} \left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

- gdzie:
- n_i – współczynnik sztywności prętów dla utwierdzonych na obydwu końcach $n_i = 4$,
w innym przypadku $n_i = 3$,
 - E_i – moduł sprężystości pręta, dla elementów murowych $E = 1000 \cdot f_{kt}$,
 - I_i – moment bezwładności pręta,
 - h_i – wysokość pręta w świetle,
 - l_i – rozpiętość pręta w świetle,
 - w_i – obciążenie obliczeniowe równomiernie rozłożone, przy przyjęciu częściowych współczynników bezpieczeństwa zgodnie z PN-EN 1990.

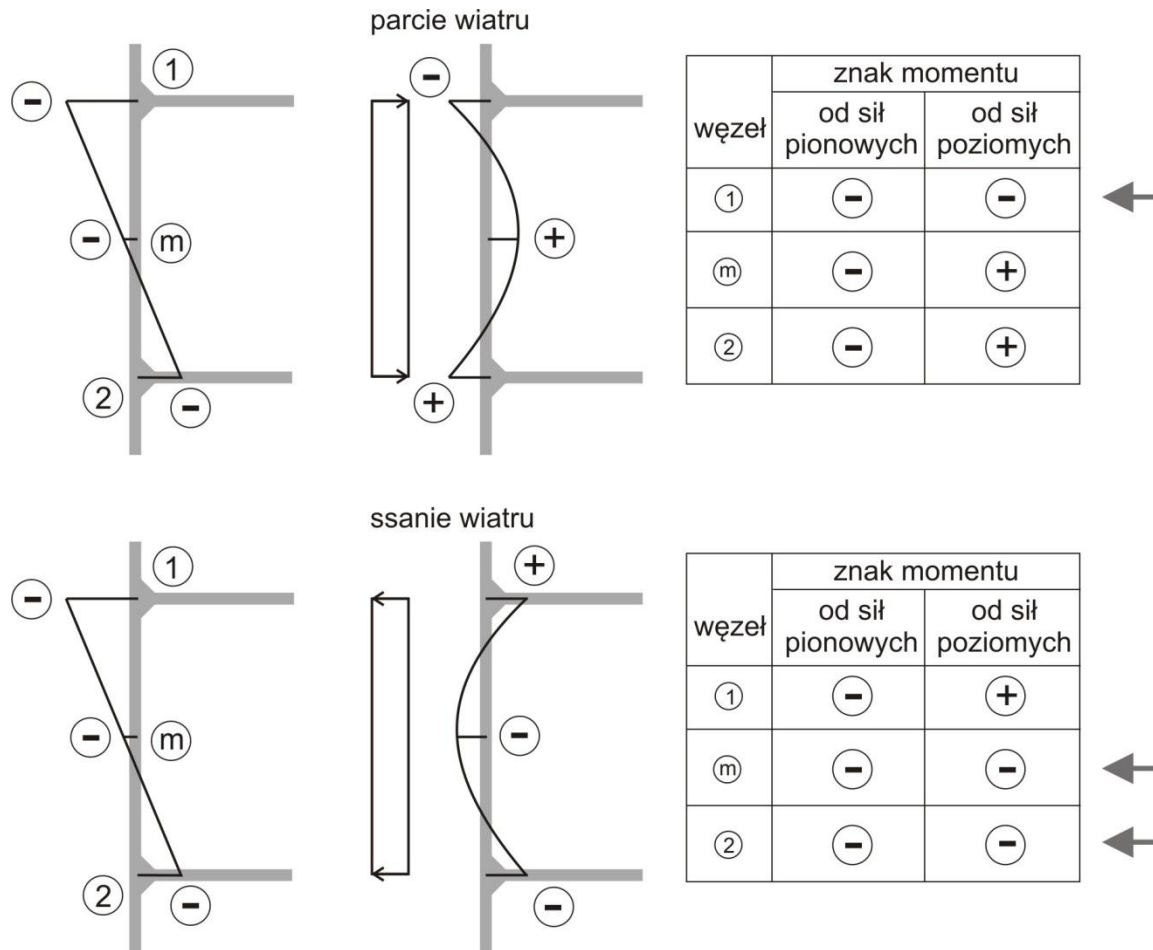
Uproszczona metoda wyznaczania mimośrodowego działania obciążenia pionowego ściany

