

PROJEKTOWANIE BUDYNKÓW Z SILIKATOWYCH ELEMENTÓW MUROWYCH. ŚCIANY KONSTRUKCYJNE.



Maj 2017 r.

Copyright by Grupa SILIKATY

Żadna część tego opracowania nie może być powielana i rozpowszechniana bez pisemnej zgody wydawcy.

Materiał opracował: dr hab. inż. Łukasz Drobiec

Spis treści

1. WPROWADZENIE	7	5. OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE	31
2. MATERIAŁY DO WZNOSZENIA MURÓW	8	5.1. ŚCIANY OBCIĄŻONE GŁÓWNIE PIONOWO	31
2.1. ELEMENTY MUROWE	8	5.2. ŚCIANY OBCIĄŻONE PROSTOPADLE DO POWIERZCHNI	38
2.2. ZAPRAWY MURARSKIE	12	5.3. ŚCIANY ŚCINANE	41
3. ZASADY PROJEKTOWANIA	13	6. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE	42
3.1. ZASADY OGÓLNE	13	6.1. OBLICZANY BUDYNEK	42
3.2. RODZAJE ŚCIAN	16	6.2. WEWNĘTRZNA ŚCIANA PARTERU OBCIĄŻONA GŁÓWNIE PIONOWO	45
3.3. ŚCIANY JEDNOWARSTWOWE	17	6.2.1. PRZYJĘTY SPOSÓB OBLICZEŃ	45
3.4. ŚCIANY SZCZELINOWE	17	6.2.2. REAKCJA Z DACHU NA ŚCIANĘ	45
3.5. ŚCIANY FUNDAMENTOWE I ŚCIANY PIWNIC	17	6.2.3. CIĘŻAR ŚCIAN ZABUDOWANYCH POWYŻEJ ANALIZOWANEJ	46
3.6. SZTYWNOŚĆ PRZESTRZENNA KONSTRUKCJI BUDYNKU	18	ŚCIANY	
3.6.1. WYMAGANIA PODSTAWOWE	18	6.2.4. CIĘŻAR STROPU KONDYGNACJI MIESZKALNEJ	47
3.6.2. WIEŃCE ŻELBETOWE	18	6.2.5. KOMBINACJE ODDZIAŁYWAŃ	48
3.6.3. PRZERWY DYLATACYJNE	19	6.2.6. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI ŚCIANY	49
3.7. OPARCIE STROPÓW NA ŚCIANACH	19	6.3. ZEWNĘTRZNA ŚCIANA PARTERU OBCIĄŻONA GŁÓWNIE PIONOWO	53
3.8. WNĘKI I BRUZDY W ŚCIANACH	20	6.3.1. PRZYJĘTY SPOSÓB OBLICZEŃ	53
4. PARAMETRY MECHANICZNE MURU	22	6.3.2. REAKCJA Z DACHU NA ŚCIANĘ	53
4.1. ZASADY OGÓLNE	22	6.3.3. CIĘŻAR ŚCIAN ZABUDOWANYCH POWYŻEJ ANALIZOWANEJ	
4.2. CHARAKTERYSTYCZNA WYTRZYMAŁOŚĆ MURU NA ŚCISKANIE	22	ŚCIANY	56
4.3. CHARAKTERYSTYCZNA WYTRZYMAŁOŚĆ MURU NA ZGINANIE	24	6.3.4. CIĘŻAR STROPU KONDYGNACJI MIESZKALNEJ	57
4.4. CHARAKTERYSTYCZNA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE	24	6.3.5. KOMBINACJE ODDZIAŁYWAŃ	57
4.5. WYTRZYMAŁOŚCI OBLICZENIOWE	26	6.3.6. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI ŚCIANY	58
4.6. ODKSZTAŁCALNOŚĆ MURU	27	6.4. ŚCIANA PIWNIC	64
4.7. IZOLACYJNOŚĆ TERMICZNA	28	6.4.1. PRZYJĘTY SPOSÓB OBLICZEŃ	64
4.8. IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA	28	LITERATURA	66
4.9. ODPORNOŚĆ OGNIOWA	30		

1. Wprowadzenie

1. Niniejsze wytyczne są zgodne z zaleceniami Eurokodu 6, w szczególności z PN-EN 1996-1-1 [N1], PN-EN 1996-2 [N2], PN-EN 1996-3 [N3] oraz z normami z nimi związanymi. Wytyczne dotyczą zasad projektowania ścian nośnych z elementów silikatowych produkowanych przez zakłady Grupy SILIKATY. Zasady projektowania ścian, wykonywania ścian działowych i wypełniających zawarte zostały w zeszycie „Projektowanie budynków z silikatowych elementów murowych. Ściany wypełniające.”.

2. W zakładach Grupy SILIKATY produkowane są silikatowe elementy murowe SYSTEMU SILIKATY. W ofercie handlowej znajdują się cegły i bloczki do wznoszenia ścian konstrukcyjnych oraz elementy uzupełniające połówkowe i wyrównawcze. Ściany wykonane z tych wyrobów charakteryzują się dobrymi parametrami wytrzymałościowymi, wysoką izolacyjnością akustyczną i odpornością ogniową. Nie emitują żadnych związków szkodliwych, a pod względem promieniotwórczości naturalnej zaliczane są do materiałów bardzo bezpiecznych. Silikaty są odporne na korozję chemiczną i biologiczną oraz charakteryzują się wysoką pojemnością cieplną.

3. Elementy murowe silikatowe odpowiadają wymaganiom normy PN-EN 771-2:2011. We wszystkich zakładach Grupy SILIKATY stosowana jest Zakładowa Kontrola Produkcji z systemem oceny 2+, co pozwala zaliczać elementy murowe do I kategorii produkcji.

4. Elementy murowe silikatowe produkowane są z dużą dokładnością wymiarów – mogą być stosowane do murowania zarówno na cienkie, jak i na zwykłe spoiny. Możliwe jest również stosowanie spoin pasmowych.

5. Większość elementów murowych ma profilowane powierzchnie czołowe, mogą być więc stosowane do murowania z niewypełnionymi spoinami pionowymi, z wyjątkiem przypadków wskazanych w niniejszym opracowaniu.

6. Większość produkowanych elementów ma drążenia pionowe. Wszystkie ścienne elementy murowe produkowane przez Grupę SILIKATY z uwagi na parametry geometryczne zalicza się do 1 grupy elementów murowych. Wyjątek stanowi jedynie pustak wentylacyjny SILIKAT PW. Do grupy 1S, stosowanej przy projektowaniu z uwagi na warunki pożarowe, zaliczyć można bloczki SILIKAT A12, SILIKAT A, SILIKAT A^{PLUS} oraz cegłę pełną SILIKAT 1NF.

7. Budynki z elementów silikatowych należy tak projektować, aby zgodnie z ustawą Prawo budowlane spełniały wymagania podstawowe dotyczące:

- bezpieczeństwa konstrukcji,
- bezpieczeństwa pożarowego,
- warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska,
- bezpieczeństwa użytkowania,
- ochrony przed hałasem i drganiami,
- oszczędności energii i izolacyjności cieplnej przegród.

2. Materiały do wznoszenia murów

2.1. Elementy murowe

1. Zestawienie ściennych elementów murowych oferty handlowej Grupy SILIKATY zamieszczono w tablicy 1. Większość bloczków produkowanych przez zakłady Grupy SILIKATY ma długość 250 mm i wysokość 220 cm. Grubości produkowanych elementów konstrukcyjnych to 180 mm, 240 mm i 250 mm. Bloczki podstawowe nazwane są literami N lub NP oraz liczbą odpowiadającą grubości elementu w centymetrach. W nazwie elementów o długości 500 mm po liczbie oznaczającej grubość występuje dodatkowo symbol /500. Bloczki fundamentowe oznaczone są literą F, natomiast bloczki o podwyższonej izolacyjności akustycznej literą A.

Tablica 1. Elementy murowe produkowane przez zakłady Grupy SILIKATY

RODZAJ ELEMENTU	Wymiary (dł. x gr. x wys.)	Masa elementu	Klasa gęstości	Znormalizowana wytrzymałość na ściskanie f_b	Współczynnik przewodzenia ciepła	Reakcja na ogień	Nasiąkliwość	Mrozoodporność
	mm	kg		N/mm ²	W/mk		%	cykle
 SILIKAT N6,5	250x65x220	5,5	1,6	15	0,61	A1	<16	50
 SILIKAT N8	250x80x220	6,0 6,6	1,4 1,6	15	0,46 0,61	A1	<16	50
 SILIKAT N12	250x120x220	9,0 10,0	1,4 1,6	15	0,46 0,61	A1	<16	50
 SILIKAT N15	250x150x220	12,0 12,5	1,4 1,6	15	0,46 0,61	A1	<16	50
 SILIKAT N18	250x180x220	13,3 14,0	1,4 1,6	15 20	0,46 0,61	A1	<16	50
 SILIKAT N18/500	500x180x220	26,0	1,6	15	0,61	A1	<16	50

 SILIKAT NP18	250x180x220	15,2 16,0	1,6 1,8	20 25	0,61 0,81	A1	<16	50
 SILIKAT N24	250x240x220	17,1 19,2	1,4 1,6	15 20	0,46 0,61	A1	<16	50
 SILIKAT NP24	250x240x220	21,0 22,4	1,6 1,8	20 25	0,61 0,81	A1	<16	50
 SILIKAT N25	250x250x220	18,2 20,3	1,4 1,6	15 20	0,46 0,61	A1	<16	50
 SILIKAT NP25	250x250x220	21,6 22,3	1,6 1,8	20 25	0,61 0,81	A1	<16	50
 SILIKAT NT25	250x250x220	18,2	1,4	15	0,33	A1	<16	50
 SILIKAT F25	500x250x140	27,0 29,0	1,6 1,8	20 25	0,61 0,81	A1	<16	50
 SILIKAT 1NF	250x120x65	3,4 3,6	1,8 2,0	15 20	0,81 1,05	A1	<16	50
 SILIKAT 3NFD	250x120x220	9,3 9,6	1,4 1,6	15	0,46 0,61	A1	<16	50
 SILIKAT A12	250x120x220	11,5	1,8	20	0,81	A1	<16	50
 SILIKAT A12	250x120x220	11,5	1,8	20	0,81	A1	<16	50
 SILIKAT A	250x180x220	18,6	2,0	20	1,05	A1	<16	50
 SILIKAT A ^{PLUS}	250x180x220	19,7	2,2	25 30	1,37	A1	<16	50

2. Poza elementami ściennymi w ofercie handlowej Grupy SILIKATY znajdują się produkty uzupełniające w postaci elementów wyrównujących SILIKAT NW18, SILIKAT NW24, SILIKAT NW25, elementów połówkowych SILIKAT 1/2NP18, SILIKAT 1/2NP24 i SILIKAT 1/2NP25 oraz kształtek SILIKAT U i pustaka wentylacyjnego SILIKAT PW. Elementy wyrównujące NW pozwalają na projektowanie i wykonanie ścian w module 10 cm oraz ułatwiają wykonanie pierwszej warstwy muru. Elementy połówkowe SILIKAT 1/2 NP ułatwiają wykonanie przewiązania murarskiego w narożniku ścian. Kształtka SILIKAT U pełni rolę szalunku traconego, w którym można wykonać np. belkę podwalinową, wieniec, nadproże itd. Błoczek SILIKAT PW przeznaczony jest do wykonywania pionów wentylacyjnych. Zestawienie elementów uzupełniających z oferty handlowej Grupy SILIKATY zamieszczono w tabelicy 2.

Tablica 2. Uzupełniające elementy murowe produkowane przez zakłady Grupy SILIKATY

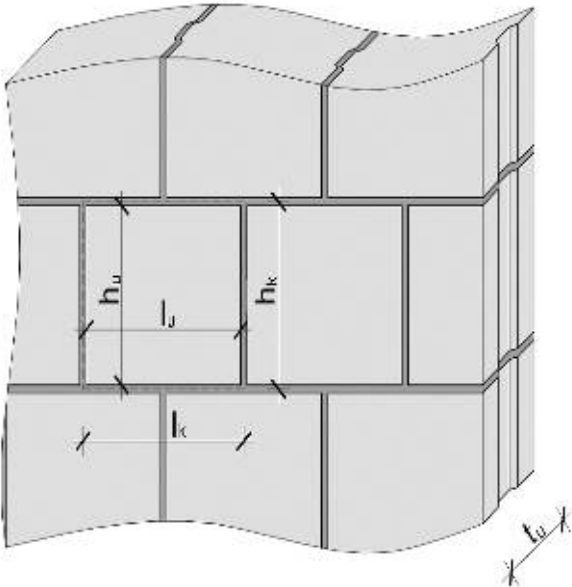
RODZAJ ELEMENTU	Wymiary (dł. x gr. x wys.)	Masa elementu	Klasa gęstości	Znormalizowana wytrzymałość na ściskanie f_b	Współczynnik przewodzenia ciepła	Reakcja na ogień	Nasiąkliwość	Mrozoodporność
	mm	kg		N/mm ²	W/mk		%	cykle
 SILIKAT NW18	250x180x98	8,6	2,0	20	1,05	A1	<16	50
 SILIKAT NW24	250x240x98	9,4 10,5	1,8 2,0	20	0,81 1,05	A1	<16	50
 SILIKAT NW25	250x250x98	9,9	1,8	20	0,81	A1	<16	50
 SILIKAT 1/2NP18	90x180x220	6,3	1,8	20	0,81	A1	<16	50
 SILIKAT 1/2 NP24	115x240x220	10,0 11,4	1,8 2,0	20	0,81 1,05	A1	<16	50
 SILIKAT 1/2 NP25	115x250x220	10,6	1,8	20	0,81	A1	<16	50
 SILIKAT U	220x240x250 220x250x240 220x240/250x220	12	-	-	-	A1	<16	50
 SILIKAT PW	250x240x220	16,1 17,3	1,2 1,4	15	0,36 0,46	A1	<16	50

3. Zakłady Grupy SILIKATY produkują elementy murowe przeznaczone do murowania na spoiny cienkie oraz zwykłe. Błoczki SILIKAT N, SILIKAT NP, SILIKAT F, SILIKAT T i SILIKAT A mogą być stosowane do murowania zarówno na cienkie, jak i na zwykłe spoiny. Błoczki i cegły SILIKAT S, SILIKAT 1NF (cegła silikatowa), SILIKAT 2NFD i SILIKAT 3NFD powinny być zaś stosowane do murowania na zwykłe spoiny.

4. Norma PN-EN 771-2 [N4] rozróżnia następujące wymiary elementów murowych (rys. 1):
- wymiary nominalne, określone w celu wytworzenia elementu, którego wymiar rzeczywisty zawiera się w granicach dopuszczalnych odchyłek wymiarów (na rys. 1 – l_n , h_n – odpowiednio nominalna długość, szerokość i wysokość elementu murowego),
 - wymiary koordynacyjne, wynikające z koordynacji wymiarowej, którym odpowiadają wymiary elementu murowego, łącznie z naddatkami na spoiny/złącza z uwzględnieniem odchyłek wymiarów (na rys. 1 – l_k , h_k – odpowiednio koordynacyjna długość, wysokość elementu murowego). Szerokość koordynacyjna t_k występuje tylko w szczególnych przypadkach murów ze spoiną podłużną. Jeżeli nie zaznaczono inaczej, podawane wymiary elementów murowych są ich wymiarami nominalnymi.

Większość produktów ściennych zakładów Grupy SILIKATY spełnia kategorię T2 odchyłek wymiarów elementów murowych według PN-EN 771-2 [N4]. Oznacza to, że odchyłka średniej wysokości elementu wynosi ± 1 mm, a odchyłka długości i szerokości wynosi ± 2 mm (wymiary nominalne). Elementy SILIKAT S, SILIKAT 1NF (cegła silikatowa), SILIKAT 2NFD i SILIKAT 3NFD spełniają kategorię T1 odchyłek wymiarów, co oznacza, że odchyłki wykonania wynoszą ± 2 mm.

5. Ze względu na parametry geometryczne wszystkie elementy podstawowe produkowane w zakładach Grupy SILIKATY zalicza się zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [N1] do grupy 1. Elementy uzupełniające SILIKAT NW18, SILIKAT NW24, SILIKAT NW25, SILIKAT 1/2NP18, SILIKAT 1/2NP24 i SILIKAT 1/2NP25 również należą do grupy 1. Pustak wentylacyjny SILIKAT PW zalicza się do grupy 2. Do grupy 1S, stosowanej przy projektowaniu z uwagi na warunki pożarowe, zaliczają się błoczki SILIKAT A12, SILIKAT A, SILIKAT A^{PLUS} oraz cegła pełna SILIKAT 1NF.



Rysunek 1. Wymiary i powierzchnie elementów murowych
h – wymiary nominalne
k – wymiary koordynacyjne

6. Wszystkie niezbędne do projektowania dane i informacje techniczne dotyczące elementów produkowanych w zakładach Grupy SILIKATY znajdują się w aktualnym katalogu technicznym oraz na stronie www.grupasilikaty.pl.

2.2. Zaprawy murarskie

1. Do wykonywania murów z silikatów stosuje się:

- zaprawy murarskie tradycyjne, przeważnie cementowo-wapienne, a niekiedy cementowe, o grubości od 6 do 15 mm, średnio 10 mm,
- zaprawy murarskie do cienkich spoin o grubości od 0,5 do 3 mm – z reguły 2 mm.

Zaprawy murarskie tradycyjne mogą być produkowane fabrycznie lub wytwarzane według przepisu na budowie. Zaprawy cienkowarstwowe są zazwyczaj produkowane fabrycznie. Wymagania dla zapraw produkowanych fabrycznie określone są w PN-EN 998-2 [N5], natomiast w normie PN-B-10104 [N6] podano wymagania dotyczące zapraw murarskich ogólnego przeznaczenia, wytwarzanych na budowie (przepisanych).

Zaprawy murarskie dzieli się na klasy oznaczone literą M i liczbą odpowiadającą wytrzymałości zaprawy na ściskanie f_m w MPa. Stosuje się następujące klasy zapraw: M0,25, M0,5, M1, M2,5, M5, M10, M15, M20 i Md, gdzie d jest wytrzymałością na ściskanie nie mniejszą niż 25 MPa.

2. Do wykonania muru z silikatów należy stosować zaprawy klasy nie niższej niż M5. Zaleca się, aby wytrzymałość zaprawy na ściskanie nie różniła się w znaczący sposób od wytrzymałości elementów murowych. Ważnym parametrem określającym przydatność zaprawy jest również jej przyczepność, określana jako wytrzymałość spoiny. Grupa SILIKATY zaleca stosowanie zapraw o przyczepności do silikatowych elementów murowych na poziomie 0,5 N/mm², ale nie mniejszej niż 0,4 N/mm².

3. Zaleca się stosowanie zapraw przygotowywanych fabrycznie, których producent deklaruje ich przydatność do murowania z silikatów oraz wymagane parametry. Zaprawy takie zapewniają większą stabilność i jednorodność parametrów technicznych niż zaprawy przygotowywane na miejscu budowy. Grupa SILIKATY w swojej ofercie handlowej ma dwa rodzaje zapraw do cienkich spoin: zaprawę białą (w wersji letniej i zimowej) oraz zaprawę szarą (w wersji letniej).

4. W przypadku stosowania zapraw przepisanych, wytwarzanych na budowie, zaleca się stosowanie zapraw odmian A÷F według PN-B-10104 [N6] oraz załącznika krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1]. Zaprawy wytwarzane na budowie muszą spełniać wymogi normy PN-B-10104 [N6].

3. Zasady projektowania

3.1. Zasady ogólne

1. Ściany konstrukcyjne z silikatowych elementów murowych projektuje się według zasad ogólnych podanych w normach PN-EN 1996-1-1 [N1], PN-EN 1996-2 [N2], PN-EN 1996-3 [N3] oraz w normach związanych z nimi.

2. Ustrój przestrzenny konstrukcji budynku oraz wzajemne powiązania ścian i stropów powinny zapewnić sztywność przestrzenną konstrukcji i odporność na konsekwencje lokalnych uszkodzeń ścian konstrukcyjnych, np. na skutek wybuchu. Ważną rolę w tym względzie spełniają wieńce żelbetowe, łączące ściany w poziomie stropu. W budynkach o ustroju ścianowym sztywność przestrzenną zapewnia się przez usytuowanie w kierunku podłużnym i poprzecznym ścian usztywniających, przejmujących na siebie obciążenie poziome działające na budynek w kierunku równoległym do płaszczyzny ściany. W budynkach ze stropami z betonu stropy stanowią sztywne tarcze, rozkładające obciążenie poziome oddziałujące na budynek na wszystkie ściany usztywniające, co pozwala uważać ustrój przestrzenny budynku za ustrój z węzłami nieprzesuwnymi. Stropy drewniane są mniej sztywne w swojej płaszczyźnie, co trzeba uwzględnić w obliczeniach nośności ścian. W niskich budynkach o ustroju szkieletowym należytą sztywność przestrzenną uzyskać można przez odpowiednio zaprojektowaną konstrukcję ramową lub ściany usztywniające, w tym również ściany wypełniające określone pola ustroju szkieletowego.

3. Fundamenty budynków należy projektować zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie PN-EN 1997-1 [N7]. W przypadku budynków ze ścianami murowanymi z niewypełnionymi spoinami pionowymi zaleca się takie projektowanie fundamentów, aby wywoływały w przybliżeniu równe naciski na grunt pod wszystkimi ścianami. Jeżeli naprężenia na grunt różnią się więcej niż o 10%, należy, niezależnie od warunków gruntowych, dokonać oceny osiadań podłoża i ich wpływu na konstrukcję.

4. Odporność ogniowa jest określana jako zdolność elementów budynku do spełniania w warunkach pożaru określonych funkcji w założonym czasie. Rozróżniane są następujące funkcje: nośność (R), szczelność (E), izolacyjność (I), promieniowanie (W). Miarą odporności ogniowej jest czas podawany w minutach. Wymagane klasy odporności ogniowej dla elementów budynku w zależności od klasy odporności pożarowej budynku (A, B, C, D i E) określa Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami). Tabelaryczna metoda określania odporności ogniowej ścian nośnych (REI) jest zamieszczona w normie PN-EN 1996-1-2 [N8].

