

silka[®]

YTONG[®]



Zeszyt Techniczny
Ściany przeciwogniowe
i wypełniające w systemach
SILKA i YTONG



xella[®]

Opracowanie:

dr inż. Sławomir Labocha

mgr inż. Sylwia Labocha

Wytyczne projektowania i wykonania ścian przeciwogniowych oraz wypełniających w systemach SILKA i YTONG

wydanie I

listopad 2007

Copyright © by Xella Polska sp. z o.o.
Warszawa 2007

Znaki SILKA i YTONG są zarejestrowanymi znakami towarowymi.
Prawa ochronne na te znaki przysługują Xella Polska Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie

Żadna część tej pracy nie może być powielana i rozpowszechniana bez pisemnej zgody wydawcy.

SPIS TREŚCI

Wstęp	6
1. Wprowadzenie	7
1.1. Bezpieczeństwo pożarowe	7
1.2. Wymagania przeciwpożarowe stawiane przegrodom wydzielającym	9
1.3. Wymagania statyczne stawiane przegrodom wydzielającym	9
2. Projektowanie	10
2.1. Zasady ogólne	10
2.2. Zasady obliczeń nienośnych przegród wydzielających	11
2.2.1. Materiały	11
2.2.2. Obliczanie ścian zewnętrznych	14
2.2.3. Obliczanie ścian wewnętrznych	18
2.2.4. Zapobieganie zarysowaniu ścian wypełniających	18
2.2.5. Maksymalne wymiary ścian	19
3. Schematy rozwiązań połączeń ścian przeciwogniowych	22
3.1. Połączenia sztywne	22
3.2. Połączenia elastyczne	23
4. Przykład obliczeniowy	25
5. Bibliografia	30
6. Spis tablic	30
7. Spis rysunków	30

WSTĘP

System ścian przeciwogniowych i wypełniających YTONG i SILKA

Wyroby YTONG i SILKA są znane na polskim rynku już od 10 lat. Ich producentem jest firma Xella Polska Spółka z o.o.

Marka SILKA związana jest z systemem budowlanym opartym na wyrobach wapienno-piaskowych, otrzymywanych z mieszaniny piasku kwarcowego, wapna i wody pod działaniem przegrzanej pary wodnej o temperaturze 200°C, przy zwiększonym ciśnieniu 16 atm. Marka YTONG związana jest z systemem budowlanym opartym na wyrobach z autoklawizowanego betonu komórkowego, otrzymywanego z mieszaniny piasku, wapna, wody, cementu i anhydrytu.

Na systemy YTONG i SILKA składa się wiele elementów obejmujących wszystkie składniki konstrukcji budynków wznoszonych metodami tradycyjnymi. Należą do nich między innymi:

- bloczki profilowane z uchwytyami montażowymi,
- nadproża prefabrykowane YN,
- nadproża zespolone YF,
- elementy docieplenia wieńca,
- kształtki U,
- bloczki uzupełniające,
- płyty stropowe,
- płyty dachowe,
- produkty uzupełniające (zaprawa murarska, zaprawa naprawcza).

YTONG i SILKA gwarantują precyzyjne dopasowanie wszystkich elementów systemu. Reżim technologiczny zapewnia realizację elementów systemu z tolerancją 1 mm. Tak dokładnie wykonane bloczki mogą być łączone na cienką spoinę o grubości ok. 1÷2 mm. Wysoka nośność na obciążenia pionowe, duża odporność ogniowa oraz szczelność ścian z bloczków YTONG i SILKA sprawiają, że są one w stanie spełnić wszystkie wymagania stawiane murowanym ścianom przeciwogniowym.

Niniejsze wytyczne zawierają informacje techniczne niezbędne do prawidłowego wykonania robót związanych ze wznoszeniem ścian murowanych przeciwogniowych systemu YTONG i SILKA. Przedstawione w opracowaniu zalecenia nie zwalniają projektanta od przestrzegania aktualnie obowiązujących w budownictwie normatywów i przepisów, w szczególności dotyczących nośności ustrojów i bezpieczeństwa przeciwpożarowego.

System Zakładowej Kontroli Produktów wdrożony w zakładach produkujących bloczki z betonu komórkowego i bloki wapienno-piaskowe jest gwarancją jakości i stabilności parametrów technicznych wykonywanych elementów.

1. WPROWADZENIE

1.1. Bezpieczeństwo pożarowe

Pożar oznacza niekontrolowany w czasie i przestrzeni rozkład termiczny materiałów palnych. Podstawowym procesem fizykochemicznym zachodzącym w czasie pożaru jest reakcja utleniania, przebiegająca z dużą szybkością stowarzyszoną z emisją znacznej ilości ciepła. W wyniku pożaru następują w pomieszczeniach gwałtowne zmiany:

- warunków termicznych,
- ciśnienia,
- składu chemicznego atmosfery,
- zakresu widzialności.

Powyższe czynniki oddziałują na użytkowników i konstrukcję budynku. Oddziaływania pożaru na budynek zaliczane są do oddziaływań o charakterze wyjątkowym. Pojęcie bezpieczeństwa pożarowego jest ściśle związane z charakterem przepisów obowiązujących w tym zakresie. Rozróżnia się dwa sposoby ich formułowania:

- a) w postaci nakazów i zakazów odnoszących się do pewnych konwencjonalnych charakterystyk,
- b) w postaci wymagań użytkowych.

Dla przypadku a) przepisy mają charakter formalno-prawny, a miarą bezpieczeństwa pożarowego jest zgodność wykonania budynku z podanymi w nich wymaganiami. W przypadku b) miarą bezpieczeństwa pożarowego jest czas do osiągnięcia stanów krytycznych konstrukcji oraz środowiska w budynku.