Dopuszcza się redukcję obliczonego momentu węzłowego przez przemnożenie przez współczynnik η , który może być wyznaczany doświadczalnie lub przyjmowany w uproszczeniu obliczony ze wzoru:

$$\eta = \frac{1 - k_m}{4}$$

$$k_m = \frac{n_3 \frac{E_3 I_3}{l_3} + n_4 \frac{E_4 I_4}{l_4}}{n_1 \frac{E_1 I_1}{h_1} + n_2 \frac{E_2 I_2}{h_2}} \leq 2$$

Moment od obciążenia wiatrem



ściskanie

model „przegubowy”

Wyznaczanie momentu – duży mimośród

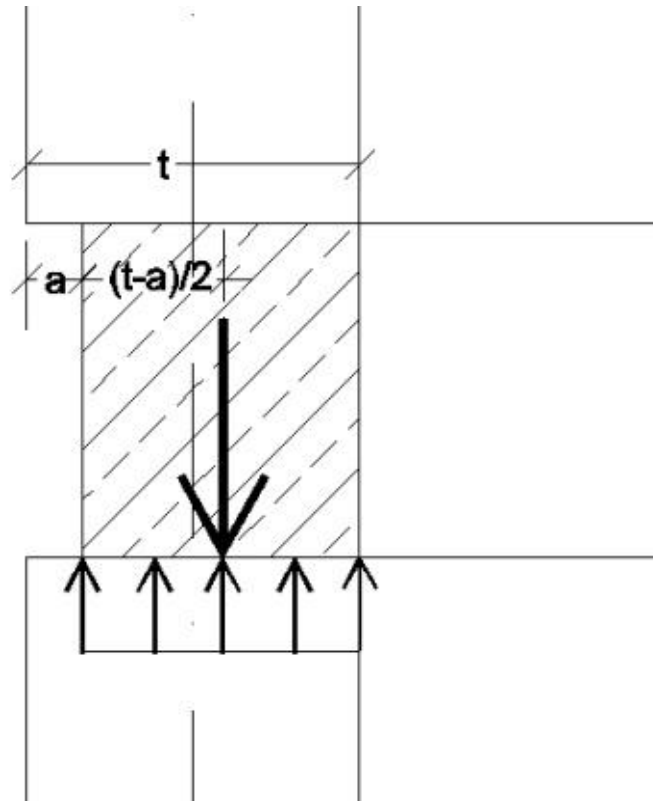
- Jeśli wartość mimośrodu od momentów M_1 lub M_2 jest większa niż $0,45 \cdot t$ siła działa na dużym mimośrodku. Niewłaściwe wówczas jest założenie, że węzeł jest sztywny i dopuszcza się powstanie rysy na styku ściany i stropu.
- Zgodnie z poprzednią normą murową (PN-B-03002) w takim przypadku stosowało się model przegubowy. W EC6 schemat ten jest opisany w załączniku C pkt. (4) i dalsze.

Wyznaczanie momentu – duży mimośród

- Zakłada się, że ze względu na rysę na styku obciążenie przekazywane jest przez połowę szerokości wieńca (Rys. 4.4 b i c) i z tych schematów wyznacza się wartości mimośródów sił.
- W obliczeniach pomija się wpływ mimośródów niezamierzonych.

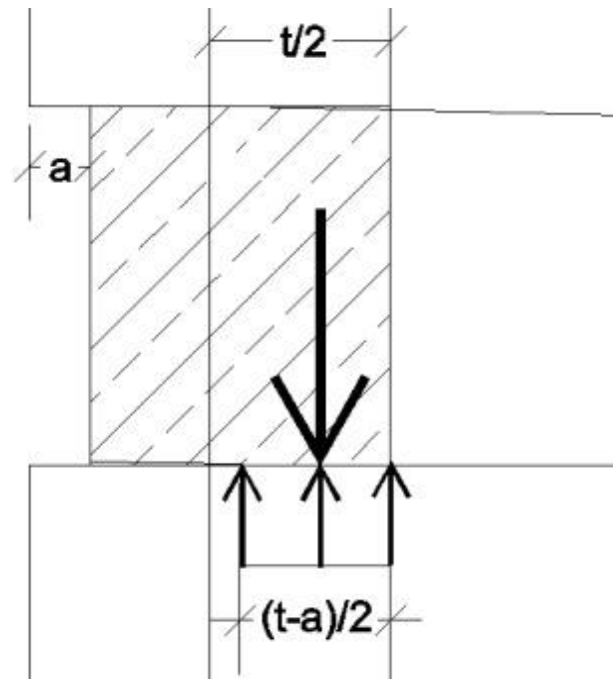
Wyznaczanie momentu – założenia dla dużego mimośrod