5. Konstrukcję murową należy projektować z zapewnieniem trwałości w wymaganym okresie jej użytkowania, biorąc pod uwagę warunki środowiska, w którym konstrukcja będzie się znajdować. Norma PN-EN 1996-2 [N2] podaje klasyfikację warunków mikro ekspozycji muru wykończonego. Warunki środowiskowe są tu podzielone na następujące klasy ekspozycji:

- **MX1: mury w środowisku suchym** (wnętrze budynku mieszkalnego lub biurowego, oraz wewnętrzna warstwa ściany szczelinowej niepodlegająca zawilgoceniu. Otynkowany mur w ścianach zewnętrznych, nienarażonych na średnie lub silne działanie deszczu, zabezpieczony przed zawilgoceniem od sąsiadującego muru lub materiałów).

- **MX2.1: mury narażone na działanie wilgoci, niepodlegające cyklicznemu zamrażaniu/rozmarzaniu ani działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów lub agresywnych chemikaliów** (mury wewnętrzne narażone na działanie wysokiego ciśnienia pary wodnej, jak na przykład w pralniach; mury w ścianach zewnętrznych chronione przez gzymsy lub okapy, niepodlegające silnemu działaniu deszczu ani mrozu; mury pod strefą przemarzania w dobrze odwodnionym nieagresywnym gruncie).
- **MX2.2: mury narażone na silne nawilżanie, niepodlegające cyklicznemu zamrażaniu/rozmarzaniu ani działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów** (mury nienarażone na działanie mrozu ani agresywnych chemikaliów, zlokalizowane w: ścianach zewnętrznych z gzymsami lub okapami; parapetach; w ścianach wolnostojących; zagłębionych w gruncie; pod wodą).
- **MX3.1: mury narażone na działanie wilgoci lub zamoczenie oraz cykliczne zamrażanie/rozmarzanie, nie podlegające działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów lub agresywnych chemikaliów** (mury jak dla klasy MX2.1, narażone na cykliczne zamrażanie/rozmarzanie).
- **MX3.2: mury narażone na silne nawilżanie oraz cykliczne zamrażanie/rozmarzanie, niepodlegające działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów lub agresywnych chemikaliów** (mury jak dla klasy MX2.2, narażone na cykliczne zamrażanie /rozmarzanie).
- **MX4: mury narażone na działanie soli z powietrza, wody morskiej lub soli do odladzania** (mury w obszarach nadmorskich; mury przy drogach posypywanych solą w czasie zimy).
- **MX5: mury w środowisku chemicznie agresywnym** (mury stykające się z gruntem naturalnym lub nasypowym oraz wodą gruntową, gdzie występuje wilgoć i znaczny poziom siarczanów; mury stykające się z bardzo kwaśnymi gruntami, zanieczyszczonymi gruntami lub wodą gruntową; mury w sąsiedztwie obszarów przemysłowych, gdzie w powietrzu znajdują się agresywne chemikalia).

Silikatowe elementy murowe mogą być stosowane w środowiskach MX1, MX2.1 i MX2.2. W środowisku MX3.1 i MX3.2 można stosować elementy odporne na zamrażanie/rozmarzanie. W środowiskach MX4 i MX5 dla wszystkich rodzajów elementów murowych należy dokonać oceny środowiska i jego wpływu na mur oraz zasięgnąć opinii producenta.

6. Przegrody budynku powinny stanowić zabezpieczenie przed hałasem zewnętrznym (powietrznym) i hałasem przenikającym między pomieszczeniami – bytowym oraz hałasem, którego źródłem jest wyposażenie techniczne budynku. Zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami ochrona przed dźwiękami uderzeniowymi dotyczy tylko stropów. W normie PN-B-02151-3:1999 [N9] podane są wymagania izolacyjności akustycznej przegród w budynkach. Metody dokładną i uproszczoną obliczania izolacyjności akustycznej przegrody zamieszczono w normie PN-EN 12354-1 [N10]. Projektowany wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej ściany w budynku powinien być określony z następujących zależności:

$$R'_{A1} \leq R_{A1R} - K$$

lub

$$R'_{A2} \leq R_{A2R} - K$$

gdzie:

- R_{A1R} , R_{A2R}** - wskaźnik izolacyjności właściwej ścian wewnętrznych i zewnętrznych skorygowany o różnice pomiędzy wynikami badań w warunkach laboratoryjnych a wynikami badań w warunkach terenowych.
- K** - poprawka uwzględniająca wpływ dźwięków bocznych zależna od rodzaju materiałów, wymiarów i konstrukcji przegród (ścian i stropów), sposobu połączenia poszczególnych przegród (stopnia redukcji drgań w węzłach).

Tabelaryczne zestawienie poprawek K dla najczęściej występujących w praktyce przypadków zawiera Instrukcja ITB nr 406/2005 [N11]. Zgodnie z tą instrukcją dla ścian wewnętrznych oraz dla ścian zewnętrznych w przypadkach występowania hałasów o płaskim widmie częstotliwości zachodzą zależności:

$$R_{A1R} = R_{A1} - 2 \text{ dB}$$

$$R_{A1} = R_w + C$$

Natomiast dla ścian zewnętrznych oraz dla ścian wewnętrznych w przypadkach występowania hałasów niskoczęstotliwościowych:

$$R_{A2R} = R_{A2} - 2 \text{ dB}$$

$$R_{A2} = R_w + C_{tr}$$

w których:

- R_w** - wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej według PN-B-02151-3 [N9],
- C** - wskaźnik adaptacyjny określający zdolność ściany do izolowania hałasów o widmie płaskim w funkcji częstotliwości o wartości od -3 dB do 0 dB, określany według PN-EN ISO 717-1 [N12],
- C_{tr}** - wskaźnik adaptacyjny określający zdolność ściany do izolowania hałasów z przewagą niskich częstotliwości o wartości od -6 dB do -3 dB, określany według PN-EN ISO 717-1 [N12],
- 2 dB** - jest to korekta zgodnie z PN-B-02151-3 [N9] uwzględniająca dokładność wyznaczania wskaźników na podstawie pomiarów laboratoryjnych, różny stopień odtworzenia w badanym wzorcu cech rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego oraz ewentualne niedokładności wykonawstwa i pełni rolę współczynnika bezpieczeństwa przy projektowaniu izolacyjności akustycznej przegród.

Przy określaniu izolacyjności akustycznej przegród zewnętrznych budynku pomija się, zgodnie z PN-B-02151-3: [N9], wpływ bocznego przenoszenia dźwięków. Izolacyjność akustyczna ściany zewnętrznej (z ewentualnym uwzględnieniem wpływu okien i drzwi) R_{A2} lub ewentualnie R_{A1} , powinna być określana w odniesieniu do miarodajnego poziomu dźwięku A na zewnątrz budynku zarówno w ciągu dnia, jak i w nocy.

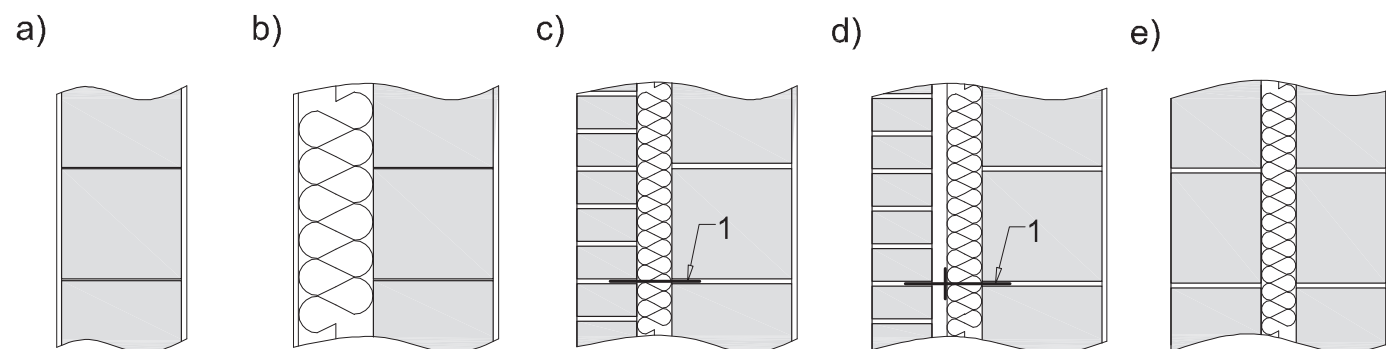
7. Współczynnik przenikania ciepła U ścian z silikatowych elementów murowych oblicza się zgodnie z PN-EN ISO 6946 [N13]. Wartość współczynnika U nie może być większa od wartości dopuszczalnej podanej w Załączniku do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami).

3.2. Rodzaje ścian

1. Ściany z elementów silikatowych projektuje się jako:

- ściany jednowarstwowe, z warstwą izolacji termicznej lub bez takiej warstwy (rys. 2a, 2b),
- ściany szczelinowe ze szczeliną wypełnioną izolacją termiczną (rys. 2c, 2e) lub ze szczeliną częściowo wypełnioną izolacją i dodatkową szczeliną powietrzną (rys. 2d).

Ponieważ szerokość elementu murowego jest równa grubości ściany, ściany z bloczków silikatowych są ścianami bez spoiny podłużnej (pionowej). Spoina podłużna występuje jedynie w ścianach z cegły silikatowej o grubości większej lub równej 25 cm.



Rysunek 2. Rodzaje ścian z elementów murowych silikatowych:

- a) jednowarstwowa bez dodatkowego ocieplenia,
- b) jednowarstwowa z dodatkowym ociepleniem,
- c) szczelinowa ze szczeliną wypełnioną materiałem termoizolacyjnym,
- d) szczelinowa z dodatkową szczeliną wentylacyjną,
- e) ściana podwójna (przy dylatacji) z/lub bez wypełnienia materiałem izolacyjnym,

1 – kotwa łącząca zewnętrzną warstwę ściany z warstwą wewnętrzną zgodną z PN-EN 845-1 [N16].

2. Z uwagi na funkcję konstrukcyjną w budynku rozróżnia się:

- ściany konstrukcyjne, których głównym przeznaczeniem jest przenoszenie dodatkowego obciążenia poza ciężarem własnym,
- ściany niekonstrukcyjne, które w obliczeniach uważa się za nieprzejmujące obciążenia z innych elementów budynku i które można usunąć bez szkody dla nośności konstrukcji budynku.

Ściany konstrukcyjne podzielić można na:

- ściany obciążone głównie pionowo, stanowiące podporę dla stropów, ścian wyższych kondygnacji oraz ciężarem elementów wykończenia i wyposażenia, a także siłami wynikającymi z połączenia ściany rozpatrywanej ze ścianami przyległymi, jeżeli ich odkształcenie jest znacząco różne od odkształceń ściany rozpatrywanej,
- ściany obciążone prostopadle do powierzchni, nieprzenoszące obciążeń pionowych poza ciężarem własnym (tzw. samonośne),
- ściany usztywniające, przenoszące siły ścinające np. od poziomego parcia wiatru.

Ściana nośna w budynku może pełnić zarówno rolę ściany obciążonej pionowo (przenoszącej obciążenia pionowe), jak i ściany usztywniającej (przenoszącej poziome obciążenia ścinające). Konstrukcje obciążone głównie pionowo nie mogą być natomiast traktowane jako samonośne, gdyż te przenoszą jedynie ciężar własny i obciążenia poziome. Ścianami usztywniającymi mogą być zarówno ściany obciążone głównie pionowo (nośne), jak i ściany obciążone głównie poziomo (samonośne), a także ściany wypełniające, kiedy spełniają wymagania stawiane ścianom konstrukcyjnym.

3. Z uwagi na warunki wyczerpania nośności ściany rozróżnia się:

- ściany obciążone głównie pionowo, w których o zniszczeniu decyduje wytrzymałość muru na ściskanie oraz tzw. efekty drugiego rzędu związane ze wzrostem mimośrodów na skutek wygięcia ściany z płaszczyzny,
- ściany obciążone głównie poziomo, których nośność uzależniona jest od wytrzymałości muru na zginanie,
- ściany ścinane, w których nośność zależy od wytrzymałości muru na ścinanie.

Rozróżnienie to jest istotne z uwagi na obliczenia statyczne ściany (rozdz. 5).

3.3. Ściany jednowarstwowe

Ściany jednowarstwowe znajdują zastosowanie zarówno jako ściany zewnętrzne (z dodatkowym ociepleniem), jak i wewnętrzne. Jednowarstwowe ściany konstrukcyjne w systemie Grupy SILIKATY wykonuje się o grubościach 180, 240 i 250 mm. Jako ocieplenie ścian jednowarstwowych stosuje się warstwę izolacji cieplnej z płyt z wełny mineralnej lub styropianu o grubości pozwalającej na uzyskanie wymaganej wartości współczynnika przenikania ciepła. Łączenie ścian wzajemnie prostopadłych z reguły wykonuje się poprzez tradycyjne przewiązanie. Ściany wewnętrzne mogą być także łączone za pomocą odpowiednich kotew umieszczonych w warstwie zaprawy.

3.4. Ściany szczelinowe

Cechą charakterystyczną ścian szczelinowych jest zdolność warstwy zewnętrznej do samodzielnego odkształcania się, niezależnie od odkształceń warstwy wewnętrznej, stanowiącej część konstrukcyjną ściany. Warstwę wewnętrzną z elementów silikatowych wykonuje się analogicznie jak ściany jednowarstwowe. Warstwę zewnętrzną wykonuje się najczęściej z elementów silikatowych lub cegły klinkierowej, o grubości co najmniej 90 mm.

Warstwa elewacyjna z elementów silikatowych nie wymaga tynkowania ze względu na ich wysoką mrozoodporność. Ściany szczelinowe wykonuje się z reguły jako ściany ze szczeliną wypełnioną materiałem termoizolacyjnym. Ściany ze szczeliną wentylacyjną między warstwą zewnętrzną ściany i warstwą termoizolacyjną stosowane są głównie na terenach, na których występują silne deszcze ukośne. W celu usunięcia wody, która może przenikać do warstwy termoizolacyjnej, w warstwie zewnętrznej stosuje się odpowiednio skonstruowane szczeliny.

Warstwę zewnętrzną ściany szczelinowej łączy się z warstwą wewnętrzną za pomocą kotew, które dobierane są odpowiednio do rodzaju spoiny poziomej oraz szerokości szczeliny między warstwami muru.

3.5. Ściany fundamentowe i ściany piwnic

1. Ściany fundamentowe i ściany piwnic na ogół wykonuje się z bloczków silikatowych pełnych o grubości 240 mm lub 250 mm (niekiedy 180 mm). Mogą to być zarówno ściany jednowarstwowe, jak i szczelinowe.

2. Izolację cieplną układa się na zewnątrz ściany fundamentowej lub ściany piwnic; powinna być ona zabezpieczona przed uszkodzeniem przez grunt lub mieć odpowiednią twardość.

3. W ścianach fundamentowych i ścianach piwnic zaleca się wypełnianie spoin pionowych z uwagi na obciążenie parciem gruntu.

3.6. Sztywność przestrzenna konstrukcji budynku

3.6.1. Wymagania podstawowe

1. Podstawowym wymaganiem konstrukcyjnym przy projektowaniu budynków, w tym również ze ścianami konstrukcyjnymi z elementów murowych silikatowych, jest zapewnienie należytej:

- sztywności przestrzennej budynku tak, aby przemieszczenia poziome konstrukcji pod działaniem obciążeń poziomych były możliwie małe,
- spójności konstrukcji tak, aby oddziaływania wyjątkowe, takie jak pożar lub eksplozja, na skutek których ulega zniszczeniu część ściany, a także błędy ludzkie popełnione przy wykonywaniu i użytkowaniu budynku, nie spowodowały zniszczenia konstrukcji w zakresie nieproporcjonalnie dużym do przyczyny początkowej.

2. Wymaganą sztywność przestrzenną budynku uzyskuje się przez usytuowanie w kierunku podłużnym i poprzecznym ścian usztywniających, przejmujących obciążenie poziome, działające w kierunku równoległym do płaszczyzny odpowiednich ścian usztywniających i połączenie tych ścian ze stropami.

W budynkach ze stropami żelbetowymi stropy takie stanowią sztywne tarcze poziome, zapewniające równomierny rozdział obciążenia poziomego na wszystkie ściany usztywniające, proporcjonalnie do ich sztywności. W budynkach ze stropami drewnianymi udział stropów w przenoszeniu obciążeń poziomych jest ograniczony i stąd konieczność odpowiedniego nasycenia budynku ścianami usztywniającymi.

3.6.2. Wieńce żelbetowe

1. W budynkach ze ścianami nośnymi murowanymi wymagane są wieńce żelbetowe, obiegające w poziomie stropów wszystkie ściany konstrukcyjne. Wymaganie to dotyczy również najwyższej kondygnacji budynków wielokondygnacyjnych oraz budynków parterowych, przykrywanych stropami lekkimi. Z wieńcami łączy się za pomocą zbrojenia podporowego stropy żelbetowe. W przypadku stropów drewnianych w wieńcu mocuje się kotwy, łączące belki stropowe ze ścianą. Wieńce żelbetowe spełniają ważną rolę w zapewnieniu sztywności przestrzennej i spójności konstrukcyjnej budynku. Zadaniem wieńców jest:

- przejście sił rozciągających w stropach żelbetowych, spełniających rolę tarcz poziomych, usztywniających budynek (zbrojenie krawędziowe),
- wyrównanie różnic odkształceń łączonych ścian różnie obciążonych i przeciwdziałanie powstawaniu rys w murze,
- przejście sił rozciągających w murze, powstałych na skutek odkształceń termicznych lub nierównomiernego osiadania budynku,
- umożliwienie utworzenia się wtórnego ustroju nośnego w przypadku lokalnego uszkodzenia ściany nośnej, np. na skutek wybuchu.

2. Zgodnie z PN-EN 1992-1-1 [N14] wieńce obwodowe należy stosować na poziomie każdego stropu i dachu. Wieńce obwodowe powinny być zdolne do przeniesienia siły rozciągającej:

$$F_{tie,per} = 10I_i \leq 70 \text{ kN}$$

gdzie:

I_i - rozpiętość skrajnego przęsła wieńca.

Wieńce wewnętrzne należy umieszczać na poziomie każdego stropu i dachu w dwóch kierunkach, w przybliżeniu pod kątem prostym. Wieńce wewnętrzne powinny być zdolne do przeniesienia siły rozciągającej:

$$F_{tie,per} = 10I_i \leq 20 \text{ kN}$$

Zbrojenie podłużne wieńców wykonuje się jako ciągłe, z reguły ze stali klasy A-III, a potrzebny przekrój zbrojenia wyznacza się dla charakterystycznej granicy plastyczności stali f_{yk} . W przypadku stali klasy A-III zbrojenie podłużne powinno być nie mniejsze niż $3 \Phi 10$, a w przypadku stali klasy A-IIIN - $3 \Phi 8$.

3.6.3. Przerwy dylatacyjne

Budynek ze ścianami murowymi należy dzielić na mniejsze segmenty, stosując przerwy dylatacyjne, przechodzące przez całą konstrukcję od wierzchu fundamentów do dachu. Odległości między przerwami dylatacyjnymi należy wyznaczać na podstawie analizy konstrukcji poddanej różnicy temperatur, a niekiedy również z uwagi na warunki gruntowe. Nie jest konieczne przeprowadzanie analizy konstrukcji z murowych elementów silikatowych, z uwagi na odkształcenia termiczne, jeżeli odległości między przerwami dylatacyjnymi są nie większe niż:

- ścianyszczelinowe:
 - w warstwie zewnętrznej – 8 m
 - w warstwie wewnętrznej – 30 m
- ścianyjednowarstwowe:
 - ze spoinami pionowymi wypełnionymi – 25 m
 - ze spoinami pionowymi niewypełnionymi – 20 m

W przypadku ścian ze zbrojeniem zgodnym z PN-EN 845-3 [N15] umieszczonym w spoinach wspornych, odległości między przerwami dylatacyjnymi mogą być zwiększone o wartość rekomendowaną przez producenta zbrojenia. Odległości między przerwami dylatacyjnymi dotyczą budynków z oddzielną konstrukcją dachową i ocieplonym stropem nad najwyższą kondygnacją. Ściany kolankowe należy dzielić dylatacjami co 20 m. Przerwy dylatacyjne powinny mieć szerokość nie mniejszą niż 20 mm i być wypełnione na obwodzie materiałem trwale plastycznym.

3.7. Oparcie stropów na ścianach

Stropy opiera się na ścianach z elementów silikatowych bezpośrednio na warstwie muru za pośrednictwem wieńca żelbetowego w płaszczyźnie stropu lub wieńca opuszczonego. Szerokość wieńca z reguły jest równa szerokości ściany. Jeżeli ściana stanowi podporę skrajną stropu w wieńcu żelbetowym, kotwi się zbrojenie podporowe stropów żelbetowych, przyjęte zgodnie z PN-EN 1992-1-1 [N14]. Na ścianach grubości 240 i 250 mm można opierać wszystkie rodzaje stropów,

natomiast na ścianach grubości 180 mm tylko stropy, których konstrukcja umożliwia właściwe zakotwienie zbrojenia dolnego na podporze (np. monolityczne stropy płytowe, stropy gęstożebrowe belkowo-pustakowe). Stropy nad najwyższą kondygnacją, powyżej których znajduje się oddzielna konstrukcja dachowa, opiera się na ścianach w podobny sposób jak stropy międzykondygnacyjne. Kiedy konstrukcja dachowa spoczywa na ścianie kolankowej, u wierzchu ścianki zaleca się wykonanie wieńca żelbetowego zaprojektowanego na oddziaływanie przymocowanej do niego więźby dachowej. W przypadku ścianek kolankowych o wysokości powyżej 0,50 m (łącznie z wieńcem) zaleca się dodatkowo wykonanie w niej słupów żelbetowych, zakotwionych w stropie lub w ścianie niższej kondygnacji (trzcienie żelbetowe).