Obiekty budowlane powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby w przypadku pożaru:

- przez założony okres (czas) była zapewniona nośność konstrukcji,
- było ograniczone powstawanie i rozprzestrzenianie się ognia i dymu w obiektach,
- było ograniczone rozprzestrzenianie się ognia na obiekty sąsiednie,
- mieszkańcy mogli opuścić obiekt lub być ewakuowani w inny sposób,
- był zapewniony odpowiedni poziom bezpieczeństwa ekip ratowniczych.

Według polskich przepisów techniczno-budowlanych budynki oraz części budynków stanowiące odrębne strefy pożarowe dzieli się, w zależności od przeznaczenia i sposobu użytkowania, na:

- a) mieszkalne, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej charakteryzowane kategorią zagrożenia ludzi, określane dalej jako ZL,
- b) produkcyjne i magazynowe, określane dalej jako PM,
- c) inwentarskie, określane dalej jako IN.

Budynki oraz części budynków, stanowiące odrębne strefy pożarowe, określane jako ZL, zalicza się do jednej lub więcej niż jednej kategorii zagrożenia ludzi tj.:

- a) ZL I – zawierające pomieszczenia przeznaczone do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób niebędących ich stałymi użytkownikami, a nie przeznaczone przede wszystkim do użytku ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się,
- b) ZL II – przeznaczone przede wszystkim do użytku dla ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się, tj. szpitale, żłobki, przedszkola, domy dla osób starszych itp.,
- c) ZL III – użyteczności publicznej, nie zaliczone do ZL I i ZL II,
- d) ZL IV – mieszkalne,
- e) ZL V – zamieszkania zbiorowego, nie zaliczone do ZL I i ZL II.

Strefą pożarową nazywa się budynek lub część budynku oddzieloną od innych budynków lub od pozostałych części budynku niezabudowanym pasem terenu o określonej szerokości minimalnej określonej przepisami techniczno-budowlanymi bądź przegrodami oddzieleniami przeciwpożarowymi. Przegrody przeciwpożarowe powinny być tak zbudowane, aby pożar nie rozprzestrzenił się między budynkami bądź pozostałą częścią budynku, a także, aby pożar nie został przeniesiony z innej części budynku do strefy pożarowej. Przegrodę oddzielenia przeciwpożarowego może stanowić ściana lub strop.

Budynki lub poszczególne strefy pożarowe:

- zaliczone do właściwych kategorii zagrożenia ludzi ZL, w zależności od liczby kondygnacji lub wysokości,
- pozostałe, w zależności od gęstości obciążenia ogniowego i liczby kondygnacji lub wysokości przyporządkowuje się do odpowiednich klas odporności pożarowej A, B, C, D lub E, będących symbolem pewnej grupy budynków.

Klasa odporności ogniowej jest symbolem grupy elementów o określonych właściwościach, decydujących o odporności ogniowej. Odporność ogniowa jest zdolnością elementu budynku poddanego badaniu normowemu do spełnienia przez określony czas wymagań dotyczących nośności bądź funkcji wydzielających lub zarówno nośności, jak i funkcji wydzielających. Miarą odporności ogniowej jest czas. Funkcje, które powinny pełnić elementy budynku, oznacza się symbolami, a przedziały czasu, w ciągu którego są spełnione określone kryteria, opisuje liczbowo.

Podstawowymi kryteriami są:

- kryteria nośności (R),
- kryteria szczelności ogniowej (E),
- kryteria izolacyjności ogniowej (I),
- kryteria radiacji ogniowej (W).

Kryteria nośności uwzględniają utratę nośności lub stateczności elementu, fragmentu konstrukcji lub całej konstrukcji bądź przekroczenie określonych w normach dopuszczalnych wartości przemieszczeń lub odkształceń.

Kryteria szczelności, izolacyjności i radiacji zostaną bardziej szczegółowo przedstawione w punkcie 1.2. W tabelicy 1. zestawiono właściwości poszczególnych elementów budynków z uwagi na odporność ogniową.

Tablica 1. Właściwości elementów budynku z uwagi na odporność ogniową.

Element budynku	Właściwości
Prętowe elementy nośne (belki, słupy) oraz ściany nośne niewydzielające	R
	REI
Elementy nośne wydzielające	REW
	RE
	R
	EI
Ściany wewnętrzne nienośne	EW
	E
	EI
Ściany zewnętrzne nienośne	E
	EI
Zamknięcia otworów (drzwi, bramy, klapy)	EI
	EW
	E

Elementy budynku, stosownie do jego klasy odporności pożarowej, powinny w zakresie klasy odporności ogniowej spełniać co najmniej wymagania określone w tabelicy 2.

Funkcja wydzielająca dotyczy przegród, przez które w określonym czasie nie powinien przedostawać się ogień i gorące gazy, jak również nie powinna nadmiernie wzrosnąć temperatura nieogrzewanej powierzchni przegrody.

Obciążenie ogniowe jest to suma energii cieplnej, jaka może być wyzwolona w wyniku spalania wszystkich ma-

teriałów palnych znajdujących się w określonej przestrzeni (wyrażana w MJ). Gęstość obciążenia ogniowego jest wielkością obciążenia ogniowego przypadającego na jednostkę powierzchni (wyrażana w MJ/m²).

Odpowiedź materiału na ogień działający na wyrób w określonych warunkach ekspozycji w postaci wydzielonego ciepła, dymu, obszaru spalania bądź płonących kropeł nazywa się reakcją na ogień. Reakcja na ogień najczęściej podawana jest w postaci opisowej:

- niepalny,
- niezapalny,
- trudno zapalny,
- łatwo zapalny.

Materiały niepalne to produkty pochodzenia nieorganicznego, zawierające mniej niż 1% masy lub objętości homogenicznie rozproszanego materiału organicznego lub wyroby wykonane z kilku materiałów niepalnych. W tym ostatnim przypadku, jeśli wyrób powstał w wyniku klejenia wielu materiałów niepalnych, ilość zastosowanego kleju nie może przekraczać 0,1% masy lub objętości wyrobu. Do materiałów niepalnych zalicza się między innymi: szkło, beton, beton komórkowy, cement, wapno, żużel wielkopiecowy, kruszywa mineralne, gips, glinę, kamień naturalny oraz metale.