- przekrój 1-1: siła N_{Edf} od stropu nad obliczaną ścianą, zakłada się, że jest przekazywana całą szerokością wieńca



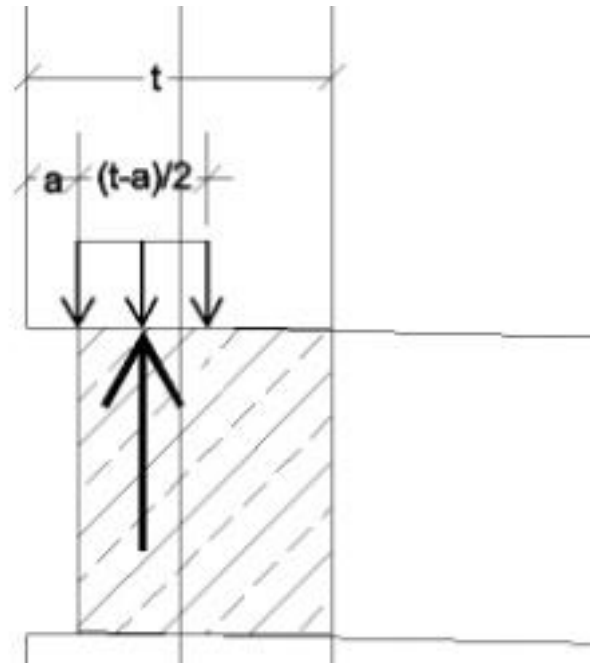
Wyznaczanie momentu – założenia dla dużego mimośrod

- przekrój 1-1: siła z wyższych kondygnacji N_{Ed1} przekazywana jest przez połowę szerokości wieńca; po ugięciu stropu powstaje rysa na styku wieńca i ściany



Wyznaczanie momentu – założenia dla dużego mimośrod

- przekrój 2-2: siła jako reakcja na dole ściany N_{Edu2} działa w drugiej połowie szerokości wieńca; po ugięciu stropu powstaje rysa na styku wieńca i ściany



Wyznaczanie momentu – duży mimośród

- Moment nad stropem (M_{Edu}) i pod stropem (M_{Edf}) można wyznaczyć z poniższych wzorów, pod warunkiem, że uzyskane wartości będą mniejsze niż obliczone wg modelu ciągłego:

$$M_1 = N_{Edf} \frac{a}{2} + N_{Edu1} \frac{t+a}{4}$$

$$M_2 = N_{Edu2} \frac{t-3a}{4}$$

gdzie:

N_{Edu} – obciążenie obliczeniowe w ścianie wyższej kondygnacji,

N_{Edf} – obciążenie obliczeniowe od stropu,

a – odległość od lica ściany do krawędzi stropu

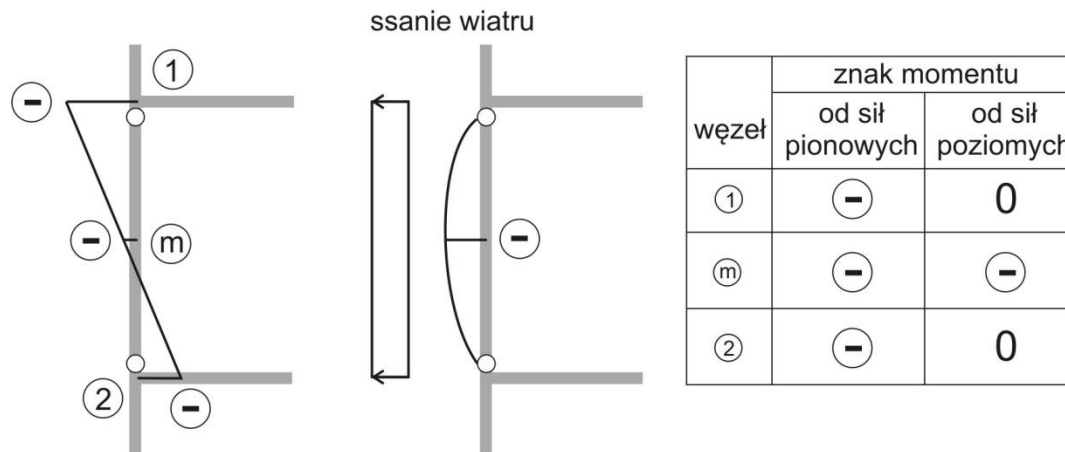
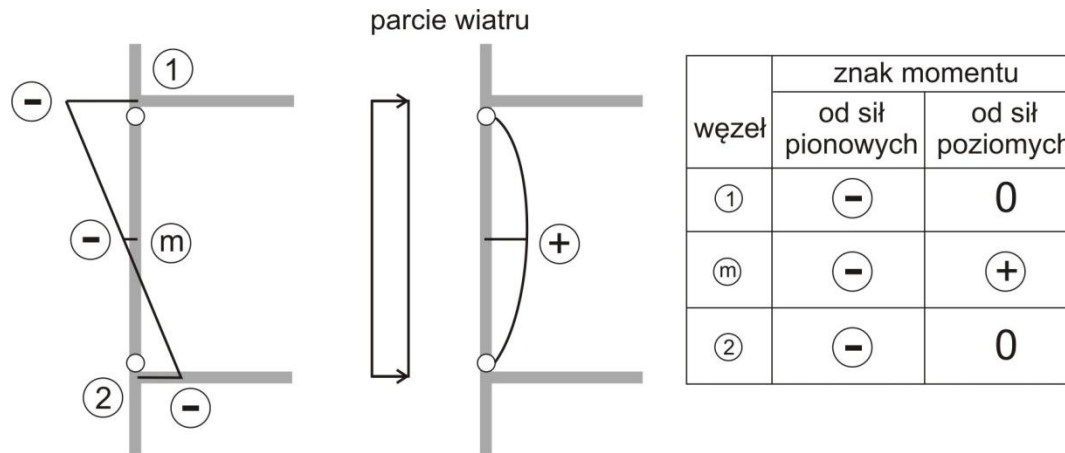
Wyznaczanie momentu – duży mimośród

- Moment w środku wysokości ściany:

$$M_{md} = \frac{M_{1d} - M_{2d}}{2}$$

- W obliczeniach ścian zewnętrznych należy uwzględnić, poza obciążeniami pionowymi, również obciążenia poziome od wiatru. Ze względu na mimośrodowość działania sił i momenty zginające w węzłach należy rozważyć, który kierunek działania wiatru będzie bardziej niekorzystny.

Moment od obciążenia wiatrem



ściskanie

metody uproszczone

PN-EN 1996-3

Warunki stosowania:

- wysokość budynku **nie przekracza 3 kondygnacji nadziemnych**,
- ściany są usztywnione w kierunku poziomym za pomocą stropów i dachu lub wieńców o odpowiedniej sztywności,
- stropy i dach opierają się na ścianie na szerokości $\geq 2/3$ grubości ściany i ≥ 85 mm,
- wysokość kondygnacji w świetle jest $\leq 3,0$ m,
- **minimalny wymiar ściany w rzucie (czyli szerokość filarka) wynosi $\geq 1/3$ wysokości ściany**,
- obciążenie charakterystyczne zmienne na stropie i dachu jest $\leq 5,0$ kN/m²,
- maksymalna rozpiętość stropu w świetle jest $\leq 6,0$ m,
- maksymalna rozpiętość dachu w świetle jest $\leq 6,0$ m lub $\leq 12,0$ m w przypadku lekkich konstrukcji dachowych,
- współczynnik smukłości $h_{ef}/t_{ef} \leq 21$.

1

Nośność obliczeniową ściany na działanie obciążenia pionowego (N_{Rd}) oblicza się ze wzoru (wzór A.1 PN-EN 1996-3):

$$N_{Rd} = c_A \cdot f_d \cdot A$$

gdzie:

c_A – współczynnik:

$$c_A = 0,50 \quad \text{dla } h_{ef}/t_{ef} \leq 18$$

$$c_A = 0,36 \quad \text{dla } 18 < h_{ef}/t_{ef} \leq 21$$

A – przekrój poprzeczny ściany, z pominięciem wszystkich otworów.