3.8. Wnęki i bruzdy w ścianach

1. Wnęką nazywa się wgłębienie w ścianie mające długość, wysokość i głębokość. Bruzda jest otwartym kanałem biegnącym poziomo, pionowo lub ukośnie w stosunku do płaszczyzny spoin wspornych, w której długość jest znacznie większa od szerokości i głębokości. Przeprowadzenie instalacji często wymusza wycinanie bruzd w zewnętrznych powierzchniach ścian, które mogą znacznie redukować ich nośność na ściskanie. Układ i kierunek bruzd nie zawsze może przebiegać w sposób regularny pionowy, poziomy, może być również ukośny.
2. PN-EN 1996-1-1 [N1] dopuszcza wykonywanie wnęk i bruzd w ścianach niezbrojonych oraz wielowarstwowych pod warunkiem, że ingerencje takie nie będą miały wpływu na stateczność oraz użytkowość ściany. Norma zakazuje natomiast wykonywania bruzd i wnęk w konstrukcjach zbrojonych oraz w nadprożach lub innych elementach konstrukcyjnych wbudowanych w ścianę, jeśli nie zostały one uwzględnione przez projektanta.
3. Występowanie bruzd lub wnęk pionowych powoduje redukcję nośności z uwagi na obciążenia pionowe, z uwagi na ścinanie oraz zginanie. Wpływ tej redukcji można pominąć, jeżeli głębokość bruzdy lub wnęki nie jest większa niż głębokość maksymalna $t_{ch,v}$ podana w tablicy 3. W przeciwnym wypadku należy obliczeniowo sprawdzić nośność przekroju zredukowanego obecnością bruzdy lub wnęki. Zaleca się, aby łączna szerokość pionowych bruzd i wnęk nie przekraczała 0,13 długości ściany.
- Jeżeli występują wnęki lub bruzdy różnej głębokości, do analiz przyjąć należy głębokość maksymalną. 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, jeśli grubość ściany nie jest mniejsza niż 225 mm. Zaleca się, aby pozioma odległość między sąsiednimi bruzdami lub między bruzdą i wnęką nie była mniejsza niż 225 mm. Natomiast pozioma odległość między sąsiadującymi wnękami występującymi po tej samej stronie ściany lub po obydwu stronach ściany, ewentualnie odległość od wnęki do otworu, powinna być mniejsza niż dwukrotna szerokość szerszej z dwóch wnęk.
4. Jeżeli podczas wznoszenia obiektu zajdzie potrzeba wykonania bruzd lub wnęk poziomych lub ukośnych (względem płaszczyzn spoin wspornych), to wymaga się, aby każda taka bruzda położona była pomiędzy 1/8 wysokości ściany w świetle pomiędzy stropami. Całkowita głębokość, z uwzględnieniem głębokości każdego otworu powstałego w trakcie wykonywania bruzdy lub wnęki, powinna być mniejsza niż $t_{ch,h}$ (podana w tablicy 4) pod warunkiem, że mimośród w obrębie bruzdy jest mniejszy niż t/3. Gdy ograniczenia te są przekroczone, należy sprawdzać obliczeniowo nośność na obciążenia pionowe, ścinanie i zginanie, biorąc pod uwagę zredukowane pole przekroju.

Tablica 3. 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

Tablica 4. 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

5. Zaleca się, aby odległość pozioma między końcem bruzdy a otworem była nie mniejsza niż 500 mm, a odległość pozioma między przyległymi bruzdami o ograniczonej długości, niezależnie od tego, czy występują po jednej czy po obu stronach ściany, była nie mniejsza niż dwukrotna długość dłuższej bruzdy. W ścianach o grubości większej niż 150 mm dopuszczalną głębokość bruzdy można zwiększyć o 10 mm, jeżeli bruzdy są wycinane maszynowo na wymaganą głębokość. Dopuszcza się wykonywanie bruzd poziomych i ukośnych, wykonywanych maszynowo po obydwu stronach ściany pod warunkiem, że jej grubość nie jest mniejsza niż 225 mm. Bez względu na technologię wykonywania bruzd, maksymalna szerokość bruzdy nie powinna przekraczać połowy grubości ściany.

4. Parametry mechaniczne muru

4.1. Zasady ogólne

1. W normie PN-EN 1996-1-1 [N1] wyróżnia się charakterystyczną i obliczeniową wytrzymałość muru na ściskanie, na ścinanie oraz na rozciąganie przy zginaniu. Do właściwości wytrzymałościowych zaliczono również charakterystyczną i obliczeniową wartość przyczepności zbrojenia do zaprawy lub betonu wypełniającego.
2. Wartości poszczególnych wytrzymałości wyznacza się zwykle na drodze eksperymentalnej, dokonując badań murowanych elementów próbnych o wymiarach oraz liczbie zgodnej z odpowiednimi normami. Do projektowania można również przyjmować wartości wytrzymałości obliczone z wzorów zamieszczonych w PN-EN 1996-1-1 [N1] lub z tablic zamieszczonych w PN-EN 1996-3 [N3].

4.2. Charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie

1. Wytrzymałość charakterystyczną na ściskanie muru innego niż ze spoinami pasmowymi oblicza się według postanowień Załącznika Krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1]. Wartość f_k dla muru z elementów silikatowych, niezawierającego spoiny podłużnej i wykonanego zgodnie z wymaganiami konstrukcyjnymi określonymi w nomie wyznacza się z następujących wzorów:

- dla murów wykonanych na zaprawie zwykłej lub lekkiej:

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

- dla murów ze spoinami cienkimi:

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

w których K należy przyjmować zgodnie z tablicą 5, f_b jest znormalizowaną wytrzymałością na ściskanie elementów murowych, natomiast f_m to wytrzymałość na ściskanie zaprawy murarskiej.

Tablica 5. Wartości współczynnika K według PN-EN 1996-1-1 [N1]			
Element murowy		Rodzaj zaprawy murarskiej	
Materiał	Grupa	Zaprawa zwykła	Zaprawa do cienkich spoin
Silikaty	1	0,45	0,6
	2	0,40	0,45

2. Wytrzymałość charakterystyczną na ściskanie muru ze spoinami pasmowymi, czyli takiego, w którym elementy murowe układane są na co najmniej dwóch pasmach zaprawy murarskiej równoległych do lica ściany, przy czym pasma skrajne zaprawy znajdują się przy licu ściany, można określać ze wzorów służących do obliczania wytrzymałości muru na ściskanie ze spoinami innymi niż pasmowe. Przyjmuje się wtedy znormalizowaną wytrzymałość średnią na ściskanie elementów murowych f_b jak dla zwykłych spoin, pod warunkiem że szerokość każdego pasma zaprawy wynosi co najmniej 30 mm, grubość muru jest równa szerokości lub długości elementu murowego, czyli nie ma spoin równoległych do płaszczyzny lcowej ściany na całej długości ściany lub rozpatrywanej części. Stosunek g/t nie może być mniejszy od 0,4, gdzie g jest sumaryczną szerokością wszystkich pasm zaprawy, t to grubość ściany, a wartość współczynnika K przyjmuje się jak dla murów ze spoinami zwykłymi, gdy $g/t = 1,0$ oraz $0,5K$ kiedy $g/t = 0,4$, przy czym wartości pośrednie można uzyskać stosując interpolację liniową.

3. W normie PN-EN 1996-3 [N3] zamieszczono tablice zawierające wytrzymałości charakterystyczne muru na ściskanie $f_{k,s}$, przewidziane do wykorzystywania przy stosowaniu uproszczonych metod obliczeniowych zawartych w tej normie. Wartości charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie $f_{k,s}$ wyznaczono na podstawie wzorów zamieszczonych w punkcie 4.2.1. i dlatego można je stosować również w analizach obliczeniowych prowadzonych zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [N1]. Wytrzymałości $f_{k,s}$ zgodnie z PN-EN 1996-3 [N3] podano w tablicy 6. Zakres znormalizowanej wytrzymałości elementu murowego na ściskanie ograniczono do 35 N/mm², gdyż w praktyce nie produkuje się bloczków o większej wytrzymałości. Typowe znormalizowane wytrzymałości bloczków produkowanych w zakładach Grupy SILIKATY to 15 i 20 N/mm² (zob. tablica 1). W tablicy 6 ograniczono również marki zaprawy do zalecanych do stosowania w murach z silikatów.

Tablica 6. Wartości charakterystyczne wytrzymałości na ściskanie muru według PN-EN 1996-3 [N3]					
f_b [N/mm ²]	Zaprawa zwykła				Zaprawa do cienkich spoin
	M5	M10	M15	M20	
10	3,7	4,5	5,1	5,5	4,2
15	4,9	6,0	6,8	7,4	6,0
20	5,9	7,3	8,3	9,0	7,7
25	6,9	8,5	9,7	10,5	9,3
30	7,9	9,7	11,0	12,0	10,8
35	8,8	10,8	12,2	13,3	12,3

4.3. Charakterystyczna wytrzymałość muru na zginanie

1. PN-EN 1996-1-1 [N1] wyróżnia dwa przypadki zniszczenia muru: w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych i w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych. Gdy zniszczenie następuje w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych, o nośności muru decyduje wytrzymałość na zginanie (rozciąganie przy zginaniu) f_{xk1} , natomiast w przypadku zniszczenia w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych - f_{xk2} .
2. Gdy nie są dostępne wyniki badań, wytrzymałości charakterystyczne muru na zginanie, wykonanego z elementów silikatowych na zaprawach zwykłych i zaprawach do cienkich spoin mogą być za PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjmowane z tablicy 7.

Tablica 7. Wytrzymałość charakterystyczna muru na zginanie

Kierunek zniszczenia	Rodzaj zaprawy		
	Zaprawa zwykła		Zaprawa do cienkich spoin
	$f_m < 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$	
w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych f_{xk1}	0,05 N/mm ²	0,10 N/mm ²	0,15 N/mm ²
w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych f_{xk2}	0,20 N/mm ²	0,40 N/mm ²	0,30 N/mm ²

4.4. Charakterystyczna wytrzymałość na ścinanie

1. W Załączniku Krajowym do normy PN-EN 1996-1-1 [N1] wyróżnia się wytrzymałość charakterystyczną na ścinanie w kierunku równoległym do spoin wspornych f_{vk} oraz w kierunku prostopadłym do spoin wspornych f_{vbk} .
2. Wytrzymałość charakterystyczną muru na ścinanie w kierunku równoległym do spoin wspornych f_{vk} muru niezbrojonego ze spoinami pionowymi, spełniającymi wymagania, które pozwalają je uznać za spoiny wypełnione, przyjmować można najniższą z następujących wartości:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d$$

lub $f_{vk} = 0,065f_b$, lecz nie mniej niż f_{vko} albo wartości granicznej f_{vk} podanej w tablicy 8, gdzie f_{vko} to wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie w kierunku równoległym do spoin wspornych, przy naprężeniu ściskającym równym

zero, której wartości podano w tablicy 8, σ_d to wartość średnia obliczeniowego normalnego naprężenia ściskającego skierowanego prostopadle do kierunku ścinania, wyznaczona dla odpowiedniej kombinacji obciążeń, natomiast f_b jest znormalizowaną wytrzymałością na ściskanie elementów murowych określoną przy ściskaniu w kierunku prostopadłym do płaszczyzn wspornych elementów.

Tablica 8. Charakterystyczna wytrzymałość początkowa na ścinanie f_{vko} oraz wartości ograniczające wytrzymałość muru na ścinanie w kierunku równoległym do płaszczyzn spoin wspornych f_{vk} wg [N1]

Materiał elementu murowego	f_{vko} [N/mm ²]		Zaprawa do cienkich spoin	f_{vk} [N/mm ²]		
	Zaprawa zwykła			Grupa elementów murowych		
	f_m [N/mm ²]	f_{vko} [N/mm ²]		1	2	3 i 4
Silikaty	15; 20	0,20	0,30	1,7	1,4	ograniczenia jak pod wzorem powyżej
	5; 10	0,15		1,5	1,2	
	1; 2,5	0,10		1,2	1,0	

3. W wypadku muru bez zbrojenia z niewypełnionymi spoinami pionowymi, wytrzymałość charakterystyczną muru na ścinanie f_{vk} należy przyjmować jako wartość najmniejszą z obliczonej ze wzoru:

$$f_{vk} = 0,5f_{vko} + 0,4\sigma_d$$

lub $f_{vk} = 0,045f_b$, lecz nie mniej niż f_{vko} lub wartości f_{vit} , którą stanowią wartości z tablicy 8 pomnożonej przez 0,7.

4. Wartości charakterystyczne wytrzymałości muru na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych zestawiono w tablicy 9.

Tablica 9. Wytrzymałość charakterystyczna f_{vbk} muru ścinanego prostopadle do spoin wspornych wg [N1]

Grupa elementów murowych	$f_b \text{ [N/mm}^2\text{]}$				
	<5	5	10	15	≥20
1	nie stosuje się	0,7	0,9	1,0	1,1
2	0,1	0,2	0,3		0,4

4.5. Wytrzymałości obliczeniowe

1. Wytrzymałości obliczeniowe muru (na ściskanie, zginanie i ścinanie) uzyskuje się przez pomnożenie wytrzymałości charakterystycznej przez częściowy współczynnik bezpieczeństwa γ_M . Wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa muru ustala się odpowiednio do kategorii kontroli produkcji elementów murowych, rodzaju zastosowanej zaprawy oraz do kategorii wykonania robót na budowie. Rozróżnia się:
- klasę A wykonania robót – gdy roboty murarskie wykonuje należycie wyszkolony zespół pod nadzorem mistrza murarskiego, stosuje się zaprawy produkowane fabrycznie, a jeżeli zaprawy wytwarzane są na budowie, kontroluje się dozowanie składników, a także wytrzymałość zaprawy, a jakość robót kontroluje inspektor nadzoru inwestorskiego,
 - klasę B wykonania robót – gdy warunki określające klasę A nie są spełnione; w takim przypadku nadzór nad jakością robót może wykonywać osoba odpowiednio wykwalifikowana, upoważniona przez wykonawcę.
2. Decyzję o przyjęciu kategorii wykonawstwa podejmuje projektant konstrukcji.
3. Wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa dla muru, γ_M przyjmowane do obliczeń konstrukcji w sytuacjach trwałych i przejściowych podano w tablicy 10.

Tablica 10. Wartości współczynnika γ_M				
	Materiał		Rodzaj zaprawy	
			γ_M	
			Klasa A	Klasa B
A	Mury wykonane z elementów murowych kategorii I, zaprawa projektowana ^a		1,7	2,0
B	Mury wykonane z elementów murowych kategorii I, zaprawa przepisana ^b		2,0	2,2
C	Mury wykonane z elementów murowych kategorii II, dowolna zaprawa ^{a, b, e}		2,2	2,5
D	Zakotwienie prętów stali zbrojeniowej		2,0	2,2
E	Stal zbrojeniowa i sprężająca		1,15	
F	Wyroby dodatkowe ^{c, d} zgodne z PN-EN 845-1 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	

^a Wymagania dotyczące zaprawy projektowanej podano w PN-EN 998-2 i PN-EN 1996-2.
^b Wymagania dotyczące zaprawy przepisanej podano w PN-EN 998-2 i PN-EN 1996-2.
^c Wartość deklarowana jest wartością średnią.
^d Przyjmuje się, że współczynnik γ_M odnosi się również do warstw izolacji przeciwwilgociowej.
^e Gdy współczynnik zmienności dla kategorii II elementów murowych jest nie większy niż 25%.
^f Dla ścian grubości 150 mm $\geq t \geq 100$ mm:
- wykonanych z elementów murowych kategorii I i zaprawy projektowanej, pod nadzorem odpowiadającym klasie A wykonania robót – $\gamma_M = 2,5$,
- w pozostałych przypadkach – $\gamma_M = 2,7$.

- Dla wyjątkowych sytuacji obliczeniowych, niezależnie od kategorii elementów murowych i kategorii wykonania robót, można przyjąć:
- dla muru – $\gamma_M = 1,3$
 - dla zakotwień stali zbrojeniowej – $\gamma_M = 1,15$
 - dla stali zbrojeniowej – $\gamma_M = 1,0$
4. Kiedy pole przekroju poprzecznego elementu konstrukcji murowej jest mniejsze niż 0,30 m², wytrzymałość obliczeniową muru na ściskanie f_d należy dodatkowo podzielić przez współczynnik η_A o wartości podanej w tablicy 11.

Tablica 11. Wartości współczynnika η_A				
Pole przekroju poprzecznego muru [m ²]	0,04	0,10	0,20	$\geq 0,30$
η_A	2,00	1,37	1,25	1,00
Uwaga: Dla wartości pośrednich pola przekroju muru, wartość η_A można interpolować liniowo.				

4.6. Odkształcalność muru

1. Podobnie jak w wypadku wytrzymałości Eurokod 6 własności odkształceniowe zaleca określać na podstawie badań. W przypadku braku wyników badań wykonanych zgodnie z PN-EN 1052-1 [N17], doraźny sieczny moduł sprężystości muru E, wykonanego z elementów silikatowych, zgodnie z Załącznikiem Krajowym do PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjąć można $E = 1000 f_k$.
2. Przedziały zmian wartości współczynnika pełzania ϕ_∞ , długotrwałej rozszerzalności pod wpływem wilgoci lub skurczu i współczynnika liniowej odkształcalności termicznej α , podano w tablicy 12.

Tablica 12. Przedziały zmian wartości współczynnika pełzania, rozszerzalności pod wpływem wilgoci lub skurczu i współczynnika liniowej odkształcalności termicznej			
Rodzaje elementów murowych	Końcowa wartość współczynnika pełzania ^a ϕ_∞	Rozszerzalność pod wpływem wilgoci lub skurcz ^b [mm/m]	Współczynnik liniowej odkształcalności termicznej, α 10 ⁻⁶ /K
Silikaty	1,0 do 2,0	-0,4 do - 0,1	7 do 11

^a Końcowy współczynnik pełzania $\phi_\infty = \epsilon_{\infty} / \epsilon_{el}$, gdzie ϵ_{∞} jest końcową wartością odkształceń pełzania przy $\epsilon_{el} = \sigma / E$.
^b Ujemna wartość rozszerzalności pod wpływem wilgoci lub skurczu oznacza skracanie, natomiast wartość dodatnia oznacza rozszerzanie.

4.7. Izolacyjność termiczna

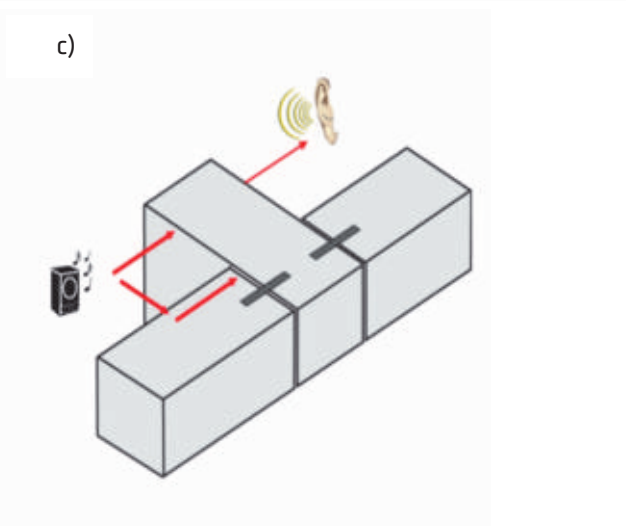
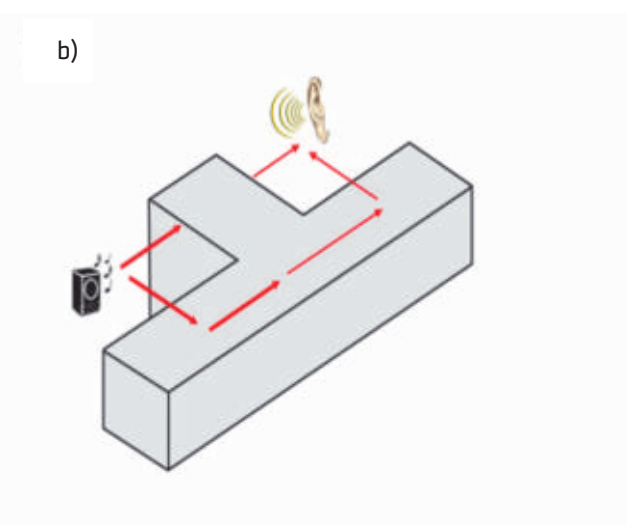
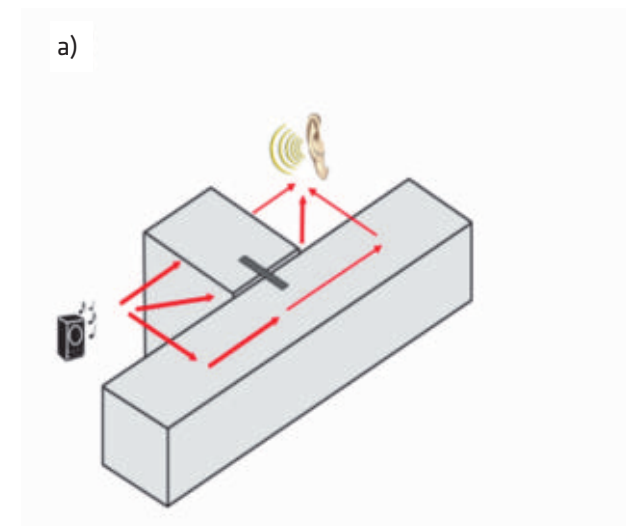
1. Wymaganą wartość współczynnika przenikania ciepła przez ściany z elementów murowych silikatowych uzyskuje się przez ocieplenie ściany jednowarstwowej warstwą materiału termoizolacyjnego, np. styropianu lub wełny mineralnej o różnych grubościach, lub poprzez wykonanie ściany szczelinowej. Grubość warstwy izolacyjnej zależy od wymaganej izolacyjności ściany. Najczęściej jest to warstwa o grubości 120-150 mm i więcej.
2. Izolacyjność cieplna samego muru z elementów silikatowych nie wpływa w sposób istotny na izolacyjność całej ściany.
3. Współczynnik przewodzenia ciepła λ przez elementy silikatowe, wyznaczony wg PN-EN ISO 6946 [N13] i PN-EN 1745 [N19], waha się od 0,46 do 1,37 W/mK. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla wszystkich wyrobów oferowanych przez Grupę SILIKATY podane są w aktualnym katalogu technicznym.

4.8. Izolacyjność akustyczna

1. Ochrona przed hałasem jest wymaganiem, które musi być spełnione w każdym budynku, a w szczególności w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Z silikatów można w łatwy sposób wybudować ściany budynku o wysokiej izolacyjności akustycznej, gwarantując ciszę wewnątrz pomieszczeń. Izolacyjność akustyczna ścian rośnie wraz z ich masą, dlatego duża masa silikatów jest ich ważną zaletą. Aby spełnić obowiązujące wymagania normowe (np. $R'_{A1} \geq 50$ dB dla ściany międzymieszkaniowej), jednowarstwowa ściana wewnętrzna rozdzielająca powinna mieć grubość minimum 24 cm przy zastosowaniu bloczków drążonych SILIKAT N24, SILIKAT N25 oraz 18 cm przy zastosowaniu bloczków SILIKAT A. Zastosowanie elementu murowego SILIKAT A^{PLUS} grubości 18 cm daje możliwość osiągnięcia izolacyjności akustycznej na poziomie powyżej 53 dB, przy grubości 25 cm można osiągnąć izolacyjność akustyczną na poziomie R'_{A1} ok. 57 dB. Wszystkie rodzaje ścian zewnętrznych wykonanych w SYSTEMIE SILIKATY spełniają wymagania ochrony przed hałasem stawiane przed ścianami zewnętrznymi.