Wyroby i materiały palne to produkty pochodzenia organicznego. Zalicza się do nich, np. drewno, płyty drewnopochodne, płyty paździerzowe, tworzywa sztuczne, gumę, bawełnę itp.

Wyroby i materiały składające się z części nieorganicznych i organicznych klasyfikowane są jako palne lub niepalne na podstawie badań. Przykładami takich wyrobów są: płyty z wełny mineralnej, płyty z wełny szklanej, płyty wiórowo-cementowe, tynki akrylowe itp.

Wyroby palne dzieli się na: niezapalne, trudno zapalne i łatwo zapalne. Przynależność materiałów i wyrobów do którejś z grup określa się na podstawie badań i najczęściej podaje w aprobatkach technicznych.

Tablica 2. Klasy odporności ogniowej

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów budynku					
	Główna konstrukcja nośna	Konstrukcja dachu	Strop	Ściana zewnętrzna	Ściana wewnętrzna	Przekrycie dachu
A	R 240	R 30	REI 120	EI 120	EI 60	E 30
B	R 120	R 30	REI 60	EI 60	EI 30	E 30
C	R 60	R 15	RE 60	EI 60	EI 15	E 15
D	R 30	-	REI 30	EI 30	-	-
E	-	-	-	-	-	-

„-” oznacza brak wymagań

Jeżeli przegroda jest częścią głównej konstrukcji nośnej, to musi spełniać również kryteria nośności ogniowej (R).

1.2. Wymagania przeciwpożarowe stawiane przegrodom wydzielającym

Odporność ogniowa elementu budynku zawiera dwie podstawowe funkcje:

- funkcję nośną (R),
- funkcję wydzielającą (E, EI, EW).

Elementy konstrukcji pełniące zadania wydzielające w budynku powinny spełniać swoje funkcje w ciągu określonego czasu niezbędnego do ewakuacji ludzi lub podjęcia akcji gaśniczej. Celem zapobieżenia rozprzestrzenienia się pożaru przez przegrodę musi ona spełniać następujące warunki:

- a) przegroda nie może ulec całkowitej lub częściowej destrukcji pod wpływem oddziaływań termicznych, np. zarysowaniu, przez które przedostawałyby się płomień lub gorące gazy – wymaganie określone warunkiem szczelności ogniowej (E)
- b) powierzchnia przegrody od strony sąsiedniego pomieszczenia nie powinna osiągnąć zbyt wysokiej temperatury, mogącej spowodować zapalenie się materiałów, oparzenia ludzi lub nadmierny wzrost temperatury w tym pomieszczeniu wskutek konwekcji – wymaganie określone warunkiem izolacyjności ogniowej (I)
- c) strumień ciepła przechodzącego przez przegrodę nie powinien osiągnąć zbyt dużej gęstości, aby nie nastąpiło zapalenie się materiałów lub nadmierne oddziaływanie promieniowania cieplnego na ludzi – wymaganie określone warunkiem ograniczenia promieniowania cieplnego, tj. radiacji ogniowej (W)

Jeżeli są spełnione kryteria z uwagi na szczelność ogniową E oraz na izolacyjność ogniową I, to ograniczenie promieniowania cieplnego jest już zawsze spełnione. Kryterium izolacyjności ogniowej I nigdy nie występuje samodzielnie, gdyż utrata szczelności ogniowej E jest równoznaczna z utratą izolacyjności ogniowej I.

Ściany oddzielenia pożarowych muszą spełniać następujące podstawowe zasady:

- powinny dzielić budynek w sposób uniemożliwiający rozprzestrzenianie się pożaru poza strefę pożarową, a w szczególności rozprzestrzenianie ognia przez elementy budynku,
- powinny zabezpieczać przed rozprzestrzenieniem się pożaru przez otwory w dachu lub ścianach.

Minimalne wymagania klasy odporności ogniowej elementów oddzielenia przeciwpożarowego podano w tablicy 3.

Rozwiązania konstrukcyjne ścian oddzielenia przeciwpożarowych powinny spełniać ponadto następujące zalecenia:

- a) należy wykonywać je z materiałów niepalnych,
- b) należy ograniczać powierzchnię wypełnienia fragmentów przegrody luksferami lub cegłą szklaną do wielkości 10% powierzchni ściany,
- c) ogólna powierzchnia otworów zamykanych i wypełnionych luksferami lub cegłą szklaną nie może przekraczać 25% powierzchni ściany,
- d) otwory niezamykane należy wykonywać jako tunele obudowane materiałami niepalnymi o klasie odporności ogniowej co najmniej REI 60, przy czym na całej długości tunelu należy instalować urządzenia tryskaczowe lub zraszaczowe,
- e) przewody klimatyzacyjne i wentylacyjne mogą być przeprowadzone przez ścianę tylko wówczas, gdy:
 - nie będą przez nie przepływały gazy, opary wybuchowe, włókna i pyły palne tworzące z powietrzem mieszaniny wybuchowe,
 - będą wykonane z materiałów niepalnych,
 - w miejscach przejścia przez przegrodę będą wyposażone w samozamykające klapy odcinające,
 - klapy odcinające będą odznaczały się odpornością ogniową równą połowie odporności ogniowej ściany, o ile nie zostały obudowane ściankami.

1.3. Wymagania statyczne stawiane nienośnym przegrodom wydzielającym

Ściany wypełniające w budynkach zasadniczo nie uczestniczą w pracy statycznej konstrukcji nośnej. Tworzą one podział wewnętrzny budynku, wyodrębniając pomieszczenia i przestrzenie lub stanowią przegrodę zewnętrzną. Muszą więc spełniać przede wszystkim wymagania związane z ich funkcją w budynku, tj. przegród wizualnych, akustycznych, termicznych czy w szczególności właśnie przeciwogniowych. Niemniej ściany te muszą również bezwzględnie spełniać warunki nośności i stateczności w zakresie specyfiki przypadających na nie obciążeń.