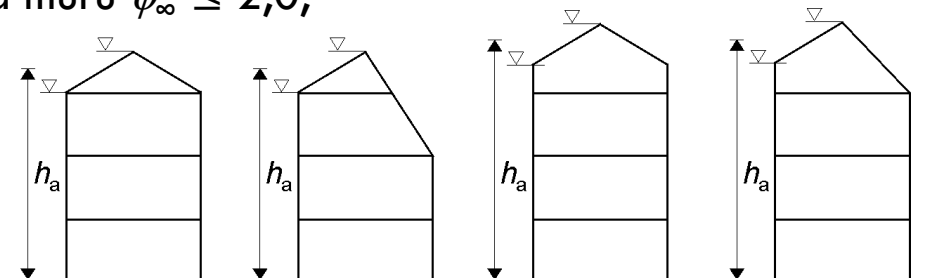
2

Uproszczona metoda obliczania ścian poddanych obciążeniu pionowemu oraz obciążeniu wiatrem

Warunki stosowania:

Metodę uproszczoną można stosować, gdy są spełnione następujące warunki:

- wysokość budynku $h_a \leq h_m$, h_a określana jak pokazano na rysunku,
- **rozpiętość stropów $\leq 7,0$ m,**
- **rozpiętość dachów $\leq 7,0$ m lub $\leq 14,0$ m** w przypadku lekkich dachów kratownicowych,
- wysokość kondygnacji w świetle $\leq 3,2$ m, w przypadku budynków o całkowitej wysokości $\leq 7,0$ m wysokość kondygnacji może wynosić 4,0 m,
- obciążenie zmienne charakterystyczne stropu $\leq 5,0$ kN/m²,
- ściany są usztywnione w kierunku poziomym przez stropy i konstrukcje dachu lub wieńce o odpowiedniej sztywności (zgodnie z pkt. 8.5.1.1. PN-EN 1996-1-1),
- **ściany na poszczególnych kondygnacjach znajdują się w jednej płaszczyźnie,**
- stropy i dach są oparte na ścianach za pośrednictwem wieńców o szerokości $\geq 0,4t$ i minimum 75 mm,
- końcowa wartość współczynnika pełzania muru $\phi_\infty \leq 2,0$,



2 Uproszczona metoda obliczania ścian poddanych obciążeniu pionowemu oraz obciążeniu wiatrem

Grubość ściany i wytrzymałość muru należy sprawdzać na każdej kondygnacji, chyba że są takie same na wszystkich kondygnacjach.

Dodatkowy warunek postawiono ścianom stanowiącym skrajną podporę stropu, którego rozpiętość l_f nie powinna przekraczać:

$$7,0 \text{ m} \quad \text{przy} \quad N_{Ed} \leq k_G \cdot t \cdot b \cdot f_d$$

lub

$$4,5 + 10 \cdot t \quad \text{i} \quad 7,0 \text{ m} \quad \text{gdy} \quad f_d > 2,5 \text{ N/mm}^2$$

lub

$$4,5 + 10 \cdot t \quad \text{i} \quad 6,0 \text{ m} \quad \text{gdy} \quad f_d \leq 2,5 \text{ N/mm}^2$$

gdzie:

N_{Ed} – pionowe obciążenie obliczeniowe na rozpatrywanym poziomie,

b – szerokość, na której przyłożone jest obciążenie,

k_G – współczynnik zależny od grupy elementów murowych: dla grupy 1 wynosi 0,2, dla grup 2, 3 i 4 wynosi 0,1.

2 Uproszczona metoda obliczania ścian poddanych obciążeniu pionowemu oraz obciążeniu wiatrem

Warunek dla ścian stanowiących skrajną podporę stropu, które są jednocześnie obciążone wiatrem:

$$t \geq \frac{c_1 \cdot q_{Ewd} \cdot b \cdot h^2}{N_{Wd}} + c_2 \cdot h$$

gdzie:

h – wysokość kondygnacji w świetle,

q_{Ewd} – obciążenie obliczeniowe wiatrem na jednostkę powierzchni ściany,

N_{Ed} – pionowe obciążenie obliczeniowe wywierające najbardziej niekorzystny wpływ na górnej krawędzi ściany rozpatrywanej kondygnacji,

b – szerokość, na której przyłożone jest obciążenie,

t – rzeczywista grubość ściany,

c_1, c_2 – stałe z tablicy 5.4 (Tabl. 4.1 PN-EN 1996-3).