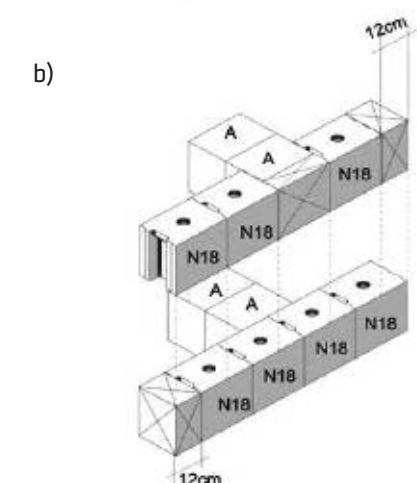
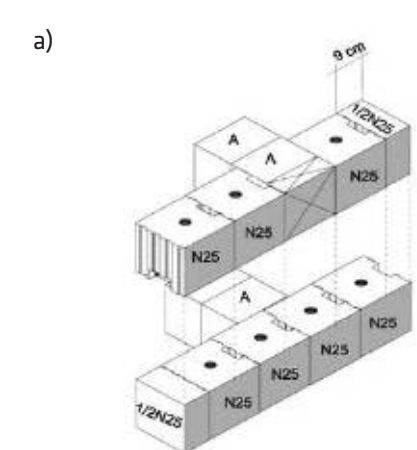
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami) określa, że ściana oddzielająca pokój jednego mieszkania od pomieszczenia sanitarnego lub kuchni sąsiedniego mieszkania musi mieć konstrukcję zapewniającą ograniczenie przenoszenia przez tę ścianę dźwięków materiałowych i wskazuje, że można to uzyskać przy zastosowaniu ściany o masie powierzchniowej nie mniejszej niż 300 kg/m². Mury z bloczków silikatowych o grubości 18 cm spełniają ten wymóg (np. SILIKAT A18).

3. Przy określaniu wpływu przenoszenia bocznego (poprawka K) – patrz p. 3.1.6. – można posługiwać się Instrukcją ITB nr 406/2005 [N11]. Zaleca się wykonywanie warstwy konstrukcyjnej ściany zewnętrznej o masie powierzchniowej ok. 300 kg/m², co oznacza, że mur powinien mieć przynajmniej 180 mm grubości (SILIKAT N18). W przypadku ścian międzymieszkaniowych ich połączenia ze ścianami zewnętrznymi powinny być wykonane w sposób pokazany na rysunkach od 3 do 5. Ze względu na spełnienie wymagań ochrony przed hałasem najkorzystniejsze jest rozwiązanie pokazane na rys. 3c, a najgorsze 3a. Przecięcie ściany zewnętrznej (rys. 3c) może być jednakże niekorzystne z uwagi na stateczność budynku. Dlatego zaleca się stosowanie przewiązania murarskiego (rys. 3b). Szczegóły połączenia ścian wiązaniem murarskim pokazano na rys. 4, natomiast sposoby połączenia na styk z metalowymi łącznikami na rys. 5.

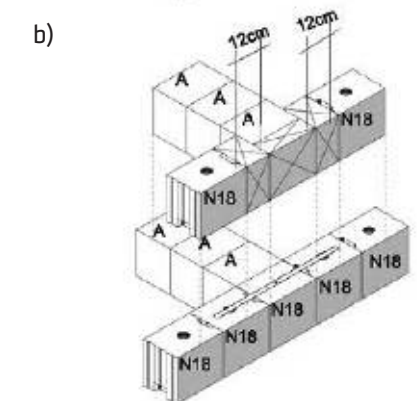
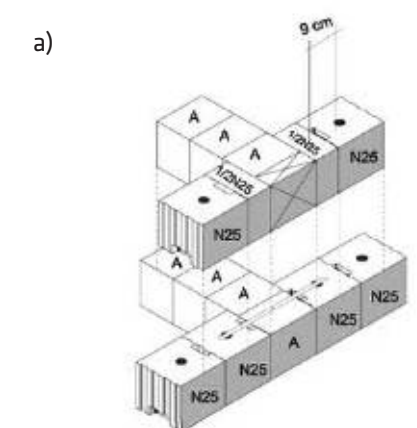


Rysunek 3. Sposoby połączenia ściany wewnętrznej z zewnętrzną spełniające wymagania konstrukcyjne według PN-EN 1996-1-1 [N1]:

- a) na styk i metalowe łączniki
- b) wiązanie murarskie
- c) na styk i metalowe łączniki z przecięciem ściany zewnętrznej



Rysunek 4. Szczegóły połączenia ścian wiązaniem murarskim



Rysunek 5. Szczegóły połączenia ścian z zastosowaniem metalowych łączników

4. Ściany powinny być obustronnie tynkowane tynkiem cementowo-wapiennym o grubości min. 12 mm (zalecany z uwagi na izolacyjność akustyczną) lub tynkiem gipsowym o grubości 10 mm (co najmniej 8 mm).

4.9. Odporność ogniowa

1. Silikaty, również te zawierające pigmenty koloryzujące, są materiałem niepalnym o klasie reakcji na ogień A1. Przy projektowaniu ścian w warunkach pożarowych stosuje się klasyfikację ogniową z uwagi na nośność (kryterium R), szczelność (kryterium E) i izolacyjność (kryterium I). Klasyfikację ogniową ścian nieotynkowanych i otynkowanych, wykonanych z silikatowych elementów murowych na zwykłe i na cienkie spoiny podano w tablicy 13, za uproszczoną metodą tabelaryczną według PN-EN 1996-1-2 [N8]. W tablicy tej zamieszczono minimalne grubości ścian z elementów silikatowych gwarantujące spełnienie danego kryterium REI. Grubości dotyczą zarówno murów nietynkowanych, jak i otynkowanych (w nawiasach w drugim rzędzie). Dwie wartości przedzielone ukośnikiem oznaczają, że dane kryterium mogą spełniać ściany w podanym przedziale grubości.

Tablica 13. Minimalna grubość ściany dla uzyskania klasyfikacji ogniowej REI

Proporcja obciążenia ściany α (stopień wyłączenia ściany)	Klasyfikacja ogniowa						
	REI 30	REI 45	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	REI 240
Elementy murowe grupy 1S							
α ≤ 1,0	90 (90)	90 (90)	90 (90)	100 (90/100)	100/170 (100/140)	170 (170)	140/190 (140/190)
α ≤ 0,6	90 (90)	90 (90)	90 (90)	100 (90/100)	100/170 (100/140)	170 (170)	140/190 (140/190)
Elementy murowe grupy 1							
α ≤ 1,0	90/100 (90/100)	90/100 (90/100)	90/100 (90/100)	100 (90/100)	140/200 (140)	190/240 (170/190)	190/240 (140)
α ≤ 0,6	90/100 (90/100)	90/100 (90/100)	90/100 (90/100)	100 (100)	120/140 (100)	170/200 (140)	190/200 (140)

5. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

5.1. Ściany obciążone głównie pionowo

1. Analiza nośności ścian obciążonych głównie pionowo polega na wykazaniu, że obliczeniowe siły pionowe działające na ścianę murową N_{Ed} nie powinny być większe od nośności obliczeniowej na obciążenia pionowe ściany N_{Rd}:

N_{Ed} ≤ N_{Rd}

Sprawdzenie powyższego warunku dokonuje się w trzech poziomych przekrojach analizowanej ściany: w przekroju pod stropem górnej kondygnacji (lub dachu), w przekroju środkowym oraz w przekroju nad stropem dolnej kondygnacji (lub piwnicy, ewentualnie nad ścianą fundamentową). Przekrój górny oznaczony jest 1-1, przekrój dolny 2-2, a przekrój środkowy m-m.

2. Wartość obliczeniowej siły pionowej N_{Ed} działającej na analizowaną ścianę murową określa się, wykonując kombinację oddziaływań na 1 mb ściany według PN-EN 1990 [N20]. Do kombinacji oddziaływań przyjmuje się wartości oddziaływań na podstawie odpowiednich norm pakietu Eurokodu 1.

3. Nośność obliczeniową N_{Rd} na jednostkę długości obciążonej pionowo ściany jednowarstwowej wyraża wzór:

N_{Rd} = Φ t f_d

gdzie:
Φ- współczynnik redukcyjny nośności, odpowiednio, Φ_i u góry i u dołu ściany (i = 1, 2) lub Φ_m w środku ściany, uwzględniający wpływ smukłości i mimośród obciążenia,
t - grubość ściany,
f_d - wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie.

4. Wartość współczynnika redukcyjnego Φ_i w przekroju górnym i dolnym ściany można wyznaczać przy założeniu prostokątnego wykresu naprężeń. Wówczas współczynnik ten może być obliczany z zależności:

Φ_i = 1 - 2 $\frac{e_i}{t}$

gdzie:
e_i - odpowiednio, mimośród u góry i u dołu ściany, wyznaczany ze wzoru:

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

w którym:
M_{id} - moment zginający wywołany działaniem obciążeń obliczeniowych, u góry i u dołu ściany, będący wynikiem przekazywania reakcji na podporę ze stropu na mimośrodku (zob. rys. 6),
N_{id} - 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.

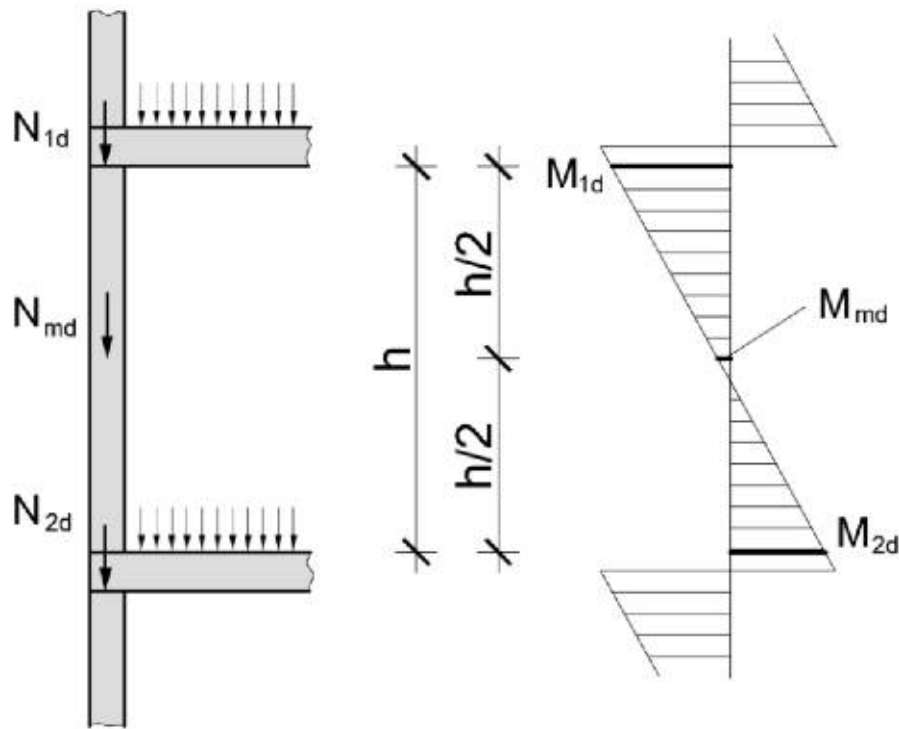
Mimośród e_{hm} jest wynikiem obciążeń poziomych (np. wiatru) i można go wyliczać ze wzoru:

$$e_{hm} = \frac{M_{wd}}{N_{md}}$$

gdzie:

M_{wd} - moment zginający wywołany działaniem obciążeń poziomych w środkowej strefie ściany, z uwzględnieniem przyjętego schematu statycznego ściany (np. w modelu ramowym

$$M_{wd} = \frac{q_{Ewd} h_1^2}{16}, \text{ gdzie } q_{Ewd} \text{ jest wartością obciążenia poziomego).}$$



Rysunek 6. Momenty do obliczenia mimośródów

5. Wartość współczynnika redukcyjnego w przekroju środkowym ściany Φ_m można określić z zależności:

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

Parametry A_1 oraz u oblicza się z następujących wzorów:

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

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}}$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$

gdzie:

e_{mk} - całkowity mimośród w połowie wysokości ściany,

h_{ef} - efektywna wysokość ściany według PN-EN 1996-1-1 [N1],

t_{ef} - efektywna grubość ściany, którą w przypadku murów z elementów silikatowych (za wyjątkiem ściany szczelinowej) przyjąć można równą rzeczywistej grubości t ,

f_k - charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie,

E - moduł sprężystości muru.

Na wartość mimośrodu całkowitego w przekroju środkowym składają się: mimośród od działania obciążenia e_m oraz mimośród wywołany przez pełzanie e_k :

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

Mimośród od działania obciążenia, podobnie jak w przypadku przekrojów górnego i dolnego, jest sumą mimośrodu statycznego, mimośrodu początkowego e_{init} oraz mimośrodu od działania sił poziomych e_{hm} :

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

gdzie:

M_{md} - moment zginający wywołany działaniem obciążeń obliczeniowych w środkowej strefie ściany,

N_{md} - siła pionowa wywołana działaniem obciążeń obliczeniowych w połowie wysokości ściany, z uwzględnieniem każdego obciążenia przyłożonego do powierzchni licowej ściany.

Mimośród z uwagi na pełzanie oblicza się ze wzoru:

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

w którym:

Φ_∞ - końcowy współczynnik pełzania.

6. Wysokość efektywną ściany zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [N1] obliczać należy z zależności:

$$h_{ef} = p_n h$$

gdzie:

h - wysokość kondygnacji,

p_n - współczynnik redukcji, gdzie $n = 2, 3$ lub 4 , przyjmuje się w zależności od utwardzenia krawędzi lub usztywnienia ściany. Wartości p_n podano we wzorach (5.2 ÷ 5.9) zamieszczonych w normie PN-EN 1996-1-1 [N1] i w punkcie 4.2.2.4. normy PN-EN-1996-3 [N3] w zależności od sposobu podparcia ściany. Wartości współczynnika p_n różnią się w obu normach.

7. Obliczenie współczynników redukcyjnych nośności ϕ_i u góry i u dołu ściany lub ϕ_m w środku ściany wymaga zazwyczaj obliczenia mimośródów statycznych w przekrojach górnym, dolnym i środkowym, a te z kolei określa się na podstawie wartości momentów zginających występujących w tych przekrojach (zob. rys. 6). Większość metod obliczeniowych wymaga więc wyznaczenia momentów zginających w analizowanych przekrojach obliczanej ściany. Jedynie w metodach uproszczonych zamieszczonych w normie PN-EN 1996-3 [N3] oraz gdy w budynku zabudowane są stropy drewniane redukcyjne przyjmuje się lub oblicza bez konieczności wyliczania momentów i mimośródów. W pakiecie norm Eurokod 6 znaleźć można następujące metody określania współczynników redukcyjnych nośności:

- Poprzez obliczenie momentów zginających metodą dokładną według PN-EN 1996-1-1 [N1] i zastosowanie podanych wyżej ogólnych wzorów na mimośrod i współczynniki redukcyjne. Określenie momentów zginających metodą dokładną wymaga zbudowania modelu budynku z wykorzystaniem programów komputerowych bazujących na metodzie elementów skończonych.
- W sposób uproszczony według załącznika C PN-EN 1996-1-1 [N1], w którym wyodrębnić można następujące metody:
 - model ramowy, polegający na obliczeniu momentów zginających w przekroju górnym i dolnym ściany przy założeniu, że momenty w węzłach przystropowych rozkładają się proporcjonalnie do sztywności stropów i ścian. Moment w przekroju środkowym wyznacza się, zakładając liniowy przebieg wykresu między momentem górnym i dolnym. Po określeniu momentów zginających stosuje się ogólne wzory na mimośrod i współczynniki redukcyjne (jak w metodzie dokładnej),
 - model obliczeniowy stosowany, gdy strop jest oparty na części grubości ściany (np. występuje dodatkowe docieplenie wieńca). Momenty zginające w przekroju górnym i dolnym ściany oblicza się wówczas z gotowych wzorów zamieszczonych w załączniku C PN-EN 1996-1-1 [N1] i dalej stosuje się wzory ogólne do określenia mimośród i współczynników redukcyjnych,
 - model obliczeniowy stosowany w obiektach ze stropami drewnianymi oraz gdy mimośród statyczny obliczony na podstawie momentu zginającego z wszystkich powyższych metod jest większy od 0,45 grubości ściany. W takich wypadkach nie oblicza się już momentów, lecz przyjmuje się konkretną wartość mimośrodu.
- W sposób uproszczony według PN-EN 1996-3 [N3], polegający na bezpośrednim przyjęciu wartości współczynnika redukcyjnego. Norma podaje dwa warianty postępowania, uzależnione od geometrii i obciążeń konstrukcji. W wariantcie I (według załącznika A do [N3]) przyjmuje się wartość współczynnika redukcyjnego, natomiast w wariantcie II (według punktu 4.2. [N3]) oblicza się współczynnik redukcyjny w zależności od smukłości ściany.

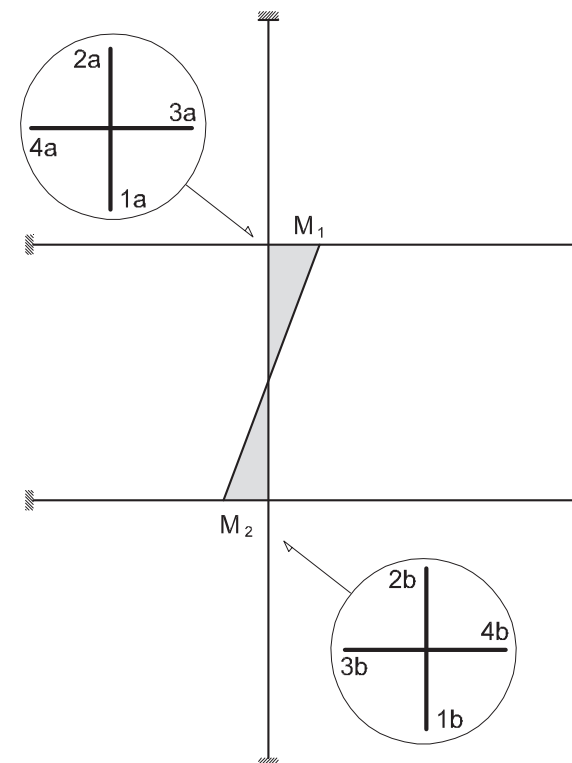
W zastosowaniach inżynierskich do określania współczynnika redukcyjnego nośności wykorzystuje się najczęściej metody uproszczone zamieszczone w normie PN-EN 1996-3 [N3] (gdy tylko warunki stosowania tych metod są spełnione) lub metody uproszczone podane w załączniku C do PN-EN 1996-1-1 [N1]. Poniżej opisane zostaną metody zamieszczone w załączniku C do normy PN-EN 1996-1-1 [N1] oraz metody uproszczone zamieszczone w normie PN-EN 1996-3 [N3]. Algorytmy sprawdzania nośności ścian obciążonych głównie pionowo na podstawie wszystkich metod zamieszczonych w pakiecie norm Eurokodu 6 znaleźć można w pracy [1]. W modelu ramowym według załącznika C do PN-EN 1996-1-1 [N1] określanie wartości momentów w górnym i dolnym przekroju ściany polega na rozłożeniu znanego momentu od stropu w węźle ściany – stropy proporcjonalnie do sztywności ścian i stropów schodzących się w tym węźle. W przypadku ściany, na rozłożeniu znanego momentu od stropu w węźle ściany – stropy proporcjonalnie do sztywności ścian i stropów schodzących się w tym węźle. W przypadku ściany, na której oparte są stropy z dwóch stron, moment w przekroju górnym wynosi:

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

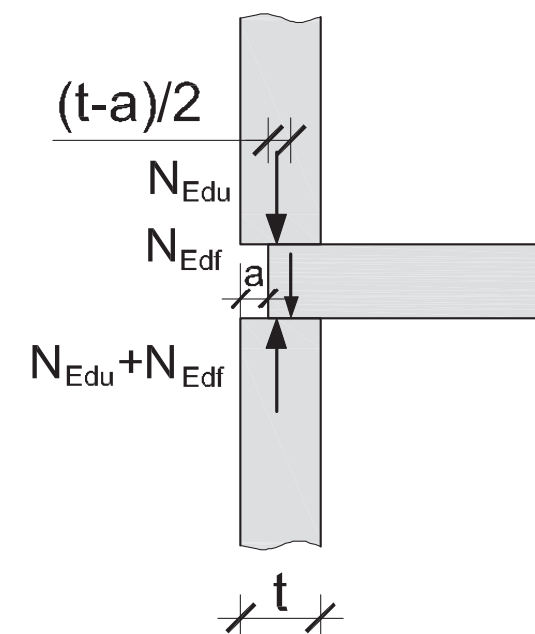
gdzie:

- n_i – współczynnik sztywności prętów przyjmowany równy 4 dla prętów utwierdzonych na obydwu końcach, w przeciwnym wypadku 3,
- $E_i I_i$ – sztywność pręta,
- h_i, I_i – odpowiednio wysokość i długość pręta liczone w świetle stropów lub ścian,
- w_i – równomiernie rozłożone całkowite obciążenie obliczeniowe stropu.

Z podobnego wzoru wyznacza się moment M_2 w węźle dolnym, zastępując w liczniku powyższego wzoru iloraz $E_1 I_1 / h_1$ ilorazem $E_2 I_2 / h_2$ (zgodnie z oznaczeniami na rys. 7). W przypadku analizowania nośności ściany zewnętrznej we wzorach pomija się składnik dotyczący sztywności jednego ze stropów i momentu z tego stropu (w nawiasie kwadratowym).



Rysunek 7. Oznaczenia przyjęte w modelu ramowym



Rysunek 8. Założenia przyjęte przy wyznaczaniu momentów, gdy całkowity mimośród jest większy od 0,45 grubości ściany lub gdy strop jest niepodparty wzdłuż całej grubości ściany.