Tablica 3. Wymagania minimalne klasy odporności ogniowej elementów oddzielenia przeciwpożarowego

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów budynku				
	Elementy oddzielenia pożarowego		Drzwi i zamknięcia przeciwpożarowe	Drzwi z przedsionka przeciwpożarowego	
	Ściany i stropy z wyjątkiem ZL	Stropy w ZL		Na korytarz i do pomieszczenia	Na klatkę schodową
A	REI 240	REI 120	EI 120	EI 60	E 60
B i C	REI 120	REI 60	EI 60	EI 30	E 30
D i E	REI 60	REI 30	EI 30	EI 15	E 15

Zasadniczo ściany wypełniające przenoszą głównie nieznaczny ciężar własny. Dodatkowe obciążenia wynikają ze specyfiki pełnionej przez nie funkcji. W przypadku zewnętrznych ścian osłonowych będzie to głównie parcie i ssanie wiatru. W budownictwie mieszkaniowym może występować obciążenie użytkowe od zawieszonych na ścianach elementów wyposażenia czy mebli, a w budownictwie użyteczności publicznej dodatkowe obciążenie poziome pochodzące od oddziaływań tłumu. W budownictwie przemysłowym istnieje możliwość różnorodnego obciążenia zawieszonymi elementami instalacji technologicznych i urządzeniami lub wreszcie akcydentalne uderzenia środkami transportu, np.: suwnicą, samochodem dostawczym czy wózkiem widłowym.

Wszystkie te obciążenia muszą być bezpiecznie przeniesione przez ściany.

Odrębną grupę obciążeń stanowią wpływy, których z reguły nie bierze się pod uwagę przy projektowaniu ścian wypełniających, a które wynikają głównie z błędów projektowych lub wykonawczych. Należą do nich:

- oddziaływania pochodzące od nierównomiernego osiadania obiektu lub jego części związane z błędami posadowienia,
- nadmierne ugięcia zasadniczych elementów nośnych powodujące niemechaniczne wpływy deformujące ściany wypełniające lub skutkujące nadmiernym obciążeniem tych ścian, które przejmują oddziaływania w wyniku zmiany schematu statycznego, stając się podporami,
- wpływy zmian temperatury,
- sposób połączenia z konstrukcją nośną stwarzający możliwości przekazywania zasadniczych obciążeń na ustrój samonośny ścian wypełniających.

Nienośne ściany wydzielające, pełniące funkcje przeciwpożarowe mogą podlegać niektórym lub wszystkim przedstawionym typom obciążeń. Zadaniem projektanta jest uwzględnienie obciążeń użytkowych stosownie do pełnionej przez ściany funkcji oraz przyjęcie właściwych rozwiązań konstrukcyjnych eliminujących dodatkowe niekorzystne oddziaływania.

2. PROJEKTOWANIE

2.1. Zasady ogólne

Zasadniczym obciążeniem ścian wydzielających, jako jednym z rodzajów ścian wypełniających są oddziaływania poziome. Poza ciężarem własnym nie przenoszą one istotnych obciążeń pionowych. Konstrukcja ścian i ich połączeń z zasadniczą konstrukcją nośną obiektu musi zapewniać im stateczność i sztywność dla wszystkich możliwych kombinacji obciążeń. Stateczność ścian zapewnia się poprzez stosowne podparcie na krawędziach. Przyjmuje się najczęściej płytowy schemat statyczny ich pracy z podpartymi krawędziami. W zależności od liczby podpartych krawędzi rozróżnia się ściany:

- podparte na trzech krawędziach
- podparte na czterech krawędziach.

W przypadku ścian podpartych tylko na dwóch krawędziach (z reguły dotyczy to podparcia w poziomie stropów) należy przyjmować belkowy schemat obliczeniowy. W wyjątkowych przypadkach może również wystąpić belkowy wspornikowy schemat przy ścianach wolno stojących, tylko utwierdzonych dolną krawędzią.

Jeżeli konstrukcja ściany na podporze pozwala na przyjęcie odpowiednich momentów zginających, do obliczeń można przyjąć ciągły model ściany wieloprzęstowej lub jednoprzęstowej utwierdzonej na podporze. Jeśli podpory ściany są nieprzesuwne i zdolne do przejścia wynikłych z obciążenia działającego prostopadle do ściany sił rozpierających, a grubość ściany jest dostateczna, za model obliczeniowy ściany można przyjąć łuk trójprzegubowy.

Połączenia ścian z konstrukcją nośną muszą posiadać nośność wystarczającą do przeniesienia przypadających na nie obciążeń przekazywanych ze ścian.

Sztywność ścian uwarunkowana jest ich smukłością. W przypadku ścian obliczanych modelem belkowym smukłość uwarunkowana jest wysokością efektywną h_{eff} i grubością ściany t :

$$\frac{h_{\text{eff}}}{t}$$

Wysokość efektywna uwzględnia warunki połączenia ściany ze stropem i można ją określać wg PN-B-03002:1999. W przypadku ścian modelowanych ustrojami płytowymi smukłość jest funkcją grubości ściany, proporcji wymiarów, tj. stosunku wysokości i długości oraz sposobu jej podparcia. W normie PN-B-03002:1999 czynniki te wpływają pośrednio na wielkość wysokości efektywnej.

Normatywy podają jednoznacznie wymagane graniczne warunki smukłości, których przekroczenie może powodować nadmierną wiotkość ścian, podatność na

drgania czy nawet przekroczenie warunków nośności z tytułu wpływu efektów drugiego rzędu. Norma PN-B-03002:1999 dla ścian konstrukcyjnych z bloczków z betonu komórkowego zaleca ograniczenie smukłości do wartości:

$$\frac{h_{\text{eff}}}{t} \leq 18$$

natomiast dla ścian konstrukcyjnych z bloków wapienno-piaskowych do wartości:

$$\frac{h_{\text{eff}}}{t} \leq 25$$

Dla ścian nienośnych, obciążonych głównie poziomo, norma PN-B-03002:1999 nie podaje innych wartości granicznych.