α – współczynnik

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{t \cdot b \cdot f_d}$$

2 Uproszczona metoda obliczania ścian poddanych obciążeniu pionowemu oraz obciążeniu wiatrem

Nośność ściany (N_{Rd}) ze względu na obciążenia pionowe (N_{Ed}) wyznacza się z warunku (wzór 4.3 PN-EN 1996-3):

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

$$N_{Rd} = \Phi_s \cdot f_d \cdot A$$

gdzie Φ_s jest współczynnikiem redukcyjnym nośności uwzględniającym smukłość elementu i mimośród obciążenia. Wyznacza się go z różnych wzorów dla ścian wewnętrznych i zewnętrznych (wzory 4.5a, 4.5b i 4.5c PN-EN 1996-3):

a) dla ścian wewnętrznych:
$$\Phi_s = 0,85 - 0,0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t_{ef}} \right)^2$$

b) dla ścian zewnętrznych stanowiących podparcie stropów:
$$\Phi_s = 1,3 - \frac{l_{f,ef}}{8} \leq 0,85$$

c) dla ścian najwyższej kondygnacji stanowiących podparcie stropów lub dachu przyjmuje się wartość mniejszą z wyznaczonych z powyższych wzorów oraz:

$$\Phi_s = 0,4$$

nie większa niż $2 \cdot l_f$.

2 Uproszczona metoda obliczania ścian poddanych obciążeniu pionowemu oraz obciążeniu wiatrem

gdzie:

h_{ef} – wysokość efektywna ściany,

t_{ef} – grubość efektywna ściany,

$l_{f,ef}$ – rozpiętość efektywna stropu wyznaczana jako:

$l_{f,ef} = l_f$ dla stropu swobodnie podpartego,

$l_{f,ef} = 0,7 \cdot l_f$ dla stropu ciągłego i swobodnie podpartego rozpiętego w dwóch kierunkach, gdzie długość podparcia rozpatrywanej ściany jest nie większa niż $2 \cdot l_f$,

$l_{f,ef} = 0,5 \cdot l_f$ dla stropu ciągłego rozpiętego w dwóch kierunkach, gdzie długość podparcia rozpatrywanej ściany jest

ściany obciążone parciem gruntu

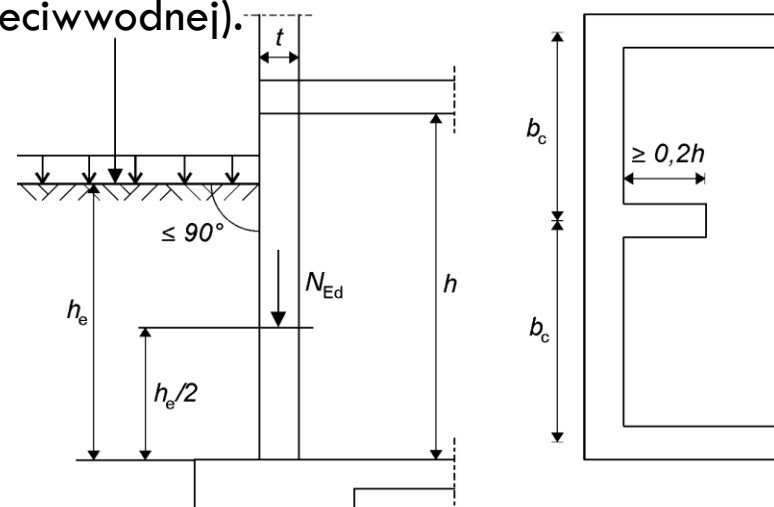
metoda uproszczona

PN-EN 1996-3

Sprawdzenie warunków dla ścian piwnic

Warunki stosowania:

- wysokość ściany w świetle $h \leq 2,6$ m,
- grubość ściany $t \geq 200$ mm,
- strop nad piwnicą jest w stanie przenieść siły będące efektem parcia gruntu,
- obciążenie charakterystyczne naziomu na obszarze wpływu parcia gruntu na ścianę nie przekracza 5 kN/m^2 ,
- obciążenie skupione przyłożone w odległości $\leq 1,5$ m od ściany jest $\leq 15 \text{ kN}$,
- poziom gruntu i głębokość zasypania nie przekraczają wysokości ściany,
- na ścianę nie działa parcie hydrostatyczne,
- nie występuje płaszczyna poślizgu (np. na izolacji przeciwwodnej).