W wypadku, gdy strop jest niepodparty wzdłuż całej grubości ściany, momenty u góry i u dołu wyznaczać można przy założeniu, że reakcja ze stropu w stosunku do osi ściany przyłożona jest w odległości równej połowie szerokości oparcia stropu na murze. Założenia przyjęte przy wyznaczaniu momentów w takich przypadkach ilustruje rys. 8. Momenty u góry i u dołu ściany określa się z zależności:

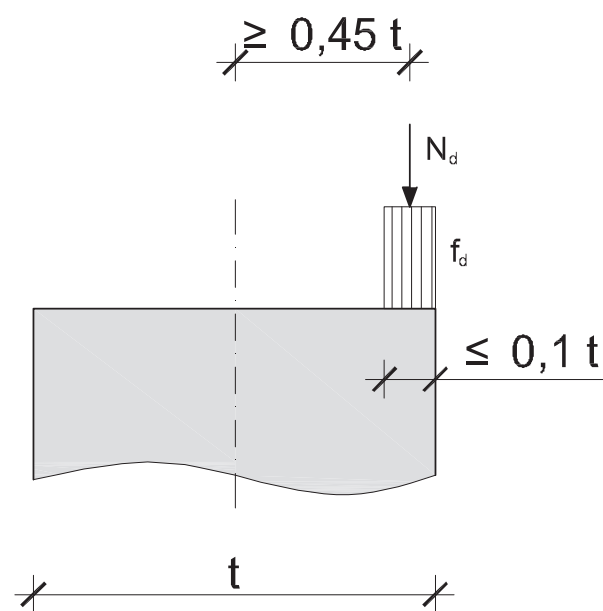
$$M_1 = M_{Edf} = N_{Edf} \cdot \frac{a}{2} + N_{Edu} \cdot \frac{(t+a)}{4}$$

$$M_2 = M_{Edu} = N_{Edu} \cdot \frac{(t-3a)}{4}$$

gdzie:

- N_{Edf} – obciążenie obliczeniowe od stropu,
- N_{Edu} – obciążenie obliczeniowe w ścianie wyższej kondygnacji,
- a – odległość od lica ściany do krawędzi stropu.

Gdy analiza obliczeniowa dotyczy **ścian, na których oparto stropy drewniane belkowe, oraz gdy obliczony mimośród jest większy niż 0,45 grubości ściany**, Załącznik C PN-EN 1996-1-1 [N1] zezwala uprościć obliczenia, przyjmując minimalną głębokość rozkładu naprężeń ściskających, odpowiednich dla obliczeniowej wytrzymałości materiału (rys. 9) i przyjmując mimośród nie większy niż 0,1 grubości ściany, licząc od warstwy licowej ściany.

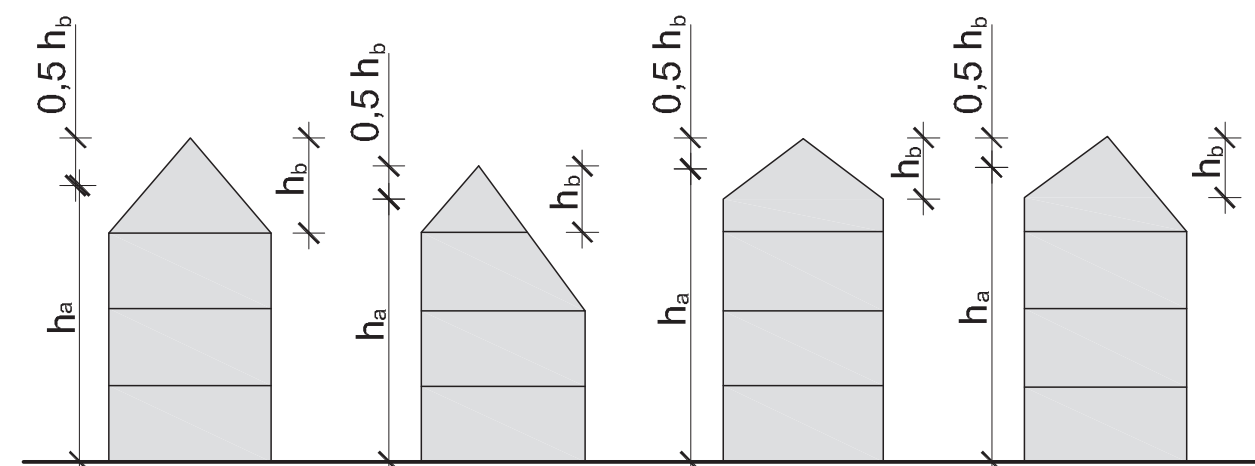


Rysunek 9. Założenie szerokości oparcia stropu 0,1 t i mimośrod 0,45 t w wypadku uzyskania z obliczeń modelu ramowego mimośrod większego niż 0,45 t oraz gdy w budynku występują stropy drewniane

Tablica 14. Wysokości graniczne budynków przy stosowaniu metody uproszczonej

Klasa	1	2 (A)	3 (B)
h_m	20 m	16 m	12 m

Oznaczenie klas w nawiasach wg załącznika krajowego



Rysunek 10. Określanie średniej wysokości budynku z dachem nachylonym

Wariant pierwszy metody uproszczonej zamieszczony w załączniku A normy PN-EN 1996-3 [N3] stosować można przy projektowaniu budynków, gdy spełnione są następujące warunki:

- wysokość budynku nie przekracza 3 kondygnacji nadziemnych,
- ściany są usztywnione prostopadle do ich powierzchni przez stropy i dach w kierunku poziomym pod kątem prostym do płaszczyzny ściany, ewentualnie przez same stropy i wieńce o odpowiedniej sztywności,
- stropy i dach są oparte na ścianie na co najmniej 2/3 jej grubości, a szerokość oparcia jest nie mniejsza niż 85 mm,
- wysokość kondygnacji w świetle nie przekracza 3,0 m,
- szerokość ściany stanowi co najmniej 1/3 jej wysokości,
- charakterystyczna wartość obciążenia zmiennego na stropach i dachu nie przekracza $5,0 \text{ kN/m}^2$,
- maksymalna rozpiętość stropów w świetle wynosi 6,0 m,
- maksymalna rozpiętość dachu w świetle wynosi 6,0 m, za wyjątkiem przypadku lekkich konstrukcji dachowych, gdzie rozpiętość nie przekracza 12,0 m,

$$C_A = 0,50 \text{ jeżeli } h_{ef}/t_{ef} \leq 18$$

$$C_A = 0,36 \text{ jeżeli } h_{ef}/t_{ef} > 18 \text{ i } \leq 21$$

Wariant drugi metody uproszczonej według PN-EN 1996-3 [N3] stosować można jedynie w wypadku spełnienia szeregu warunków podstawowych i dodatkowych. Poniżej podano 9 warunków podstawowych stosowania metody uproszczonej. Warunki dodatkowe dotyczą ścian stanowiących końcowe podparcie stropów (np. ścian zewnętrznych). Warunki podstawowe stosowania wariantu drugiego metody uproszczonej są następujące:

- Wysokość h projektowanego obiektu (lub w wypadku obiektu z dachem nachylonym jego zastępcza wysokość h_a według rys. 10) powinna być nie większa niż h_m podana w tablicy 14. Eurokod podaje 5 klas wykonawstwa konstrukcji murowych oznaczonych kolejnymi cyframi arabskimi. Metodę uproszczoną stosować można przy klasie wykonawstwa 1÷3 (tablica 14). Załączniki krajowe do norm PN-EN [N1] i PN-EN-3 [N3] definiują natomiast jedynie dwie klasy wykonawstwa A i B. Można przyjąć, że klasa 2 odpowiada klasie wykonawstwa A, natomiast klasa 3 klasie wykonawstwa B, które określone są w Załączniku Krajowym.

- Rozpiętość stropów podpartych przez obliczane ściany nie powinna przekraczać 7,0 m.
- Rozpiętość dachów podpartych przez obliczane ściany nie powinna przekraczać 7,0 m, z wyjątkiem przypadków dachów z lekkich elementów kratownicowych, gdzie rozpiętość nie powinna przekraczać 14,0 m.
- Wysokość kondygnacji w świetle nie powinna przekraczać 3,2 m, chyba że całkowita wysokość budynku jest większa niż 7,0 m, wtedy wysokość w świetle kondygnacji parteru może wynosić 4,0 m.
- Charakterystyczna wartość obciążenia zmiennego na stropie i dachu powinna być nie większa niż $5,0 \text{ kN/m}^2$.
- W kierunku poziomym ściany są usztywnione pod kątem prostym do płaszczyzny ściany, przez stropy i konstrukcję dachu, albo przez same stropy i dachy lub w inny odpowiedni sposób, na przykład przez wieńce o odpowiedniej sztywności zgodnie z PN-EN [N1].
- Ściany poszczególnych kondygnacji powinny znajdować się w jednej płaszczyźnie.
- Stropy i konstrukcja dachu opierają się na ścianie za pomocą wieńców o szerokości równej co najmniej 0,4 grubości ściany, lecz nie mniej niż 75 mm.
- Końcowa wartość współczynnika pełzania dla muru ϕ_∞ nie powinna być większa niż 2,0 ($\phi_\infty > 2,0$ może wg PN-EN [N1] wystąpić w murach z elementów betonowych na kruszywach lekkich).

Warunki dodatkowe stosowania wariantu II metody uproszczonej według PN-EN 1996-3 [N3], dotyczące ścian zewnętrznych są następujące:

- Rozpiętość stropów l , w świetle ścian powinna być nie mniejsza niż:
 - 7,0 m przy $N_{ed} \leq k_c \cdot t \cdot b \cdot f_d$ gdzie: k_c wynosi 0,2 dla grupy 1 elementów murowych oraz 0,1 dla grupy 2, 3 i 4 lub
 - w wypadku, gdy $f_d > 2,5 \text{ MPa}$ od mniejszej z wartości 4,5 + 10 t i 7,0 m (t w [m])

- w wypadku, gdy $f_d \leq 2,5 \text{ MPa}$ od mniejszej z wartości $4,5 + 10 t$ i $6,0 m$ (t w [m])
- Grubość ściany powinna spełniać warunek:

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

gdzie: c_1, c_2 – stałe z tablicy 4.1. normy PN-EN 1996-3 [N3] w zależności od współczynnika α , który wynosi:

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

Po spełnieniu warunków podstawowych i dodatkowych współczynnik redukcyjny nośności, oznaczony jako Φ_s oblicza się ze wzorów:

- **Dla ścian wewnętrznych:**

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

- **Dla ścian stanowiących końcowe podparcie stropów** (np. ściany zewnętrzne) należy przyjmować jako mniejszą z wartości uzyskanych ze wzoru powyższego oraz z zależności:

$$\Phi_s = 1,3 - \frac{l_{f,ef}}{8} \leq 0,85$$

- **Dla ścian najwyższej kondygnacji stanowiących skrajną podporę stropu lub dachu**, za wartość Φ_s zaleca się przyjmować jako mniejszą z wartości uzyskanych z obu powyższych wzorów, oraz:

$$\Phi_s = 0,4$$

8. Szczegółowe algorytmy projektowania ścian obciążonych głównie pionowo podano w pracy [1].

5.2. Ściany obciążone prostopadle do powierzchni

1. Zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [N1], w ścianach obciążonych prostopadle do powierzchni, moment zginający przyłożony do ściany murowanej M_{Ed} , nie może być większy od obliczeniowej nośności ściany na zginanie M_{Rd} :

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Obliczeniową nośność na zginanie M_{Rd} ściany obciążonej prostopadle do jej powierzchni, na jednostkę długości lub wysokości ściany, należy wyznaczać ze wzoru:

$$M_{Rd} = f_{xd} Z$$

gdzie f_{xd} jest obliczeniową wytrzymałością muru na zginanie, natomiast Z jest sprężystym wskaźnikiem zginania przekroju obliczanej ściany. Wytrzymałość f_{xd} w zależności od płaszczyzny oddziaływania momentu zginającego może

być obliczeniową wytrzymałością na zginanie, gdy do zniszczenia dochodzi w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych f_{xd1} lub wytrzymałością określaną przy założeniu płaszczyzny zniszczenia prostopadłej do spoin wspornych muru f_{xd2} . Kiedy uwzględnia się pozytywny wpływ naprężenia ściskającego, normalnego do płaszczyzny spoin wspornych, wówczas zamiast wartości f_{xd1} można w obliczeniach nośności na zginanie przyjąć obliczeniową, zastępczą wytrzymałość na zginanie $f_{xd1,app}$ ze wzoru:

$$f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d$$

w którym:

f_{xd1} - wytrzymałość obliczeniowa muru na zginanie w płaszczyźnie zniszczenia równoległej do spoin wspornych

σ_d - naprężenie ściskające od obciążeń obliczeniowych na górnej powierzchni ściany, o wartości nie większej niż $0,15 N_{Ed}$ w połowie jej wysokości.

Moment zginający w ścianie M_{Ed} obliczać należy, uwzględniając:

- obecność izolacji przeciwwilgociowej;
- warunki podparcia i ciągłości nad podporami.

Gdy ściana podparta jest wzdłuż 3 lub 4 krawędzi, zwartości momentów M_{Ed} przyjmować można z następujących wzorów:

- gdy płaszczyzna zniszczenia jest równoległa do spoin wspornych, tj. w kierunku f_{xk1} :

$$M_{Ed1} = \alpha_1 W_{Ed} l^2 \text{ na jednostkę długości ściany}$$

- gdy płaszczyzna zniszczenia jest prostopadła do spoin wspornych, tj. w kierunku f_{xk2} :

$$M_{Ed2} = \alpha_2 W_{Ed} l^2 \text{ na jednostkę długości ściany}$$

gdzie:

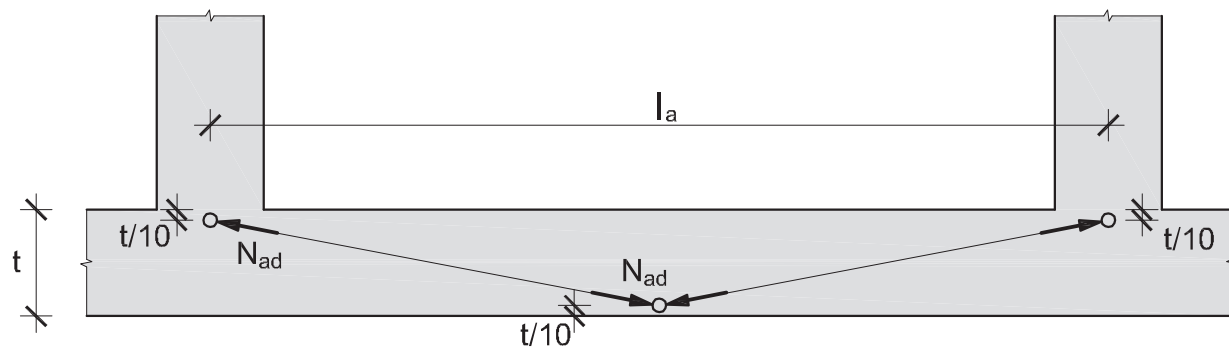
α_1, α_2 - współczynniki rozdziału momentu uwzględniające stopień utwierdzenia krawędzi ściany oraz stosunek wysokości do długości ściany.

Zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [N1] współczynniki te mogą być określone na podstawie odpowiedniej teorii. W załączniku E do normy [N1] zamieszczono tablice zawierające współczynniki rozdziału momentów w zależności od sposobu podparcia i geometrii analizowanej ściany. Tablice te dotyczą murów o grubości do 250 mm, mogą być więc stosowane w analizach wszystkich ścian nośnych wykonanych z boczaków SYSTEMU SILIKATY oraz ścian z cegieł silikatowych o grubości do 1 cegły.

l - długość ściany,

W_{Ed} - obciążenie obliczeniowe prostopadłe do płaszczyzny ściany na jednostkę powierzchni.

2. W analizach ścian obciążonych prostopadle do powierzchni, wykonanych z cegły, gdy grubość muru przekracza 25 cm, zaleca się stosowanie drugiego sposobu obliczeń dopuszczonego przez normę PN-EN 1996-1-1 [N1]. Przyjmuje się wtedy, że wewnątrz ściany wytworzy się przesklepienie łukowe zdolne do przejścia sił wewnętrznych wywołanych zginaniem ściany. Wymaga się wówczas, aby ściana murowana miała kontakt z elementami podporowymi, najlepiej na całej długości podpartej krawędzi. Efekt przesklepienia łukowego może wystąpić w sytuacji, kiedy rozpór łuku zostanie przejęty przez elementy podpierające ścianę, które będą blokowały możliwość swobodnego obrotu ściany na jej końcach. Dlatego w sytuacji, gdy między ścianą wypełniającą i elementami ramy występuje niewielka nawet szczelina, nośność łuku będzie mocno ograniczona. Obliczenia z uwzględnieniem kształtowania się łuku na grubości ściany należy prowadzić przy założeniu łuku trójkątowego, gdzie odległość punktów podparcia oraz wierzchołka łuku od powierzchni ściany przyjmuje się równą $t/10$, gdzie t jest grubością ściany, w której wykształcił się łuk – patrz rys. 11.



Rysunek 11. Efekt przesklepienia łukowego w ścianie murowanej wg PN-EN 1996-1-1 [N1]

Jeżeli w pobliżu linii rozparcia łuku występują wnęki lub bruzdy, wtedy należy uwzględnić wpływ ich obecności na nośność ściany. Rozpór łuku należy wyznaczać na podstawie znajomości obciążenia prostopadłego do powierzchni ściany, wytrzymałości muru na ściskanie, efektywności połączenia między ścianą i podporami, które przejmują rozpór łuku oraz sprężystym i długotrwałym odkształceniom wywołującym skrócenie ściany. Strzałkę łuku r należy obliczać ze wzoru:

$$r = 0,9t - d_a$$

gdzie t jest grubością ściany z uwzględnieniem jej redukcji z uwagi na występowanie wnęk lub bruzd, natomiast d_a to ugięcie łuku pod obciążeniem prostopadłym do powierzchni ściany, ugięcia można we wzorze nie uwzględniać, jeżeli stosunek długości lub wysokości ściany do jej grubości jest nie większy niż 25.

Maksymalny obliczeniowy rozpór łuku na jednostkę długości ściany N_{ad} można obliczać ze wzoru:

$$N_{ad} = 1,5f_d \frac{t}{10}$$

a gdy ugięcie ściany w kierunku prostopadłym do jej powierzchni jest małe, wówczas obliczeniową nośność z uwagi na obciążenie prostopadłe na jednostkę powierzchni wyznacza się z zależności:

$$q_{lat,d} = f_d \left(\frac{t}{l_a} \right)^2$$

w której f_d jest obliczeniową wytrzymałością muru na ściskanie w kierunku rozporu łuku, natomiast l_a to długość lub wysokość ściany między podporami zdolnymi do przeniesienia rozporu łuku.

Obliczeniowy rozpór łuku i nośność ściany na obciążenie prostopadłe do jej powierzchni można wyznaczać z powyższych wzorów pod warunkiem, że przez każdą warstwę o niskiej zdolności do przenoszenia naprężenia stycznego w postaci izolacji lub innej warstwy o małej nośności z uwagi na tarcie, mogą zostać przekazane odpowiednie siły poziome, obliczeniowe naprężenie od obciążeń pionowych ściany jest nie mniejsze niż $0,1 \text{ N/mm}^2$ oraz smukłość ściany w rozważanym kierunku nie przekracza 20.

3. W wypadku ścian szczelinowych, obliczeniowe obciążenie wiatrem na jednostkę powierzchni ściany W_{ed} można rozdzielić na obydwie warstwy ściany pod warunkiem, że kotwy lub inne łączniki znajdujące się między warstwami są w stanie przenieść obciążenia oddziaływujące na ścianę szczelinową. Rozdział obciążeń może być proporcjonalny do nośności na zginanie poszczególnych warstw lub ich sztywności. Gdy dokonuje się rozdziału obciążenia z uwagi na sztywność warstw ściany, wtedy każda warstwa powinna spełniać warunek stanu granicznego nośności z uwagi na część momentu M_{ed} określoną zgodnie z zasadą proporcjonalnego do sztywności rozdziału momentu

zginającego. Warto zauważyć, że obliczając kotwy łączące dwie warstwy ściany szczelinowej, oprócz obciążenia prostopadłego do powierzchni muru, należy brać pod uwagę siły wynikające z różnych odkształceń warstw ściany spowodowanych wpływami termicznymi, wilgotnościowymi oraz obciążeniem stałym i zmiennym o charakterze grawitacyjnym.

4. Jeżeli obliczana ściana jest osłabiona bruzdami lub wnękami o wymiarach większych niż na to zezwala norma, podając ich wartości graniczne w rozdziale dotyczącym wymagań konstrukcyjnych, wtedy osłabienie przekroju powinno zostać wzięte pod uwagę przy określaniu nośności przez redukcję grubości ściany w miejscu występowania bruzdy lub wnęki.

5. Szczegółowe algorytmy projektowania ścian obciążonych prostopadle do płaszczyzny podano w pracy [2].

5.3. Ściany ścinane

1. W stanie granicznym nośności, obciążenie obliczeniowe ścinające działające na ścianę murową V_{ed} nie powinno być większe od nośności obliczeniowej na ścinanie ściany V_{rd} :

$$V_{ed} \leq V_{rd}$$

2. Nośność obliczeniowa na ścinanie określona jest wzorem

$$V_{rd} = f_{vd} t l_c$$

gdzie:

- f_{vd} - wytrzymałość obliczeniowa muru na ścinanie, otrzymana z 2.4.1. i 3.6.2. dla średnich naprężeń pionowych nad ściskaną częścią ściany, dla której ustalana jest nośność na ścinanie,
- t - grubość ściany przenoszącej ścinanie,
- l_c - długość ściskanej części ściany, z pominięciem rozciąganej części ściany.

3. Długość ściskanej części ściany l_c należy obliczać, przyjmując liniowy rozkład naprężeń ściskających oraz uwzględniając wszystkie otwory, bruzdy i wnęki. Przy ustalaniu przekroju ściany, dla którego obliczana jest nośność na ścinanie, nie należy brać pod uwagę części ściany poddanej rozciąganiu.