W przypadku dużych powierzchni ścian i znacznych wysokości niecelowe staje się zmniejszanie smukłości poprzez zwiększanie ich grubości. W tym wypadku ekonomicznym rozwiązaniem jest zastosowanie dodatkowego rusztu usztywniającego w postaci rygli i/lub słupów stalowych lub żelbetowych. Słupy i rygle usztywniające muszą być obliczone i połączone z konstrukcją obiektu w sposób zapewniający przeniesienie wszystkich obciążeń poziomych działających na ścianę. Ściany oblicza się wówczas na niezależną pracę w obszarze pól wydzielonych ryglami i słupami.

W przypadku ścian stanowiących przegrody ogniowe należy zwrócić szczególną uwagę na spełnienie warunku szczelności. Należy nie tylko starannie dobrać rodzaj użytych materiałów pod względem odporności ogniowej, ale również na sposób rozwiązania (wypełnienia) szczelin, zwłaszcza szczeliny podstropowej. Przy określaniu klasy odporności ogniowej istotne jest także uwzględnienie wpływu ewentualnego rusztu usztywniającego jako integralnej konstrukcji ściany.

2.2. Zasady obliczeń nienośnych przegród wydzielających

2.2.1. Materiały

Bloczki YTONG do murowania na cienkie spoiny mają szerokość równą grubości muru. Bloczki podstawowe produkowane są z gładką i z profilowaną powierzchnią czołową na pióro i wpust, bloczki uzupełniające produkowane są tylko z gładką powierzchnią czołową. Przyjęte przez firmę Xella za DIN 4165 oznaczenie bloczków składa się z symbolu PP, klasy i odmiany betonu komórkowego oraz liter określających ukształtowanie powierzchni bocznych. Symbol PP oznacza bloczki o dużej dokładności, murowanych na cienkie spoiny. Towarzysząca symbolowi liczba określa w MPa średnią wytrzymałość bloczków na ściskanie w stanie powietrzno-suchym. Liczba za kreską ukośną oznacza górną granicę gęstości objętościowej w stanie suchym. Dodatkowe oznaczenie bloczków opisuje ukształtowanie powierzchni bocznej:

- S – pióro i wpust,
- GT – powierzchnia płaska z uchwytem montażowym,
- S+GT – pióro i wpust z uchwytem montażowym,
- bez oznaczeń – powierzchnia płaska.

Dostępny asortyment bloczków YTONG i ich podstawowe wymiary zestawiono w tabelicy 4.1. Podstawowe parametry fizyko-mechaniczne bloczków YTONG oraz wytrzymałościowe na ściskanie ścian z nich wykonanych, przyporządkowane odpowiednim ich klasom, zestawiono w tabelicy 5.1.

Bloki serii SILKA E różnią się od tradycyjnych wyrobów wapienno-piaskowych. Mają szerokość dostosowaną do grubości muru i wymiary modułowe przystosowane do łatwego połączenia różnych rodzajów ścian. Produk-

Tablica 4.1. Oznaczenia i wymiary bloczków YTONG

Oznaczenie	Profilowanie	Gęstość obj. [kg/m ³]	Ciężar obj. [kN/m ³]	Wymiary		
				Długość [±1,5 mm]	Wysokość [±1,0 mm]	Szerokość [±1,5 mm]
PP1,5/0,35	S+GT	350	4,5	599	199 (i 399 dla szer. 115)	300, 365, 400
PP2/0,4	-, S, S+GT	400	5,0			(150, 175, 200) ^{x1}
PP3/0,5	S, S+GT	500	6,0			240, 300, 365, 400 (50, 75) ^{xx} ,
PP4/0,6	-, S, S+GT, GT	600	7,0			
PP5/0,7	GT	700	8,0			240

^{x1} profilowane S tylko z piórem i wpustem

^{xx} gładkie i tylko w klasach PP2 i PP4

^{xxx} gładkie i tylko w klasie PP4

wane są w podstawowej wersji drążonej E oraz w wersji pełnej E-S. Bloki wapienno-piaskowe SILKA zaleca się układać na zaprawach do cienkich spoin („klejowych”), ale można układać je również na zaprawach zwykłych. Z uwagi na zastosowany system pióro-wpust seria SILKA E przystosowana jest do murowania ścian z niewypełnionymi spoinami pionowymi. Bloki posiadają ponadto wewnętrzne kanały elektryczne do prowadzenia wiązki instalacji w pionach. Bloki podstawowe osiągają

klasy wytrzymałości 15 MPa i 20 MPa, natomiast bloki pełne E-S klasy – 20 MPa i 25 MPa. Dodatkowym elementem systemu są bloki połówkowe SILKA 1/2E w grubościach 18 cm i 24 cm. Dostępny asortyment bloków SILKA i ich podstawowe wymiary zestawiono w tablicy 4.2. Podstawowe parametry fizyko-mechaniczne bloków SILKA oraz wytrzymałościowe na ściskanie ścian z nich wykonanych, przyporządkowane odpowiednim ich klasom podano w tablicy 5.2.