Sprawdzenie warunków dla ścian piwnic

Nośność ściany należy sprawdzać z warunków (wz. 4.11 i 4.12 PN-EN1996-3):

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

$$N_{Ed,min} \geq \frac{\rho_e \cdot b \cdot h \cdot h_e^2}{\beta \cdot t}$$

gdzie:

$N_{Ed,max}$ – pionowe obciążenie obliczeniowe ściany w połowie wysokości zasypania ściany, wywołujące najbardziej niekorzystny wpływ,

$N_{Ed,min}$ – pionowe obciążenie obliczeniowe ściany w połowie wysokości zasypania ściany, wywołujące najmniej niekorzystny wpływ

b – szerokość ściany,

b_c – odległość ścian poprzecznych,

h – wysokość ściany w świetle,

h_e – wysokość ściany pod powierzchnią gruntu,

t – grubość ściany,

ρ_e – gęstość objętościowa gruntu,

f_d – wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie,

β – współczynnik:

$\beta = 20$ gdy $b_c \geq 2h$

$\beta = 60 - 20 \cdot b_c / h$ gdy $h < b_c \leq 2h$

$\beta = 40$ gdy $b_c \leq h$

Stan graniczny użytkowości

Stan graniczny użyteczności

- Należy sprawdzać ugięcia, które mogą wywierać niekorzystny wpływ na elementy konstrukcyjne i wykończeniowe lub pogarszać szczelność przegrody. Należy zwracać uwagę na inne elementy, które mogą wpłynąć niekorzystnie na konstrukcje murową, np. ugięcie stropów.
- Konstrukcje murowe niezbrojone, które zostały sprawdzone pod kątem nieprzekroczenia stanu granicznego nośności nie wymagają obliczeniowego sprawdzenia stanu granicznego użyteczności.

Wymagania konstrukcyjne

Wymagania dotyczące muru:

Minimalna **grubość ścian** konstrukcyjnych muru o wytrzymałości:

- $f_k \geq 5 \text{ MPa}$ powinna wynosić $\geq 100 \text{ mm}$,
- $f_k < 5 \text{ MPa}$ powinna wynosić $\geq 150 \text{ mm}$.

Minimalna grubość ścian usztywniających powinna wynosić 180 mm.

Wymagania konstrukcyjne

Minimalny **przekrój poprzeczny** ścian nośnych powinien być większy niż $0,04 \text{ m}^2$, po uwzględnieniu wszystkich otworów, bruzd i wnęk.

- Elementy murowe o wysokości $\leq 250 \text{ mm}$ powinny zachodzić na siebie na długości co najmniej $0,4$ wysokości elementu murowego lub 40 mm .
- Dla elementów wyższych niż 250 mm zakład powinien być większy od $0,2$ wysokości elementu lub 100 mm .

Wymagania konstrukcyjne

Ograniczenia wymiarowe spoin wspornych i pionowych:

- z zapraw zwykłych i lekkich: $\geq 6 \text{ mm}$, $\leq 15 \text{ mm}$,
- z zapraw do cienkich spoin: $\geq 0,5 \text{ mm}$, $\leq 3 \text{ mm}$.

W ścianach szczelinowych liczba kotew łączących warstwy muru powinna wynikać z obliczeń, jednak nie mniej niż 4 sztuki na m^2 .

Wymagania konstrukcyjne

- Bruzdy i wnęki w ścianie nie powinny pogarszać stateczności ściany, nie mogą przebiegać przez nadproża lub inne elementy konstrukcyjne.
- Wpływ obecności bruzd i wnęk na nośność ściany może być pominięta, jeżeli ich wymiary nie przekraczają wartości maksymalnych podanych w tablicach w punktach 8.6.2 i 8.6.3 PN-EN 1996-1-1.