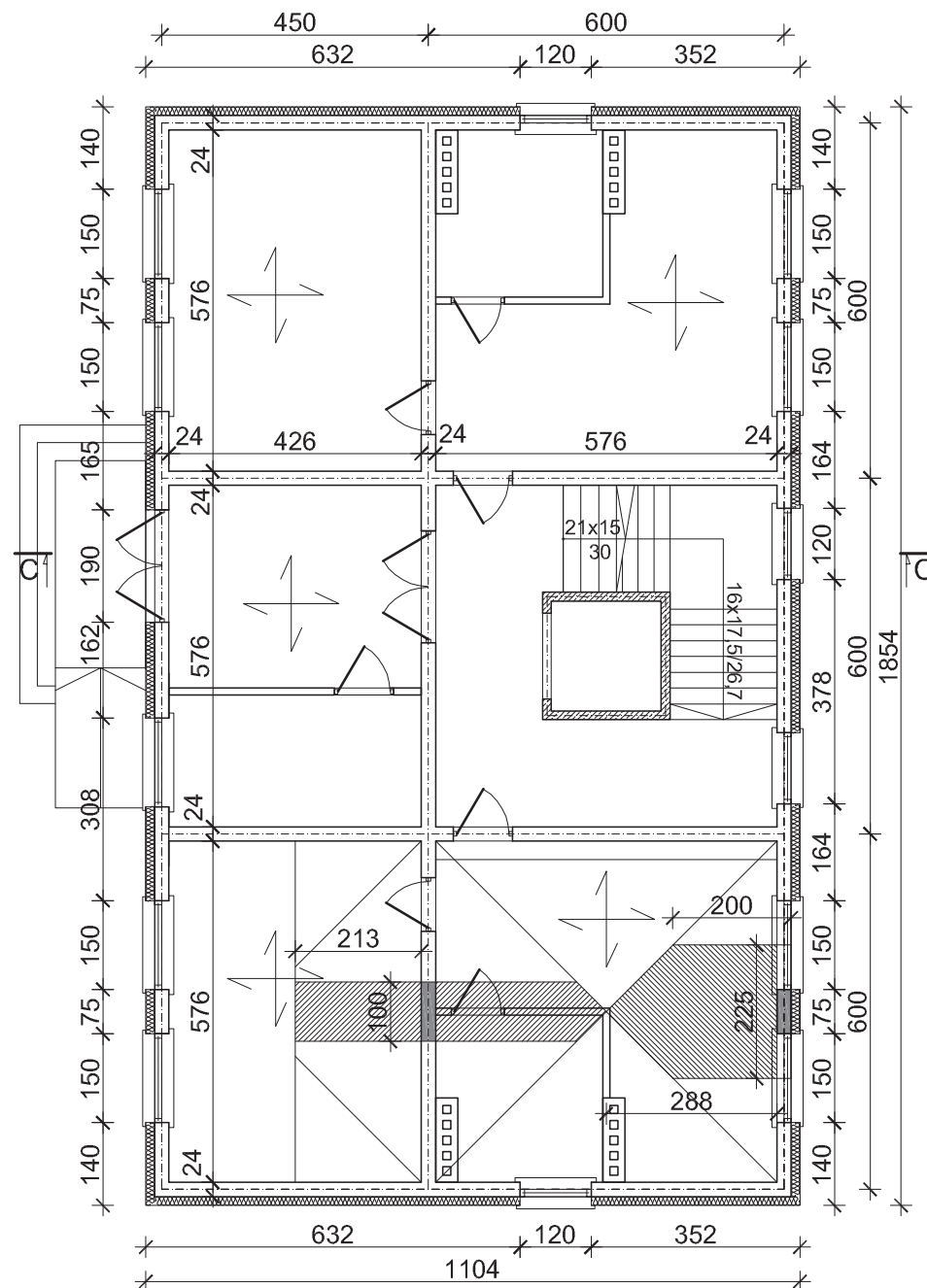
4. Szczegółowe algorytmy projektowania ścian ścinanych podano w pracy [2].

6. Przykłady obliczeniowe

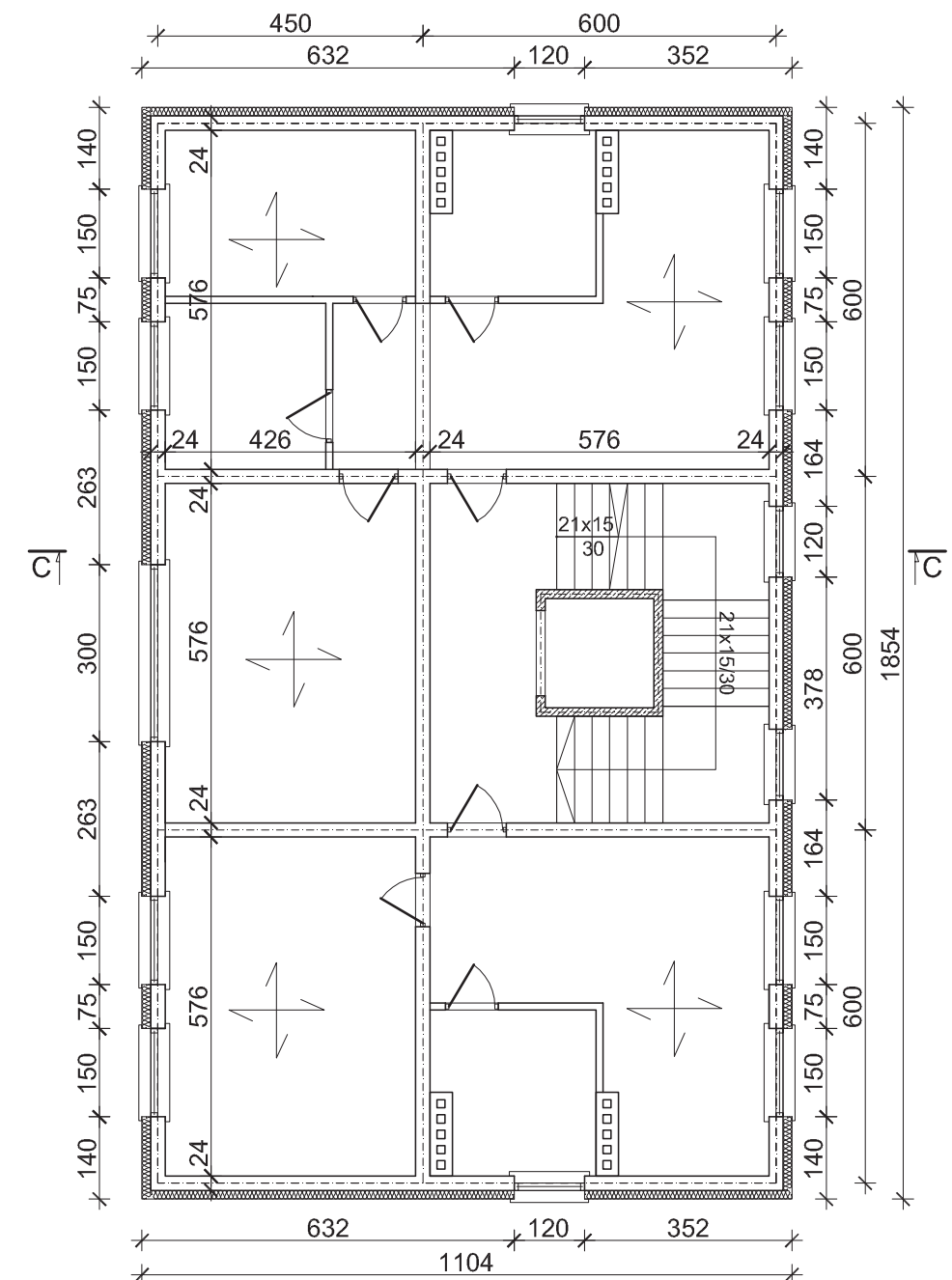
6.1. Obliczany budynek

Prezentowane obliczenia dotyczą wybranych elementów budynku mieszkalnego wielorodzinnego z pięcioma kondygnacjami nadziemnymi, podpiwniczonego. Budynek zaprojektowano w technologii tradycyjnej z murowanymi ścianami i monolitycznymi żelbetowymi stropami. Ściany części nadziemnej budynku zaprojektowano z pustaków NP24 na systemowej zaprawie cienkowarstwowej.

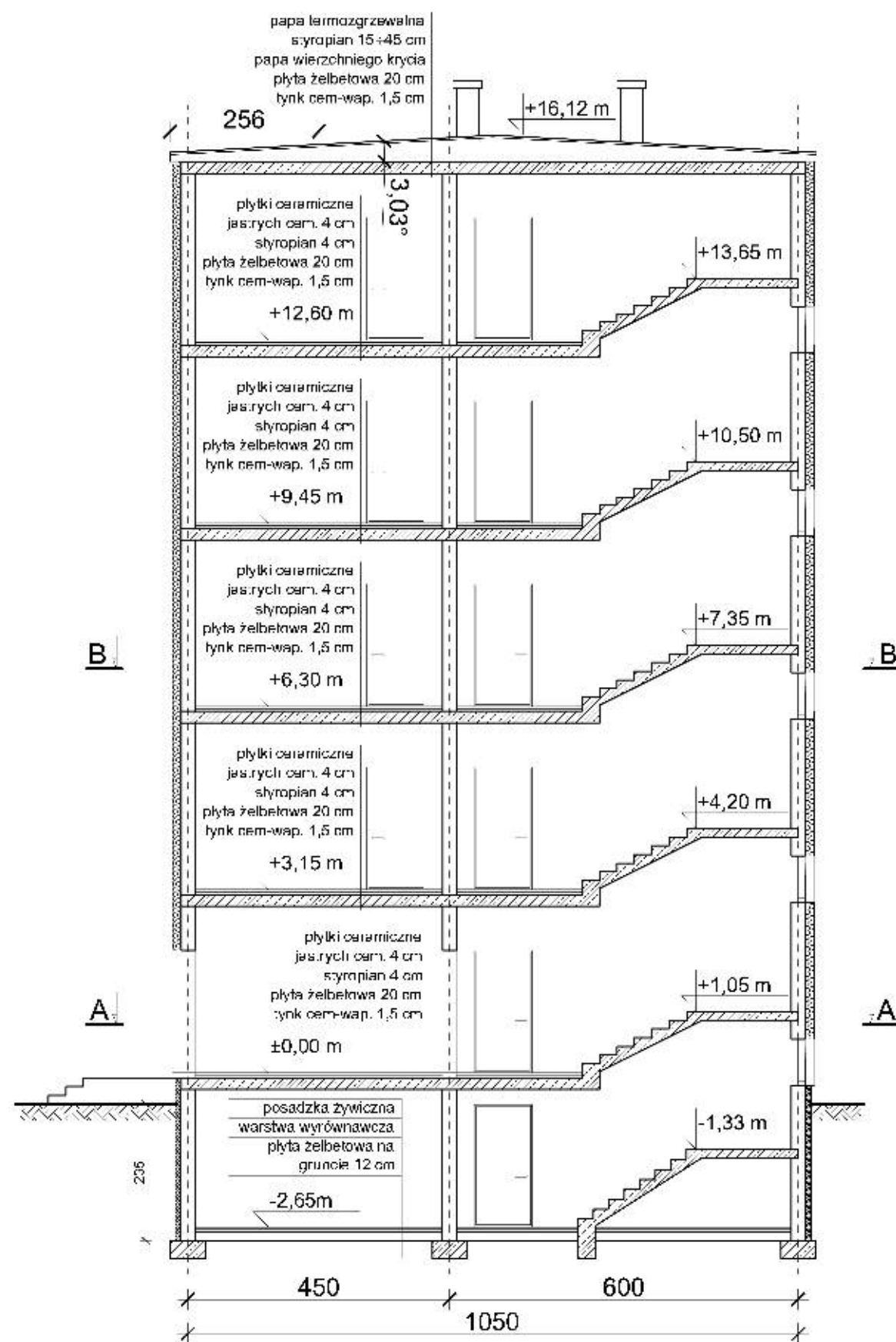
Ściany piwnic zaprojektowano z bloczków F25 na zaprawie zwykłej, cementowo-wapiennej odmiany F według PN-EN 1996-1-1 [N1]. Ściany zewnętrzne kondygnacji nadziemnych zaprojektowano jako ocieplone styropianem grubości 15 cm, a ściany piwnic grubości 10 cm. Budynek projektuje się w Warszawie. Rzuty kondygnacji parteru i kondygnacji powtarzalnej pokazano na rys. 12 i 13, natomiast przekrój poprzeczny budynku pokazano na rys. 14. Na rzucie parteru zaznaczono obliczane fragmenty ścian.



Rysunek 12. Rzut parteru (przekrój A-A z rys. 14)



Rysunek 13. Rzut kondygnacji powtarzalnej (przekrój B-B z rys. 14)



Rysunek 14. Przekrój poprzeczny (przekrój C-C z rys. 12 i 13)

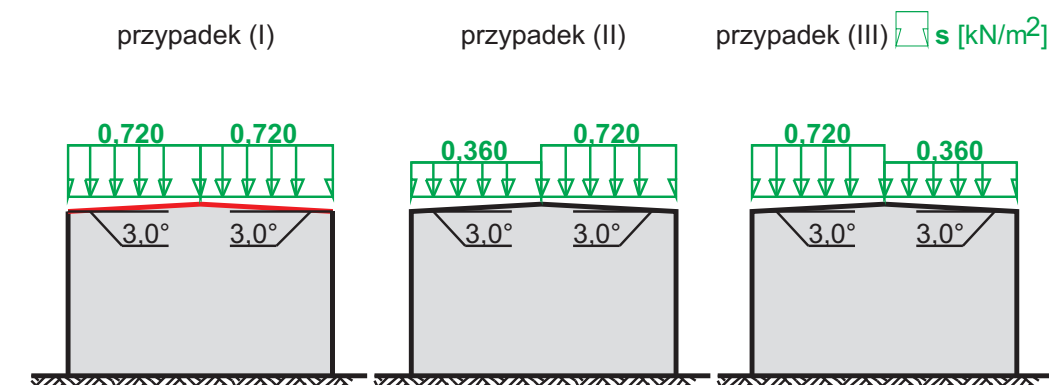
6.2. Wewnętrzna ściana parteru obciążona głównie pionowo

6.2.1. Przyjęty sposób obliczeń

Ścianę sprawdza się obliczeniowo modelem ramowym (według zaleceń załącznika C do PN-EN 1996-1-1 [N1]). Zastosowano algorytm sprawdzania nośności zamieszczony w pracy [1] i przyjęto proponowane tam oznaczenia. Zestawienia obciążeń wykonano przy pomocy Kalkulatora Oddziaływań Normowych EN z pakietu programów Specbud.

6.2.2. Reakcja z dachu na ścianę

Obciążenie śniegiem wg PN-EN 1991-1-3 [N21]/ Dachy dwupołaciowe (p.5.3.3.)



Połącze dachu obciążonego równomiernie – przypadek (I):

- Dach dwupołaciowy
- Obciążenie charakterystyczne śniegiem gruntu (wg Załącznika Krajowego NA):
 - strefa obciążenia śniegiem 2 $\rightarrow s_k = 0,9 \text{ kN/m}^2$
- Warunki lokalizacyjne: normalne, przypadek A (brak wyjątkowych opadów i brak wyjątkowych zamieci)
- Sytuacja obliczeniowa: trwała lub przejściowa
- Współczynnik ekspozycji:
 - teren normalny $\rightarrow C_e = 1,0$
- Współczynnik termiczny $\rightarrow C_t = 1,0$
- Współczynnik kształtu dachu:
 - nachylenie połaci $\alpha = 3,0^\circ$
 - $\mu_1 = 0,8$

Obciążenie charakterystyczne:

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,900 = 0,720 \text{ kN/m}^2$$

Obciążenie wiatrem wg PN-EN 1991-1-4 [N22]/ Dachy dwuspadowe (p. 7.2.5.)

Ponieważ kąt nachylenia dachu jest mniejszy niż 5°, nie uwzględnia się obciążenia wiatrem dachu.

Obciążenia stałe wg PN-EN 1991-1-1 [N18]

Tablica 15. Obciążenia stałe zgodnie z PN-EN 1991-1 [N18]		
Lp.	Opis oddziaływania	Wartość char. [kN/m²]
1.	Papa termozgrzewalna, dwie warstwy, ciężar uzyskany od producenta	0,10
2.	Polistyren (ekspandowany, granulowany) gr. 37,5 cm [0,300 kN/m³•0,375 m]	0,11
3.	Papa zgrzewana wierzchniego krycia, ciężar uzyskany od producenta	0,10
4.	Beton ciężki przy zwykłym procencie zbrojenia i stali sprężającej gr. 20 cm [25,000 kN/m³•0,20 m]	5,00
5.	Zaprawa wapienno-cementowa gr. 1,5 cm [20,000 kN/m³•0,015 m]	0,30
Σ:		5,61

Obciążenie użytkowe wg PN-EN 1991-1-1 [N24] / Obciążenia użytkowe powierzchni stropów i dachów (p. 6.3.)
Równomiernie rozłożone obciążenie użytkowe – powierzchnia kategorii H (dach bez dostępu, z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw). Przyjęto obciążenie użytkowe równe 0,4 kN/m².

Reakcje z dachu na analizowany fragment ściany od oddziaływań stałych i zmiennych (wartości charakterystyczne).
Szerokość pasma, z którego zbiera się obciążenia, wynosi 1,0 m, a rozpiętość dachu, z której obciążenia przekazują się na ścianę: 5,25 m.

Oddziaływania stałe:
 $N_{Gk,u,1} = 5,61 \cdot 5,25 \cdot 1,0 / \cos 3^\circ = 29,5 \text{ kN}$

Oddziaływania zmienne:
Śnieg:
 $N_{Qk,u,2} = 0,72 \cdot 1,0 \cdot 5,25 = 3,78 \text{ kN}$
Użytkowe:
 $N_{Qk,u,3} = 0,4 \cdot 5,25 \cdot 1,0 / \cos 3^\circ = 2,10 \text{ kN}$

6.2.3. Ciężar ścian zabudowanych powyżej analizowanej ściany

Tablica 16. Obciążenia stałe od ciężaru ścian		
Lp.	Opis oddziaływania	Wartość char. [kN/m²]
1.	Zaprawa wapienno-cementowa gr. 3 cm [20,000 kN/m³•0,03 m]	0,60
2.	Elementy murowe wapienno-silikatowe w stanie suchym klasy gęstości 1,6 gr. 24 cm [16,000 kN/m³•0,24 m]	3,84
Σ:		4,44

Całkowita wysokość ścian nad ścianą analizowaną: 4•2,9 = 11,6 m

Oddziaływanie ciężarem ścian w kN (wartość charakterystyczna)
Ciężar ścian zabudowanych powyżej analizowanej ściany (obciążenie stałe):
 $N_{Gk,u,2} = 4,44 \cdot 11,6 + 25 \cdot 0,24 \cdot 0,2 \cdot 5 = 57,5 \text{ kN}$
Ciężar analizowanej ściany (obciążenie stałe):
 $N_{Gk} = 4,44 \cdot 2,95 = 13,1 \text{ kN}$

6.2.4. Ciężar stropu kondygnacji mieszkalnej

Pole powierzchni stropu, z którego zbiera się obciążenie, wynosi 5,60 m². Zestawienie charakterystycznych ciężarów konstrukcji i wykończenia stropu zamieszczono w tablicy 17.

Tablica 17. Charakterystyczny ciężar 1 m² konstrukcji i wykończenia stropu		
Lp.	Opis oddziaływania	Wartość char. [kN/m²]
1.	Elementy murowe z terakoty gr. 0,8 cm [21,000 kN/m³•0,008 m]	0,17
2.	Zaprawa cementowa gr. 0,5 cm [23,000 kN/m³•0,005 m]	0,12
3.	Zaprawa cementowa gr. 4 cm [23,000 kN/m³•0,04 m]	0,92
4.	Polistyren (ekspandowany, granulowany) gr. 4 cm [0,300 kN/m³•0,04 m]	0,01
5.	Beton zwykły przy zwykłym procencie zbrojenia i stali sprężającej gr. 20 cm [25,000 kN/m³•0,20 m]	5,00
6.	Zaprawa wapienno-cementowa gr. 1,5 cm [21,000 kN/m³•0,015 m]	0,32
Σ:		6,54

Obciążenie użytkowe wg PN-EN 1991-1-1 [N18] / Obciążenia użytkowe powierzchni stropów i dachów (p. 6.3.)
Równomiernie rozłożone obciążenie użytkowe – powierzchnia kategorii A (mieszkalna)
- Stropy → od 1,5 do 2,0 kN/m², zalecane 2,0 kN/m².
Przyjęto obciążenie użytkowe mieszkań równe 2,0 kN/m².

Oddziaływanie od pojedynczego stropu w kN na ścianę (wartość charakterystyczna)

Oddziaływania stałe
 $N_{Gk,u,3} = 6,54 \cdot 5,6 = 36,6 \text{ kN}$
Oddziaływania zmienne:
 $N_{Qk,u,1} = 2,0 \cdot 5,6 = 11,2 \text{ kN}$

6.2.5. Kombinacje oddziaływań

Charakterystyczny ciężar analizowanej ściany:

$$N_{Gk} = 13,1 \text{ kN}$$

Charakterystyczne obciążenie stałe działające powyżej analizowanej ściany:

$$N_{Gk,u} = N_{Gk,u,1} + N_{Gk,u,2} + 4 \cdot N_{Gk,u,3} = 233,4 \text{ kN}$$

Charakterystyczne obciążenie zmienne wiodące lub główne powyżej analizowanej ściany:

$$N_{Qk,u,1} = 4 \cdot 11,2 = 44,8 \text{ kN}$$

Charakterystyczne obciążenie śniegiem:

$$N_{Qk,u,2} = 3,8 \text{ kN}$$

Charakterystyczne obciążenie zmienne użytkowe z dachu:

$$N_{Qk,u,3} = 2,1 \text{ kN}$$

Przyjęto trwałą sytuację obliczeniową zgodnie z normą PN-EN 1990 [N20]. Przyjęto sprawdzać stan graniczny STR. Z tablicy A1.2(B) PN-EN 1990 [N20]. Przyjęto kombinację jako mniej korzystną wartość z dwóch określonych wzorami (6.10a i 6.10b).