Tablica 4.2. Oznaczenia i wymiary bloków SILKA E

Oznaczenie	Gęstość objętościowa [kg/m ³]	Wymiary		
		długość (±2,0 mm)	wysokość (±1,0 mm)	szerokość (±2,0 mm)
SILKA E8	1380	333	198	80
SILKA E12				120
SILKA E15				150
SILKA E18, E18S	180			
SILKA E24, E24S	240			
SILKA 1/2E18	1400	166		180
SILKA 1/2E24	1440			240

Tablica 5.1. Wytrzymałości charakterystyczne i obliczeniowe ścian z bloczków YTONG

Klasa	Wytrzymałość				
	Średnia materiału w stanie wilgotności 6 ± 2% [MPa]	Średnia materiału w stanie suchym [MPa]	Charakterystyczna muru na ściskanie f _k [MPa]	Obliczeniowa muru na ściskanie f _d [MPa]	
				kategoria A	kategoria B
PP1,5	1,5	2,0	1,1	0,6	0,5
PP2	2,0	3,0	1,8	1,0	0,8
PP3	3,0	4,5	2,3	1,3	1,0
PP4	4,0	6,0	2,8	1,6	1,2
PP5	5,0	7,0	3,1	1,8	1,4

Tablica 5.2. Wytrzymałości charakterystyczne i obliczeniowe ścian z bloków SILKA E

Klasa wytrzymałości [MPa]	Średnia znormalizowana wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość		
		charakterystyczna muru na ściskanie f _k [MPa]	obliczeniowa muru na ściskanie f _d [MPa]	
			kategoria A	kategoria B
15	15,0	5,2	3,1	2,4
20	20,0	6,3	3,7	2,9
25	25,0	7,3	4,3	3,3

Wytrzymałości murów na rozciąganie zaleca się uwzględniać tylko w przypadku sprawdzania nośności ścian, które nie przenoszą obciążeń pionowych, a jedynie obciążenia poziome, prostopadłe do ściany. W zależności od zorientowania płaszczyzny, działania momentu zginającego względem płaszczyzny ściany, rozróżnia się wytrzymałość muru na rozciąganie:

a) przy zginaniu w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ściany, wyznaczana przy liniowym rozkładzie naprężeń w przekroju z zależności

$$f_x = \frac{M}{W}$$

b) wytrzymałość na rozciąganie osiowe działające w płaszczyźnie ściany f_t

Wytrzymałość charakterystyczną muru na rozciąganie przy zginaniu f_{xk} wyznacza się uwzględniając:

a) przekrój, w którym następuje zniszczenie muru:

- przez spoiny wsporne f_{xk1} ,
- w przekroju prostopadłym do spoin wspornych f_{xk2}

b) rodzaj materiału elementów murowych i przyporządkowania ich do odpowiedniej grupy elementów (1, 2 lub 3)

c) wytrzymałość średnią zaprawy na ściskanie f_m

Dla murów z bloczków YTONG przyjmuje się:

- klasa PP1, 5 $f_{xk1} = f_{xk2} = 0,10$ MPa
- klasy wyższe $f_{xk1} = 0,18$ MPa, $f_{xk2} = 0,20$ MPa

Dla elementów murowych SILKA E wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu można przyjmować:

- w przypadku zniszczenia w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych

$$f_{xk1} = 0,25 \text{ MPa}$$

- w przypadku zniszczenia w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych

$$f_{xk2} = 0,45 \text{ MPa}$$

Wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa muru ustala się odpowiednio do kategorii kontroli produkcji elementów murowych oraz do kategorii wykonania robót na budowie, tj.:

- kategorię A wykonania robót, gdy roboty murarskie wykonuje należycie wyszkolony zespół pod nadzorem majstra murarskiego, stosuje się zaprawy produkowane fabrycznie lub kontroluje się dozowanie składników i wytrzymałość zapraw wykonywanych na budowie, a jakość robót kontroluje osoba o odpowiednich kwalifikacjach, niezależna od wykonawcy,
- kategorię B wykonania robót, gdy warunki kategorii A nie są spełnione

Wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa dla muru przyjmowanych do obliczeń konstrukcji w sytuacjach trwałych i przejściowych podano w tablicy 6.

Dla wyjątkowych sytuacji obliczeniowych można przyjmować $\gamma_m = 1,3$, niezależnie od kategorii produkcji elementów murowych i kategorii wykonania robót.

Wytrzymałość obliczeniową muru na rozciąganie przy zginaniu należy obliczać ze wzoru:

$$f_{xd} = \frac{f_{xk}}{\gamma_m \cdot \eta_A}$$

gdzie współczynnik η_A wyraża wpływ pola przekroju elementu konstrukcji murowej o wartości mniejszej niż $0,3 \text{ m}^2$. Wartości współczynnika podano w tablicy 7.

W przypadku projektowania ścian przeciwogniowych najistotniejsze, poza wytrzymałościowymi, są własności murów wykonanych z bloczków YTONG lub SILKA opisujące ich klasyfikację ogniową. Zestawienie tych parametrów, szczegółowo omówionych w punkcie 1., w przypadku bloczków YTONG podaje tablica 8.1., a w przypadku bloków SILKA E - tablica 8.2.

Tablica 6. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla muru γ_m

Kategoria produkcji elementów murowych	Kategoria wykonania robót	
	A	B
I	1,7	2,2
II	2,2	2,5

Tablica 7. Wartości współczynnika η_A

Pole przekroju muru m^2	0,09	0,12	0,20	0,30
η_A	2,00	1,43	1,25	1,00

Tablica 8.1. Klasyfikacja ogniowa ścian z bloczków YTONG

Grubość ściany	Poziom obciążenia ^{x)}			
	0	0,2	0,6	1,0
175 > b ≥ 115	EI 120	-	-	-
240 > b ≥ 175	EI 240	REI 240	REI 240	REI 120
365 > b ≥ 240	EI 240	REI 240	REI 240	REI 240
b ≥ 365	EI 240	REI 240	REI 240	REI 240

Tablica 8.2. Klasyfikacja ogniowa ścian z bloków SILKA

Grubość ściany [cm]	Poziom obciążenia ^{x)}			
	0	0,2	0,6	1,0
8	EI 60	-	-	-
12	EI 120	REI 60	-	-
15	EI 120	REI 120	REI 60	-
18	EI 240	REI 240	REI 240	REI 120
24	EI 240	REI 240	REI 240	REI 240