Wymagania konstrukcyjne

Wymiary bruzd pionowych i wnęk pomijalnych w obliczeniach

Grubość ściany mm	Bruzdy i wnęki wykonywane w gotowym murze		Bruzdy i wnęki wykonywane w trakcie wznoszenia muru	
	maksymalna głębokość mm	maksymalna szerokość mm	minimalna wymagana grubość ściany mm	maksymalna szerokość mm
85 – 115	30	100	70	300
116 – 175	30	125	90	300
176 – 225	30	150	140	300
226 – 300	30	200	215	300
> 300	30	200	215	300

UWAGA 1 Maksymalna głębokość wnęki lub bruzdy powinna uwzględniać głębokość każdego otworu powstałego w trakcie wykonywania bruzdy lub wnęki.

UWAGA 2 Pionowe bruzdy, które nie sięgają dalej niż na 1/3 wysokości ściany ponad stropem, mogą mieć głębokość do 80 mm i szerokość do 120 mm, jeżeli grubość ściany wynosi nie mniej niż 225 mm.

UWAGA 3 Odległość w kierunku poziomym między sąsiednimi bruzdami lub od bruzdy do wnęki bądź otworu nie powinna być mniejsza niż 225 mm.

UWAGA 4 Odległość w kierunku poziomym między sąsiednimi wnękami, niezależnie od tego czy występują po jednej, czy po obu stronach ściany, lub od wnęki do otworu, nie powinna być mniejsza niż dwukrotna szerokość szerszej z dwóch wnęk.

UWAGA 5 Łączna szerokość pionowych bruzd i wnęk nie powinna przekraczać 0,13 długości ściany.

Wymagania konstrukcyjne

Wymiary bruzd poziomych i ukośnych pomijalnych w obliczeniach

Grubość ściany	Maksymalna głębokość mm	
	Długość bez ograniczeń	Długość ≤ 1250 mm
85 – 115	0	0
116 – 175	0	15
176 – 225	10	20
226 – 300	15	25
> 300	20	30

UWAGA 1 Maksymalna głębokość bruzdy powinna uwzględniać głębokość każdego otworu wykonanego w trakcie wykonywania bruzdy.

UWAGA 2 Odległość pozioma między końcem bruzdy a otworem powinna być nie mniejsza niż 500 mm.

UWAGA 3 Odległość pozioma między przyległymi bruzdami o ograniczonej długości, niezależnie od tego, czy występują po jednej, czy po obu stronach ściany, powinna być nie mniejsza niż dwukrotna długość bruzdy dłuższej.

UWAGA 4 W ścianach o grubości większej niż 150 mm z bruzdami wycinanymi maszynowo dopuszczalną głębokość bruzdy można zwiększyć o 10 mm. W ścianach o grubości większej niż 225 mm bruzdy wycinane maszynowo o głębokości do 10 mm można wykonywać z obu stron ściany.

UWAGA 5 Szerokość bruzdy nie powinna przekraczać połowy grubości ściany w miejscu bruzdy.

Wymagania konstrukcyjne

Dylatacje:

W celu uniknięcia uszkodzeń muru spowodowanych odkształceniami termicznymi, wilgotnościowymi, skurczem i pęczaniem należy wykonywać w murze dylatacje pionowe i poziome. Szczelina dylatacyjna powinna przechodzić przez całą grubość ściany. W celu zapewnienia poślizgu stosuje się płytki poślizgowe. Należy zabezpieczyć zdylatowaną ścianę zewnętrzną przed wnikaniem wody. Zalecane odległości między dylatacjami podano w tabelicy NA.1 PN-EN 1996-2. Odległość pierwszej dylatacji pionowej od usztywnionej krawędzi pionowej ściany nie powinna przekraczać połowy wartości l_m .

Rodzaj muru	Odległości l_m			
	ściany szczelinowe		ściany jednowarstwowe	
	warstwa zewnętrzna	warstwa wewnętrzna	spoiny pionowe wypełnione	spoiny pionowe niewypełnione
Z ceramicznych elementów murowych	12	40	30	25
Z innych elementów murowych	8	30	25	20

Dziękuję za uwagę