Przyjęto następujące wartości współczynników częściowych, współczynnika redukcyjnego i wartości kombinacyjnych:

$$\gamma_{G,j} = 1,35 \quad \xi = 0,85$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5 \quad \psi_{0,1} = 0,7$$

$$\gamma_{Q,2} = 1,5 \quad \psi_{0,2} = 0,7$$

$$\gamma_{Q,3} = 1,5 \quad \psi_{0,3} = 0,0$$

$$N_{1,Ed} = \max \left\{ \begin{aligned} (6.10a) &\Rightarrow \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,\mu} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} = 366,1 \\ (6.10b) &\Rightarrow \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,\mu} + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,\mu,i} = 339,0 \end{aligned} \right\}$$

$$N_{2,Ed} = \max \left\{ \begin{aligned} (6.10a) &\Rightarrow \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,\mu,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,\mu,i} = 383,8 \\ (6.10b) &\Rightarrow \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,\mu,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,\mu,i} = 354,1 \end{aligned} \right\}$$

$$N_{m,Ed} = \max \left\{ \begin{aligned} (6.10a) &\Rightarrow \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + 0,5 \cdot N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,\mu,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,\mu,i} = 375,0 \\ (6.10b) &\Rightarrow \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + 0,5 \cdot N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,\mu,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,\mu,i} = 346,5 \end{aligned} \right\}$$

Do obliczeń przyjęto ostatecznie:

$$N_{1,Ed} = 366,1 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 383,8 \text{ kN}$$

$$N_{m,Ed} = 375,0 \text{ kN}$$

6.2.6. Sprawdzenie nośności ściany

Określenie efektywnej wysokości ściany

Za punktem 5.5.1.2. PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto współczynnik redukcji $\rho_2 = 0,75$

$$h_{ef} = h \cdot \rho_2 = 2,21 \text{ m}$$

Określenie efektywnej grubości ściany

Za punktem 5.5.1.3. PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto:

$$t_{ef} = t = 0,25 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunku smukłości ściany

$$h_{ef} / t_{ef} = 8,84 < 27 - \text{warunek spełniony}$$

Wyznaczenie charakterystycznej wytrzymałości muru

Z tablicy NA.5 Załącznika Krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto:

$$K = 0,6$$

Na podstawie punktu NA.3 Załącznika Krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1]:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} = 7,65 \text{ N/mm}^2$$

Określenie modułu sprężystości muru

Na podstawie punktu NA.6 Załącznika Krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto współczynnik $K_E = 1000$,

$$E = K_E \cdot f_k = 7650 \text{ N/mm}^2$$

Określenie wytrzymałości obliczeniowej muru

Przyjęto klasę A wykonania robót i zaprawę projektowaną. Z tablicy NA.1 PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto współczynnik częściowy dla właściwości materiału $\gamma_m = 1,7$.

$$f_d = f_k / \gamma_m = 4,5 \text{ N/mm}^2$$

Wyznaczenie momentu bezwładności stropów i ścian

Szerokość ściany obliczanej $b = 1,0 \text{ m}$

Szerokość pasma, z którego zbierano obciążenia na ścianę $c = 1,0 \text{ m}$

Moment bezwładności ścian kondygnacji nadziemnej:

$$I_{sc,1} = \frac{b \cdot t^3}{12} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{sc,2} = \frac{b \cdot t^3}{12} = 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{st,1} = I_{st,2} = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,666 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Wyznaczenie momentów w górnym i dolnym przekroju

Stropy zaprojektowano z betonu klasy C20/25, na podstawie normy PN-EN 1992-1-1 [N14] przyjęto moduł sieciowy sprężystości betonu $E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2$.

Przekrój górny 1-1

Zgodnie z oznaczeniami przyjętymi na rys. C1 PN-EN [N1] przyjęto:

$$E_{1a} = E = 7650 \text{ N/mm}^2, l_{1a} = l_{sc,1} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{1a} = h = 2,95 \text{ m}$$

$$E_{2a} = E = 7650 \text{ N/mm}^2, l_{2a} = l_{sc,1} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{2a} = 2,6 \text{ m}$$

$$E_{3a} = E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2, l_{3a} = l_{st,1} = 0,666 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, l_{3a} = l = 4,26 \text{ m}$$

$$E_{4a} = E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2, l_{4a} = l_{st,2} = 0,666 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, l_{4a} = l = 5,76 \text{ m}$$

Współczynniki sztywności prętów przyjęto równe $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 4$

$$k_{m,1} = \frac{n_3 \frac{E_{3a} \cdot I_{3a}}{l_{3a}} + n_4 \frac{E_{4a} \cdot I_{4a}}{l_{4a}}}{n_1 \frac{E_{1a} \cdot I_{1a}}{h_{1a}} + n_2 \frac{E_{2a} \cdot I_{2a}}{h_{2a}}} = 1,20 \leq 2$$

Współczynnik podatności węzła nr1: $\eta_1 = (1 - k_{m,1}/4) = 0,70$

Obliczeniowe obciążenie stropu:

$$w_3 = w_4 = (1,35 \cdot 6,54 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 2,0) \cdot 1,0 = 10,93 \text{ kN/m}$$

Moment w przekroju pod stropem górnej kondygnacji (pod węzłem nr 1):

$$M_{1d} = \frac{\frac{n_1 \cdot E_{1a} \cdot I_{1a}}{h_{1a}}}{\frac{n_1 \cdot E_{1a} \cdot I_{1a}}{h_{1a}} + \frac{n_2 \cdot E_{2a} \cdot I_{2a}}{h_{2a}} + \frac{n_3 \cdot E_{3a} \cdot I_{3a}}{l_{3a}} + \frac{n_4 \cdot E_{4a} \cdot I_{4a}}{l_{4a}}} \left[\frac{w_4 \cdot l_{4a}^2}{4(n_4 - 1)} - \frac{w_3 \cdot l_{3a}^2}{3(n_3 - 1)} \right] \cdot \eta_1 = 1,91 \text{ kNm}$$

Przekrój dolny 2-2

Zgodnie z oznaczeniami przyjętymi na rys. C1 PN-EN [N32] przyjęto:

$$E_{1b} = E_{cm,2} = 7650 \text{ N/mm}^2, l_{1b} = l_{sc,2} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{1b} = 2,6 \text{ m}$$

$$E_{2b} = E = 7650 \text{ N/mm}^2, l_{2b} = l_{sc,1} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{2b} = h = 2,9 \text{ m}$$

$$E_{3b} = E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2, l_{3b} = l_{st,1} = 0,666 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, l_{3b} = l = 4,26 \text{ m}$$

$$E_{4b} = E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2, l_{4b} = l_{st,2} = 0,666 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, l_{4b} = l = 5,76 \text{ m}$$

Współczynniki sztywności prętów przyjęto równe

$$n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 4$$

$$k_{m,2} = \frac{n_3 \frac{E_{3b} \cdot I_{3b}}{l_{3b}} + n_4 \frac{E_{4b} \cdot I_{4b}}{l_{4b}}}{n_1 \frac{E_{1b} \cdot I_{1b}}{l_{1b}} + n_2 \frac{E_{2b} \cdot I_{2b}}{l_{2b}}} = 1,19 \leq 2$$

Współczynnik podatności węzła nr 1: $\eta_2 = (1 - k_{m,2}/4) = 0,70$

Moment w przekroju pod stropem górnej kondygnacji (nad węzłem nr 2):

$$M_{2d} = \frac{\frac{n_2 \cdot E_{2b} \cdot I_{2b}}{h_{2b}}}{\frac{n_1 \cdot E_{1b} \cdot I_{1b}}{h_{1b}} + \frac{n_2 \cdot E_{2b} \cdot I_{2b}}{h_{2b}} + \frac{n_3 \cdot E_{3b} \cdot I_{3b}}{l_{3b}} + \frac{n_4 \cdot E_{4b} \cdot I_{4b}}{l_{4b}}} \left[\frac{w_4 \cdot l_{4b}^2}{4(n_4 - 1)} - \frac{w_3 \cdot l_{3b}^2}{3(n_3 - 1)} \right] \cdot \eta_2 = 1,89 \text{ kNm}$$

Wyznaczenie momentów w przekroju środkowym

$$M_{md} = \frac{M_{1d} - M_{2d}}{2} = -0,005 \text{ kNm}$$

Określenie wartości mimośrodów e, pod i nad stropem

mimośród początkowy (niezamierzony):

$$e_{init} = h_{ef}/450 = 0,0049 \text{ m}$$

mimośród od obciążenia poziomego (wiatrem):

$$M_{wd} = 0,0 \text{ kNm}$$

$$e_{he,1} = \frac{M_{wd}}{N_{1d}} = 0,0 \text{ m}$$

$$e_{he,2} = \frac{M_{wd}}{N_{2d}} = 0,0 \text{ m}$$

mimośród na górze lub dole ścian:

$$e_1 = \frac{M_{1d}}{N_{1d}} + e_{he,1} + e_{init} = 0,010 \quad m < 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}, \quad \text{przyjęto } e_1 = 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he,2} + e_{init} = 0,010 \quad m < 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}, \quad \text{przyjęto } e_2 = 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}$$

Określenie wartości mimośrodów e_m w środku wysokości ściany

mimośród od obciążenia poziomego (np. wiatru):

$$e_{hm} = \frac{M_{wd}}{N_{md}} = 0,0 \text{ m}$$

Określenie wartości mimośródów e_m w środku wysokości ściany

mimośród od obciążenia poziomego (np. wiatru):

$$e_{hm} = \frac{M_{wd}}{N_{md}} = 0,0 \text{ m}$$

Całkowity mimośród od obciążenia:

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} \pm e_{init} = 0,0049 \text{ m}$$

mimośród z uwagi na pełzanie:

Za punktem 3.7.4. PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto $\phi_\infty = 1,5$

$$e_k = 0,002 \cdot \phi_\infty \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t \cdot e_m} = 0,0001 \text{ m}$$

mimośród w środku wysokości ściany:

$$e_{mk} = e_m + e_k = 0,005 \quad m < 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}$$

przyjęto $e_{mk} = 0,012 \text{ m}$

Wyznaczenie współczynników redukcyjnych w przekrojach 1-1 i 2-2

$$\Phi_1 = 1 - 2 \frac{e_1}{t} = 0,9$$

$$\Phi_2 = 1 - 2 \frac{e_2}{t} = 0,9$$

Wyznaczenie współczynnika redukcyjnego w przekroju środkowym

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 0,9$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = 0,29$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = 0,34$$

$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} = 0,95$$

Pole powierzchni analizowanej ściany

$$A = b \cdot t = 0,24 \text{ m}^2$$

Współczynnik redukcyjny

$\eta_A = 1,0$ (odcinek ściany jest dłuższy niż analizowany fragment ściany o długości 1,0 m)

Sprawdzenie obliczeniowej nośności analizowanej ściany w strefie środkowej oraz pod i nad stropem

$$N_{1R,d} = \Phi_1 \cdot A \cdot f_d / \eta_A = 972 \text{ kN} \geq N_{1,Ed} = 366,1 \text{ kN}$$

$$N_{2R,d} = \Phi_2 \cdot A \cdot f_d / \eta_A = 972 \text{ kN} \geq N_{2,Ed} = 383,8 \text{ kN}$$

$$N_{mR,d} = \Phi_m \cdot A \cdot f_d / \eta_A = 1026 \text{ kN} \geq N_{m,Ed} = 375,0 \text{ kN}$$

Warunek spełniony. Wytyężenie ściany w przekroju 1-1: ok. 38%, w przekroju 2-2: ok. 40%, a w przekroju m-m: ok. 37%.

6.3. Zewnętrzna ściana parteru obciążona głównie pionowo

6.3.1. Przyjęty sposób obliczeń

Ścianę sprawdza się obliczeniowo modelem ramowym (według zaleceń załącznika C do PN-EN 1996-1-1 [N1]). Zastosowano algorytm sprawdzania nośności zamieszczony w pracy [1] i przyjęto proponowane tam oznaczenia. Zestawienia obciążeń wykonano przy pomocy Kalkulatora Oddziaływań Normowych EN z pakietu programów Specbud.

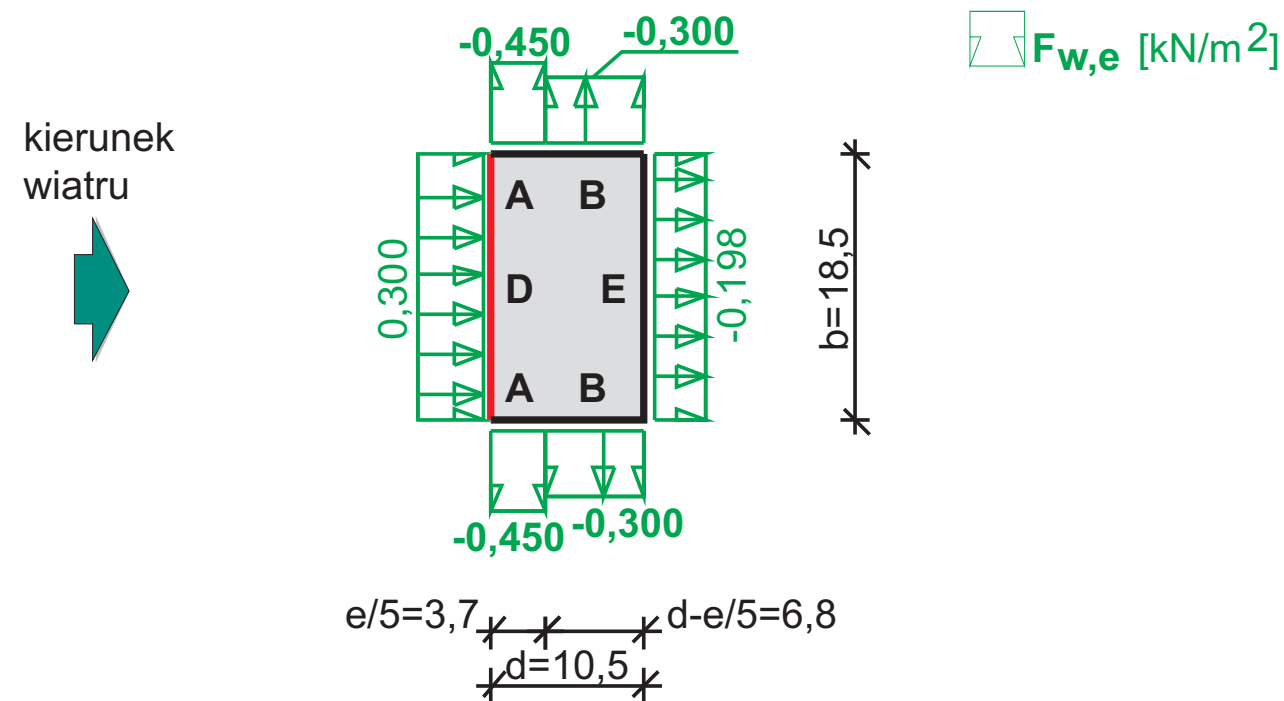
6.3.2. Reakcja z dachu na ścianę

Obciążenie śniegiem wg PN-EN 1991-1-3 [N21]/ Dachy dwupołaciowe (p. 5.3.3.)

Jak w punkcie 6.3.1.

Obciążenie wiatrem wg PN-EN 1991-1-4 [N22]/ Dachy dwuspadowe (p. 7.2.5.)

Oddziaływanie wiatru na dach jak w punkcie 6.3.1.



Elewacja nawietrzna – pole D:

- Budynek o wymiarach: d = 10,5 m, b = 18,5 m, h = 16,1 m
- Wymiar e = min (b,2•h) = 18,5 m
- Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru (wg Załącznika Krajowego NA [N22]):
 - strefa obciążenia wiatrem 1; A = 110 m n.p.m. → v_{b,0} = 22 m/s
- Współczynnik kierunkowy: c_{dir} = 1,0
- Współczynnik sezonowy: c_{season} = 1,00
- Bazowa prędkość wiatru: v_b = c_{dir}•c_{season}•v_{b,0} = 22,00 m/s
- Wysokość odniesienia: z_e = h-h_{dis} = 15,10 m
- Kategoria terenu IV → współczynnik chropowatości: c_r(z_e) = 0,6•(15,1/10)^{0,24} = 0,66 (wg Załącznika Krajowego NA.6 [N22])
- Współczynnik rzeźby terenu (orografii): c_o(z_e) = 1,00
- Średnia prędkość wiatru:
 - v_m(z_e) = c_r(z_e)•c_o(z_e)•v_b = 14,57 m/s
- Intensywność turbulencji: I_v(z_e) = 0,368
- Gęstość powietrza: ρ = 1,25 kg/m³
- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości:
 - q_p(z_e) = [1+7•I_v(z_e)]•(1/2)•ρ•v_m²(z_e) = 474,9 Pa = 0,475 kPa
- Współczynnik konstrukcyjny: c_sc_d = 0,790
- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego:
 - c_{pe} = c_{pe,10} = +0,800

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,790 \cdot 0,475 \cdot 0,800 = 0,300 \text{ kN/m}^2$

Elewacja zawietrzna – pole E:

- Budynek o wymiarach: d = 10,5 m, b = 18,5 m, h = 16,1 m
- Wymiar e = min (b,2•h) = 18,5 m
- Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru (wg Załącznika Krajowego NA [N22]):
 - strefa obciążenia wiatrem 1; A = 110 m n.p.m. → v_{b,0} = 22 m/s
- Współczynnik kierunkowy: c_{dir} = 1,0
- Współczynnik sezonowy: c_{season} = 1,00
- Bazowa prędkość wiatru: v_b = c_{dir}•c_{season}•v_{b,0} = 22,00 m/s
- Wysokość odniesienia: z_e = h-h_{dis} = 15,10 m
- Kategoria terenu IV → współczynnik chropowatości: c_r(z_e) = 0,6•(15,1/10)^{0,24} = 0,66 (wg Załącznika Krajowego NA.6 [N22])
- Współczynnik rzeźby terenu (orografii): c_o(z_e) = 1,00
- Średnia prędkość wiatru:
 - v_m(z_e) = c_r(z_e)•c_o(z_e)•v_b = 14,57 m/s
- Intensywność turbulencji: I_v(z_e) = 0,368
- Gęstość powietrza: ρ = 1,25 kg/m³
- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości:
 - q_p(z_e) = [1+7•I_v(z_e)]•(1/2)•ρ•v_m²(z_e) = 474,9 Pa = 0,475 kPa
- Współczynnik konstrukcyjny: c_sc_d = 0,790
- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego: c_{pe} = c_{pe,10} = -0,527

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,790 \cdot 0,475 \cdot (-0,527) = -0,198 \text{ kN/m}^2$

Obciążenia stałe wg PN-EN 1991-1-1 [N18]

Tablica 18. Obciążenia stałe zgodnie z PN-EN 1991-1 [N18]		
Lp.	Opis oddziaływania	Wartość char. [kN/m²]
1.	Papa termozgrzewalna, dwie warstwy, ciężar uzyskany od producenta	0,10
2.	Polistyren (ekspandowany, granulowany) gr. 22,5 cm [0,300 kN/m³•0,225 m]	0,07
3.	Papa zgrzewana wierzchniego krycia, ciężar uzyskany od producenta	0,10
4.	Beton ciężki przy zwykłym procencie zbrojenia i stali sprężającej gr. 20 cm [25,000 kN/m³•0,20 m]	5,00
5.	Zaprawa wapienno-cementowa gr. 1,5 cm [20,000 kN/m³•0,015 m]	0,30
Σ:		5,57

Obciążenie użytkowe wg PN-EN 1991-1-1 [N18] / Obciążenia użytkowe powierzchni stropów i dachów (p. 6.3.)

Równomiernie rozłożone obciążenie użytkowe – powierzchnia kategorii H (dach bez dostępu, z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw).

Przyjęto obciążenie użytkowe równe 0,4 kN/m².

Reakcje z dachu na analizowany fragment ściany od oddziaływań stałych i zmiennych (wartości charakterystyczne)

Szerokość pasma, z którego zbiera się obciążenia wynosi 2,25 m (odległość między osiami okien), a rozpiętość dachu, z której obciążenia przekazują się na ścianę: 2,56 m.

Oddziaływania stałe:

$N_{Gk,u,1} = 5,57 \cdot 2,56 \cdot 2,25 / \cos 3^\circ = 32,1 \text{ kN}$

Oddziaływania zmiennie:

Śnieg:

$N_{Qk,u,2} = 0,72 \cdot 2,25 \cdot 2,56 = 4,14 \text{ kN}$

Użytkowe:

$N_{Qk,u,3} = 0,4 \cdot 2,56 \cdot 2,25 / \cos 3^\circ = 2,30 \text{ kN}$

6.3.3. Ciężar ścian zabudowanych powyżej analizowanej ściany

Tablica 19. Obciążenia stałe od ciężaru ścian		
Lp.	Opis oddziaływania	Wartość char. kN/m²
1.	Zaprawa wapienno-cementowa gr. 3 cm [20,000 kN/m³•0,03 m]	0,60
2.	Elementy murowe wapienno-silikatowe w stanie suchym klasy gęstości 1,6 gr. 24 cm [16,000 kN/m³•0,24 m]	3,84
3.	Polistyren (ekspandowany, granulowany) gr. 15 cm [0,300 kN/m³•0,15 m]	0,05
Σ:		4,49

Oddziaływanie ciężarem ścian w kN (wartość charakterystyczna)

Ciężar ścian zabudowanych powyżej analizowanej ściany (obciążenie stałe):

Szerokość pasma zbierającego obciążenie: 2,25 m

Wysokość okna: 1,5 m

Ciężar okien: 0,3 kN/m²

$Pole\ ściany\ między\ oknami: A = (2,95 - 1,5) \cdot 2,25 + 1,5 \cdot 0,75 = 4,39 \text{ m}^2$

$N_{Gk,u,2} = 4 \cdot 4,49 \cdot 4,39 + 25 \cdot 0,24 \cdot 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 1,5 \cdot 4 = 86,6 \text{ kN}$

Ciężar analizowanej ściany (obciążenie stałe):

$N_{Gk} = 4,49 \cdot 4,39 + 0,3 \cdot 1,5 = 20,2 \text{ kN}$

6.3.4. Ciężar stropu kondygnacji mieszkalnej

Pole powierzchni stropu, z którego zbiera się obciążenie, wynosi 5,21 m². Zestawienie charakterystycznych ciężarów konstrukcji i wykończenia stropu zamieszczono w tablicy 20.

Tablica 20. Charakterystyczny ciężar 1 m² konstrukcji i wykończenia stropu		
Lp.	Opis oddziaływania	Wartość char. [kN/m²]
1.	Elementy murowe z terakoty gr. 0,8 cm [21,000 kN/m³•0,008 m]	0,17
2.	Zaprawa cementowa gr. 0,5 cm [23,000 kN/m³•0,005 m]	0,12
3.	Zaprawa cementowa gr. 4 cm [23,000 kN/m³•0,04 m]	0,92
4.	Polistyren (ekspandowany, granulowany) gr. 4 cm [0,300 kN/m³•0,04 m]	0,01
5.	Beton zwykły przy zwykłym procencie zbrojenia i stali sprężającej gr. 20 cm [25,000 kN/m³•0,20 m]	5,00
6.	Zaprawa wapienno-cementowa gr. 1,5 cm [21,000 kN/m³•0,015 m]	0,32
Σ:		6,54

Obciążenie użytkowe wg PN-EN 1991-1-1[N18] / Obciążenia użytkowe powierzchni stropów i dachów (p. 6.3.)