^{x)} poziom obciążenia w proporcji do nośności ściany

2.2.2. Obliczanie ścian zewnętrznych

Zasadniczym obciążeniem ścian zewnętrznych jest parcie i ssanie wiatru. Wielkość tego obciążenia można ustalić wg normy PN-82/B-02011. W obliczeniach konstrukcji ostonowych należy uwzględnić zjawisko lokalnych zwiększonych oddziaływań krawędziowych. Z racji swoich funkcji ściany zewnętrzne występują na ogół jako podparte na wszystkich czterech krawędziach. Należy jednak zwrócić uwagę, że w ścianach ostabionych otworami okiennymi lub drzwiowymi występuje ograniczony wpływ bocznych zamocowań. Wymusza to sprawdzenie ich nośności w obszarze filara międzyokiennego jako belki podpartej w poziomie stropów. Obliczeniowy moment zginający M_{sd} w połowie wysokości ściany, w przypadku ściany podpartej tylko na poziomie stropów wyznacza się następująco:

a) w przypadku swobody obrotu przekroju na podporze

$$M_{sd} = \frac{1}{8} w_d L^2$$

gdzie

w_d – poziome obciążenie obliczeniowe przypadające na jednostkę długości ściany

L – rozpiętość obliczeniowa równa 1,05 odległości w świetle między podporami;

b) w przypadku ścian ciągłych na podporze lub utwierdzonych

$$M_{sd} = \frac{1}{16} w_d L^2$$

o ile warunki konstrukcyjne ściany pozwalają na przeniesienie przez ścianę na podporze analogicznej wartości momentu z odwrotnym znakiem.

W przypadku możliwych zwiększonych odkształceń skurczowych ścian, które mogą zredukować stopień zamocowania ścian na podporach, zaleca się przyjmować obliczeniowy moment zginający nie mniejszy niż:

$$M_{sd} = \frac{1}{12} w_d L^2$$

Otwory okienne i drzwiowe ograniczają korzystny wpływ podparcia ścian na krawędziach pionowych, nie zmniejszając równocześnie powierzchni oddziaływania wiatru. Do obliczeń filara międzyokiennego należy przyjmować stosowną szerokość pasa obciążenia wiatrem zgodnie z rysunkiem 1.:

Nośność ściany należy sprawdzać z warunku

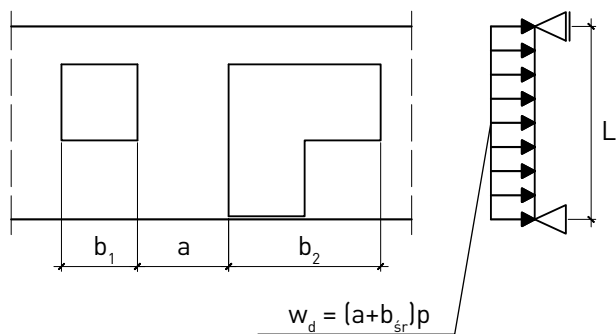
$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

w którym

$$M_{Rd} = f_{xd1} \cdot W$$

f_{xd1} – wytrzymałość obliczeniowa muru na rozciąganie przy zginaniu w przekroju przez spoiny wsporne

W – wskaźnik wytrzymałości przekroju



Rysunek 1. Zastępcze obciążenie ściany z otworami
(p – obciążenie wiatrem kPa)

Jeśli modelem obliczeniowym ściany jest płyta podparta wzdłuż trzech lub czterech krawędzi, należy w obliczeniach uwzględnić ortotropowe własności muru, zarówno przy wyznaczaniu momentów obliczeniowych M_{Sd} jak i nośności ściany na zginanie M_{Rd} . Różne własności mechaniczne ścian w płaszczyźnie spoin wspornych i płaszczyźnie do niej prostopadłej powodują odmienne rozkłady momentów zginających niż wynika to z liniowej teorii sprężystości ciał izotropowych. Stosowaną metodę obliczania ściany przy takim założeniu podano w załączniku E do PN-B-03002:1999.

Nośność na zginanie ściany sprawdza się w zależności od oczekiwanego mechanizmu zniszczenia muru z następujących wzorów:

– dla zniszczenia w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych

$$M_{Sd} = \alpha \cdot w_d \cdot L^2 \leq M_{Rd} = f_{xd2} \cdot W$$

– dla zniszczenia w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych

$$M_{Sd} = \mu \cdot \alpha \cdot w_d \cdot L^2 \leq M_{Rd} = f_{xd1} \cdot W$$

w których:

α – współczynnik momentu zginającego, zależny od stosunku nośności w obu kierunkach ortogonalnych, stopnia zamocowania na krawędzi ściany i stosunku wysokości do długości ściany podany w tabeli E.1 w PN-B-03002:1999.

$\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}}$ – ortogonalny stosunek wytrzymałości na zginanie muru,

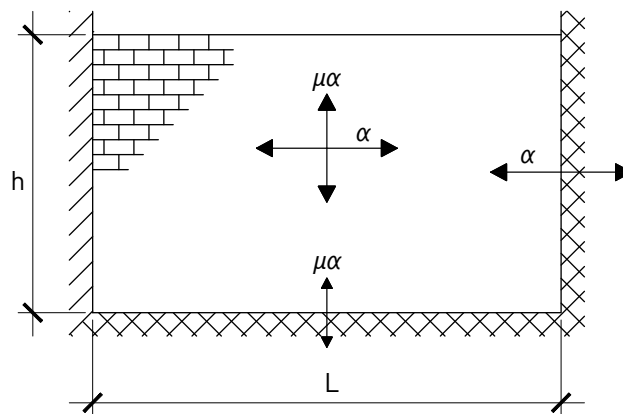
L – długość ściany między podporami,

w_d – obciążenie obliczeniowe wiatrem na jednostkę powierzchni,

f_{xd1}, f_{xd2} – wytrzymałości obliczeniowe na rozciąganie przy zginaniu odpowiednio w przekroju przez spoiny wsporne i w przekroju prostopadłym do spoin wspornych.