Równomiernie rozłożone obciążenie użytkowe – powierzchnia kategorii A (mieszkalna)

Stropy → od 1,5 do 2,0 kN/m², zalecane 2,0 kN/m².

Przyjęto obciążenie użytkowe mieszkań równe 2,0 kN/m².

Oddziaływanie od pojedynczego stropu w kN na ścianę (wartość charakterystyczna)

Oddziaływania stałe

$N_{Gk,u,3} = 6,54 \cdot 5,21 = 34,1 \text{ kN}$

Oddziaływania zmiennie:

$N_{Qk,u,1} = 2,0 \cdot 5,21 = 10,4 \text{ kN}$

6.3.5. Kombinacje oddziaływań

Charakterystyczny ciężar analizowanej ściany:

$N_{Gk} = 20,2 \text{ kN}$

Charakterystyczne obciążenie stałe działające powyżej analizowanej ściany:

$N_{Gk,u} = N_{Gk,u,1} + N_{Gk,u,2} + 4 \cdot N_{Gk,u,3} = 255,1 \text{ kN}$

Charakterystyczne obciążenie zmienne wiodące lub główne powyżej analizowanej ściany:

$N_{Qk,u,1} = 4 \cdot 10,4 = 41,6 \text{ kN}$

Charakterystyczne obciążenie śniegiem:

$N_{Qk,u,2} = 4,14 \text{ kN}$

Charakterystyczne obciążenie zmienne użytkowe z dachu:

$$N_{Qk,u,3} = 2,3 \text{ kN}$$

Przyjęto trwałą sytuację obliczeniową zgodnie z normą PN-EN 1990 [N20]. Przyjęto sprawdzać stan graniczny STR. Z tablicy A1.2(B) PN-EN 1990 [N20]. Przyjęto kombinację jako mniej korzystną wartość z dwóch określonych wzorami (6.10a i 6.10b).

Przyjęto następujące wartości współczynników częściowych, współczynnika redukcyjnego i wartości kombinacyjnych:

$$\gamma_{G,j} = 1,35 \quad \xi = 0,85$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5 \quad \psi_{0,1} = 0,7$$

$$\gamma_{Q,2} = 1,5 \quad \psi_{0,2} = 0,7$$

$$\gamma_{Q,3} = 1,5 \quad \psi_{0,3} = 0,0$$

$$N_{1,Ed} = \max \left\{ \begin{array}{l} (6.10a) \Rightarrow \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,\mu} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} = 392,4 \\ (6.10b) \Rightarrow \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,\mu} + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} = 359,5 \end{array} \right\}$$

$$N_{2,Ed} = \max \left\{ \begin{array}{l} (6.10a) \Rightarrow \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} = 419,7 \\ (6.10b) \Rightarrow \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} = 382,7 \end{array} \right\}$$

$$N_{m,Ed} = \max \left\{ \begin{array}{l} (6.10a) \Rightarrow \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + 0,5 \cdot N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} = 406,1 \\ (6.10b) \Rightarrow \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot (N_{Gk,\mu} + 0,5 \cdot N_{Gk}) + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} = 371,1 \end{array} \right\}$$

Do obliczeń przyjęto ostatecznie:

$$N_{1,Ed} = 392,4 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 419,7 \text{ kN}$$

$$N_{m,Ed} = 406,1 \text{ kN}$$

6.3.6. Sprawdzenie nośności ściany

Określenie efektywnej wysokości ściany

Za punktem 5.5.1.2. PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto współczynnik redukcji $\rho_2 = 0,75$

$$h_{ef} = h \cdot \rho_2 = 1,95 \text{ m}$$

Określenie efektywnej grubości ściany

Za punktem 5.5.1.3. PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto

$$t_{ef} = t = 0,25 \text{ m}$$

Sprawdzenie warunku smukłości ściany

$$h_{ef} / t_{ef} = 8,13 < 27 - \text{warunek spełniony.}$$

Wyznaczenie charakterystycznej wytrzymałości muru

Z tablicy NA.5 Załącznika Krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto: $K = 0,6$

Na podstawie punktu NA.3 Załącznika Krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1]:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} = 7,65 \text{ N/mm}^2.$$

Określenie modułu sprężystości muru

Na podstawie punktu NA.6 Załącznika Krajowego do PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto współczynnik $K_E = 1000$,

$$E = K_E \cdot f_k = 7650 \text{ N/mm}^2.$$

Określenie wytrzymałości obliczeniowej muru

Przyjęto klasę A wykonania robót i zaprawę projektowaną.

Z tablicy NA.1 PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto współczynnik częściowy dla właściwości materiału $\gamma_M = 1,7$.

$$f_d = f_k / \gamma_M = 4,5 \text{ N/mm}^2.$$

Wyznaczenie momentu bezwładności stropów i ścian

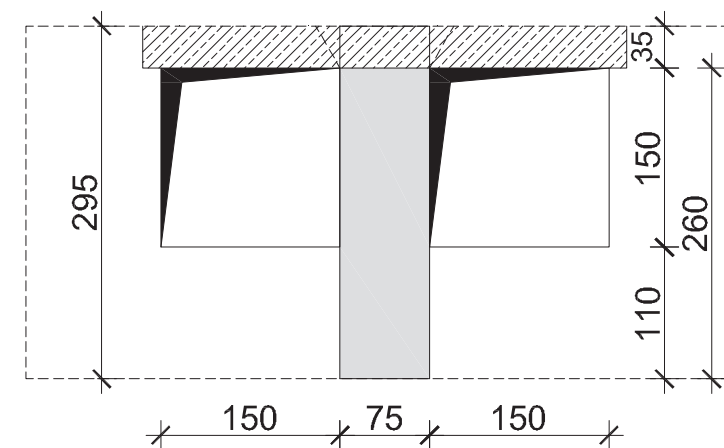
Szerokość filarka $b = 0,75 \text{ m}$

Szerokość pasma, z którego zbierano obciążenia na ścianę $c = 2,25 \text{ m}$

Zgodnie z zaleceniami zamieszczonymi w pracy [1] rozważono przyjęcie zmiennej szerokość ściany w przekroju górnym, wynikającej z założenia, że obciążenie na nadproże jest zbierane z obszaru trójkąta równoramiennego. W analizowanym przypadku wysokość nad oknem jest jednak niewielka i w rzeczywistości zostanie wypełniona w całości nadprożem (rys. 15). Ostatecznie przyjęto zatem stałą szerokość obliczanej ściany równą szerokości filarka.

Szerokość współpracującą stropu i ścian piwnic przyjęto równą odległości między osiami okien ($c = 2,25 \text{ m}$).

W związku z tym, zgodnie z zaleceniami podanymi w pracy [1] w dalszej części obliczeń zastosowano redukcyjne współczynniki podatności η_i ($i = 1,2$).



Rysunek 15. Szerokość analizowanej ściany

Moment bezwładności ścian kondygnacji nadziemnej:

$$I_{sc,1} = \frac{b \cdot t^3}{12} = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Moment bezwładności ściany piwnic:

$$I_{sc,2} = \frac{b \cdot t^3}{12} = 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Moment bezwładności stropu:

$$I_{st,1} = I_{st,2} = \frac{b \cdot h^3}{12} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Wyznaczenie momentów w górnym i dolnym przekroju

Stropy zaprojektowano z betonu klasy C20/25, na podstawie normy PN-EN 1992-1-1 [N14] przyjęto moduł sieciyny sprężystości betonu $E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2$.

Przekrój górny 1-1

Zgodnie z oznaczeniami przyjętymi na rys. C1 PN-EN [N18] przyjęto:

$$E_{1a} = E = 7650 \text{ N/mm}^2, I_{1a} = I_{sc,1} = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{1a} = h = 2,6 \text{ m}$$

$$E_{2a} = E = 7650 \text{ N/mm}^2, I_{2a} = I_{sc,1} = 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{2a} = h = 2,6 \text{ m}$$

$$E_{4a} = E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2, I_{4a} = I_{st,2} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, l_{4a} = l = 5,76 \text{ m}$$

Współczynniki sztywności prętów przyjęto równe $n_1 = n_2 = n_4 = 4$

$$k_{m,1} = \frac{n_4 \frac{E_{4a} \cdot I_{4a}}{l_{4a}}}{1 \frac{E_{1a} \cdot I_{1a}}{h_{1a}} + n_2 \frac{E_{2a} \cdot I_{2a}}{h_{2a}}} = 0,77 \leq 2$$

Współczynnik podatności węzła nr 1: $\eta_1 = (1 - k_{m,1}/4) = 0,81$

Obliczeniowe obciążenie stropu:

$$w_3 = w_4 = (1,35 \cdot 6,54 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 2,0) \cdot 1,0 = 10,93 \text{ kN/m}$$

Moment w przekroju pod stropem górnej kondygnacji (pod węzłem nr 1):

$$M_{1d} = \frac{\frac{n_1 \cdot E_{1a} \cdot I_{1a}}{h_{1a}}}{\frac{n_1 \cdot E_{1a} \cdot I_{1a}}{h_{1a}} + \frac{n_2 \cdot E_{2a} \cdot I_{2a}}{h_{2a}} + \frac{n_4 \cdot E_{4a} \cdot I_{4a}}{l_{4a}}} \left[\frac{w_4 \cdot l_{4a}^2}{4(n_4 - 1)} \right] \cdot \eta_1 = 3,45 \text{ kNm}$$

Przekrój dolny 2-2

Zgodnie z oznaczeniami przyjętymi na rys. C1 PN-EN [N18] przyjęto:

$$E_{1b} = E_{cm,2} = 7650 \text{ N/mm}^2, I_{1b} = I_{sc,2} = 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{1b} = 2,6 \text{ m}$$

$$E_{2b} = E = 7650 \text{ N/mm}^2, I_{2b} = I_{sc,1} = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, h_{2b} = h = 2,6 \text{ m}$$

$$E_{4b} = E_{cm,1} = 30000 \text{ N/mm}^2, I_{4b} = I_{st,2} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4, l_{4b} = l = 5,76 \text{ m}$$

Współczynniki sztywności prętów przyjęto równe $n_1 = n_2 = n_4 = 4$

$$k_{m,2} = \frac{n_3 \frac{E_{3b} \cdot I_{3b}}{l_{3b}} + n_4 \frac{E_{4b} \cdot I_{4b}}{l_{4b}}}{n_1 \frac{E_{1b} \cdot I_{1b}}{l_{1b}} + n_2 \frac{E_{2b} \cdot I_{2b}}{l_{2b}}} = 0,71 \leq 2$$

Współczynnik podatności węzła nr 1: $\eta_2 = (1 - k_{m,2}/4) = 0,82$

Moment w przekroju pod stropem górnej kondygnacji (nad węzłem nr 2):

$$M_{2d} = \frac{\frac{n_2 \cdot E_{2b} \cdot I_{2b}}{h_{2b}}}{\frac{n_1 \cdot E_{1b} \cdot I_{1b}}{h_{1b}} + \frac{n_2 \cdot E_{2b} \cdot I_{2b}}{h_{2b}} + \frac{n_4 \cdot E_{4b} \cdot I_{4b}}{l_{4b}}} \left[\frac{w_4 \cdot l_{4b}^2}{4(n_4 - 1)} \right] \cdot \eta_2 = 4,2 \text{ kNm}$$

Wyznaczenie momentów w przekroju środkowym

$$M_{md} = \frac{M_{1d} - M_{2d}}{2} = -0,375 \text{ kNm}$$

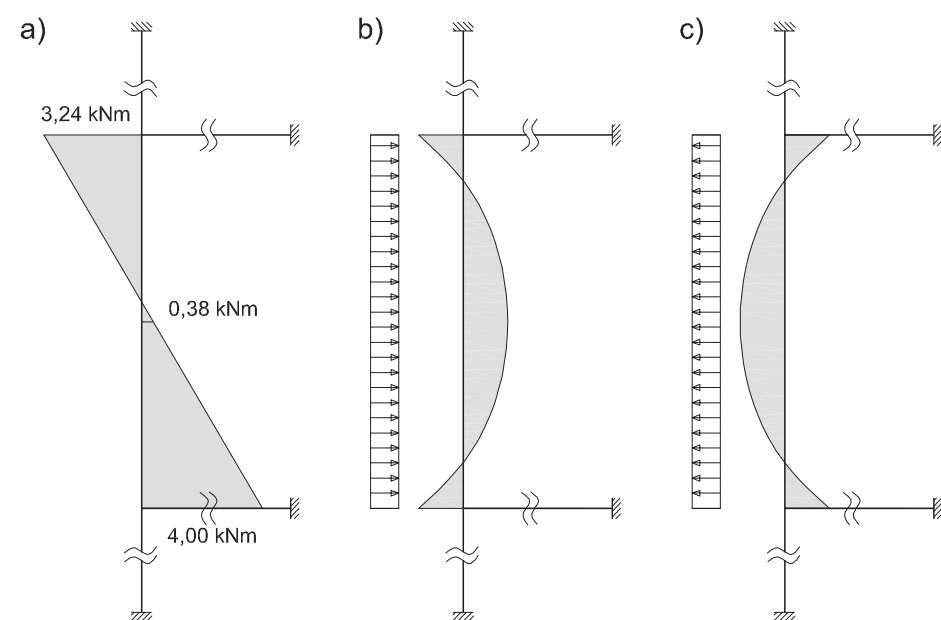
Określenie wartości mimośrodów e_i pod i nad stropem

Mimośród początkowy (niezamierzony):

$$e_{init} = h_{ef}/450 = 0,0049 \text{ m}$$

Mimośród od obciążenia poziomego (wiatrem):

należy przyjąć kierunek obciążenia wiatrem tak, aby mimośród obciążenia był jak najbardziej niekorzystny (aby momenty od wiatru i od obciążeń pionowych w danym przekroju miały ten sam znak). W przekroju 1-1 i m-m decyduje parcie wiatru, natomiast w przekroju 2-2 ssanie wiatru (rys. 16).



Rysunek 16. Wykresy momentów w analizowanej ścianie:
a) od obciążeń pionowych,
b) od parcia wiatru,
c) od ssania wiatru.

Obciążenie wiatrem ściany

przyjęto:

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$\psi_0 = 0,6$$

$$q_{Ewd,1-1} = q_{Ewd,m-m} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ewd,2-2} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot (-0,198) = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

Przyjęto, że obciążenie wiatrem z okien przenosi się na filarek międzyokienny.

$$M_{wd,1,m} = \frac{q_{Ewd,1-1} \cdot c \cdot h^2}{16} = 0,26 \text{ kNm}$$

$$M_{wd,2} = \frac{q_{Ewd,2-2} \cdot c \cdot h^2}{16} = 0,17 \text{ kNm}$$

$$e_{he,1} = \frac{M_{wd}}{N_{1d}} = 0,00067 \text{ m}$$

$$e_{he,2} = \frac{M_{wd}}{N_{2d}} = 0,00041 \text{ m}$$

Mimośród na górze lub dole ścian:

$$e_1 = \frac{M_{1d}}{N_{1d}} + e_{he,1} + e_{init} = 0,014 \quad m \geq 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{M_{2d}}{N_{2d}} + e_{he,2} + e_{init} = 0,015 \quad m \geq 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}$$

Określenie wartości mimośródów e_m w środku wysokości ściany

Mimośród od obciążenia poziomego (np. wiatru):

$$e_{hm} = \frac{M_{wd}}{N_{md}} = 0,00064 \text{ m}$$

Całkowity mimośród od obciążenia:

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} \pm e_{init} = 0,0065 \text{ m}$$

Mimośród z uwagi na pełzanie:

Za punktem 3.7.4. PN-EN 1996-1-1 [N1] przyjęto $\phi_\infty = 1,5$

$$e_k = 0,002 \cdot \phi_\infty \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t \cdot e_m} = 0,001 \text{ m}$$

Mimośród w środku wysokości ściany:

$$e_{mk} = e_m + e_k = 0,0075 \quad m < 0,05 \cdot t = 0,012 \text{ m}$$

przyjęto $e_{mk} = 0,012 \text{ m}$

Wyznaczenie współczynników redukcyjnych w przekrojach 1-1 i 2-2

$$\Phi_1 = 1 - 2 \frac{e_1}{t} = 0,880$$

$$\Phi_2 = 1 - 2 \frac{e_2}{t} = 0,875$$

Wyznaczenie współczynnika redukcyjnego w przekroju środkowym

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 0,9$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = 0,26$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = 0,29$$

$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} = 0,94$$

Pole powierzchni analizowanej ściany

$$A = b \cdot t = 0,24 \cdot 0,75 = 0,18 \text{ m}^2$$

Współczynnik redukcyjny

$$\eta_A = 1,3$$

Sprawdzenie obliczeniowej nośności analizowanej ściany w strefie środkowej oraz pod i nad stropem

$$N_{1R,d} = \Phi_1 \cdot A \cdot f_d / \eta_A = 548,3 \text{ kN} < N_{1,Ed} = 392,4 \text{ kN}$$

$$N_{2R,d} = \Phi_2 \cdot A \cdot f_d / \eta_A = 545,2 \text{ kN} < N_{2,Ed} = 419,7 \text{ kN}$$

$$N_{mR,d} = \Phi_m \cdot A \cdot f_d / \eta_A = 585,6 \text{ kN} < N_{m,Ed} = 406,1 \text{ kN}$$

Warunek spełniony. Wytyżenie ściany w przekroju 1-1: ok. 72%, w przekroju 2-2: ok. 77%, a w przekroju m-m: ok. 69%.

6.4. Ściana piwnic

6.4.1. Przyjęty sposób obliczeń

Sprawdza się ścianę piwnic pod filarkiem międzyokiennym analizowanym w punkcie 6.3. Obliczenia przeprowadzono metodą uproszczoną zgodnie z punktem 4.5. PN-EN 1996-3 [N3].

Znormalizowana wytrzymałość elementu na ściskanie $f_b = 20,0 \text{ MPa}$

Kategoria wykonania elementu I

Zaprawa murarska: zwykła klasy M5, przepisana $f_m = 5,0 \text{ MPa}$

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie $f_k = 5,94 \text{ MPa}$

Grubość ściany $t = 25,0 \text{ cm}$

Długość ściany $l = 225,0 \text{ cm}$

Wysokość ściany $h = 260,0 \text{ cm}$

Odległość między ścianami poprzecznymi lub innymi elementami podpierającymi $b_c = 600,0 \text{ cm}$

Obciążenie obliczeniowe z wyższych kondygnacji u góry ściany:

- wywołujące najbardziej niekorzystny wpływ $N_{1d,max} = 419,70 \text{ kN}$

- wywołujące najmniej niekorzystny wpływ $N_{1d,min} = 382,70 \text{ kN}$

Ciężar objętościowy muru $\rho = 18,0 \text{ kN/m}^3$

Ciężar własny charakterystyczny ściany $G_k = 26,32 \text{ kN}$

Wysokość zasypania ściany gruntem $h_e = 235,0 \text{ cm}$

Ciężar objętościowy gruntu $\rho_e = 18,5 \text{ kN/m}^3$

ZAŁOŻENIA:

Warunki stosowania metody uproszczonej, wymienione w p. 4.5.(1) normy PN-EN 1996-3 są spełnione

Sytuacja obliczeniowa: trwała

Kategoria wykonania robót: A

Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla muru $\gamma_M = 2,0$

Współczynniki częściowe dla ciężaru własnego ściany: $\gamma_{G,sup} = 1,35$, $\gamma_{G,inf} = 1,00$

Obciążenie obliczeniowe pionowe w połowie wysokości zasypania ściany:

- wywołujące najbardziej niekorzystny wpływ

$$N_{Ed,max} = 439,18 \text{ kN}$$

- wywołujące najmniej niekorzystny wpływ

$$N_{Ed,min} = 397,13 \text{ kN}$$

Sprawdzenie warunków wg p. 4.5 normy:

$$\beta = 20,0, \quad f_d = f_k / \gamma_M = 2,97 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed,max} = 439,18 \text{ kN} < t \cdot l \cdot f_d / 3 = 556,67 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,min} = 397,13 \text{ kN} > \rho_e \cdot l \cdot h \cdot h_e^2 / (\beta \cdot t) = 119,53 \text{ kN}$$

Wniosek: Nośność ściany jest spełniona. Nie jest wymagane dodatkowe sprawdzenie ściany jako ściany obciążonej głównie pionowo.

Literatura

Publikacje

[1] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.

[2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.

Normy, instrukcje, wytyczne

[N1] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05/NA:2014-03: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.

[N2] PN-EN 1996-2:2010/NA:2010: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.

[N3] PN-EN 1996-3:2010/NA:2010: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 3: Uprozczone metody obliczania murowych konstrukcji niezbrojonych.

[N4] PN-EN 771-2015-10: Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 2: Elementy murowe silikatowe.

[N5] PN-EN 998-2:2012: Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 2: Zaprawa murarska.

[N6] PN-B-10104:2014-03: Wymagania dotyczące zapraw murarskich ogólnego przeznaczenia. Zaprawy murarskie według przepisu, wytwarzane na miejscu budowy.

[N7] PN-EN 1997-1:2008/NA:2011: Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.

[N8] PN-EN 1996-1-2:2010/NA:2010: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.

[N9] PN-B-02151-3:2015-10: Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania.

[N10] PN-EN 12354-1: Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami.

[N11] Instrukcja ITB nr 406/2005 Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynku według PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002.

[N12] PN-EN ISO 717-1:2013-08: Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.

[N13] PN-EN ISO 6946:2008: Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

[N14] PN-EN 1992-1-1:2008/NA:2010: Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

[N15] PN-EN 845-3:2013-10: Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 3: Stalowe zbrojenie do spoin wspornych.

[N16] PN-EN 845-1:2013-11: Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 1: Kotwy, listwy kotwiące, wieszaki i wsporniki.

[N17] PN-EN 1052-1:2000: Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na ściskanie.

[N18] PN-EN 1991-1-1/NA:2010: Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.

[N19] PN-EN 1745:2012: Mury i wyroby murowe. Metody określania właściwości cieplnych.

[N20] PN-EN 1990:2004/NA:2010/A1:2010: Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.

[N21] PN-EN 1991-1-3/NA:2010: Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.

[N22] PN-EN 1991-1-4/NA:2010: Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.

NOTATKI

NOTATKI

NOTATKI