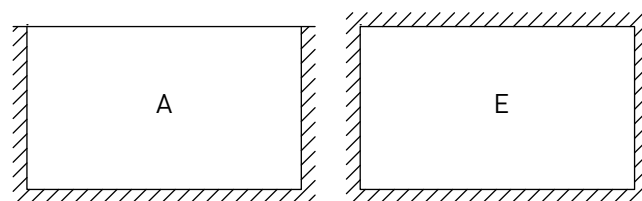
Na rysunku 2. przedstawiono schemat obliczeniowy ściany odpowiadający podanym wyżej wzorom.

Kiedy stosunek wysokości h do długości L (czyli odległość między ścianami usztywniającymi lub słupami



Rysunek 2. Schemat obliczeniowy ściany ortotropowej

konstrukcji szkieletowej) nie mieści się w przedziale wartości h/L, dla których podano wartości α w załączniku E do normy PN-B-03002:1999, w obliczeniach ściany nie należy już uwzględniać jej podparcia na obwodzie. W tabeli 9. podano przykładowy wyciąg z tabeli E.1 PN-B-03002:1999, znajdujący najczęstsze zastosowanie w praktycznych przypadkach ścian podpartych swobodnie na krawędziach.



Rysunek 3. Schematy statyczne płyt:

A – podparta swobodnie na trzech krawędziach,

E – podparta swobodnie na czterech krawędziach.

Model płyty opartej na obwodzie znajduje zastosowanie nie tylko do ścian bez otworów lub z otworami o dostatecznie małych wymiarach, aby można je było pominąć w obliczeniach, lecz również do ścian z jednym dużym otworem. Możliwe są dwa warianty podziału ściany na płyty składowe. Sprawdza się nośność wybranych myślowo płyt, przy założeniu, że przejmują one główną część obciążenia poziomego oddziałującego na ścianę, pomijając sprawdzenie warunków nośności dla pozostałych, przy założeniu, że nie uczestniczą w pełni w przenoszeniu obciążeń. Sposób podziału ściany z otworem przedstawiono na rysunku 4. Należy jednak w takim modelu stosować zwiększone obciążenie obliczeniowe wiatrem w stosunku a_w/b tj.:

$$w_d^* = \frac{a_w}{b} w_d$$

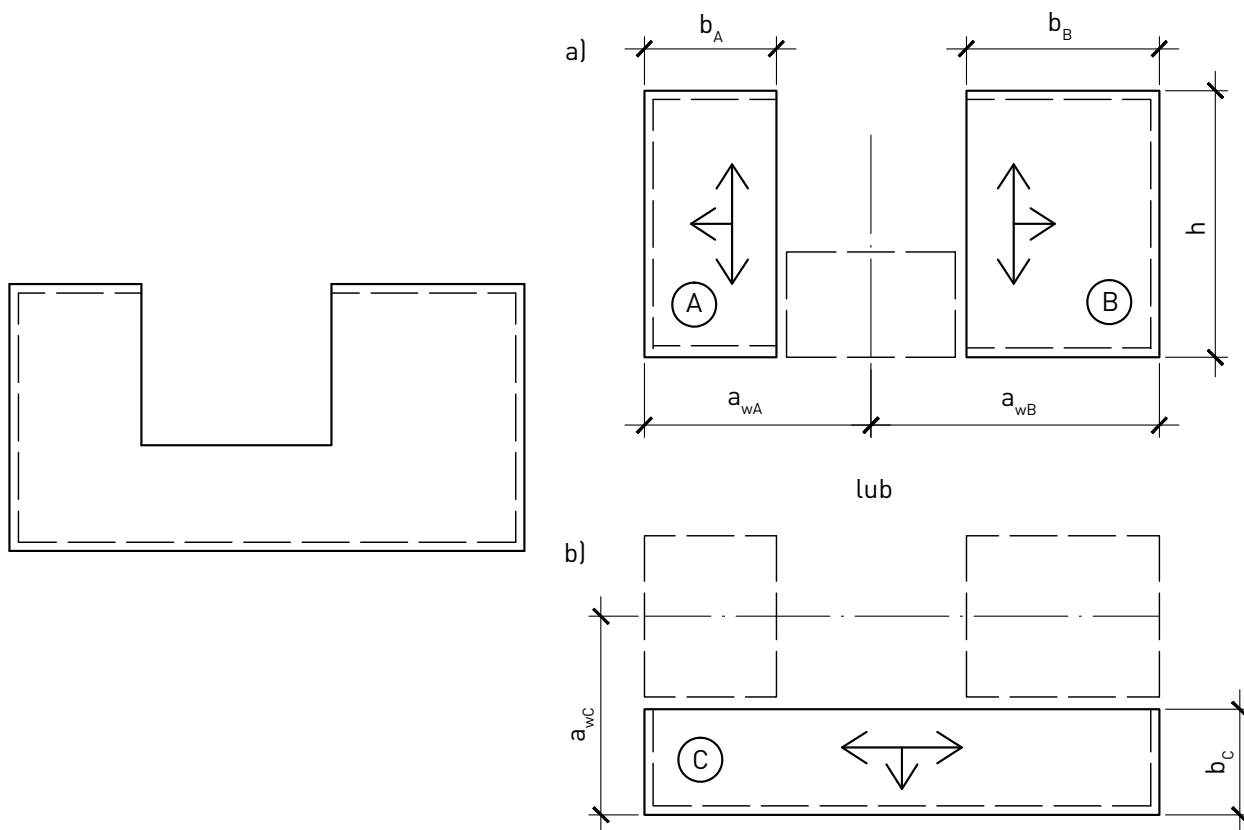
gdzie

a_w – szerokość pasma obciążenia wiatrem przejmowanego przez rozpatrywaną płytę

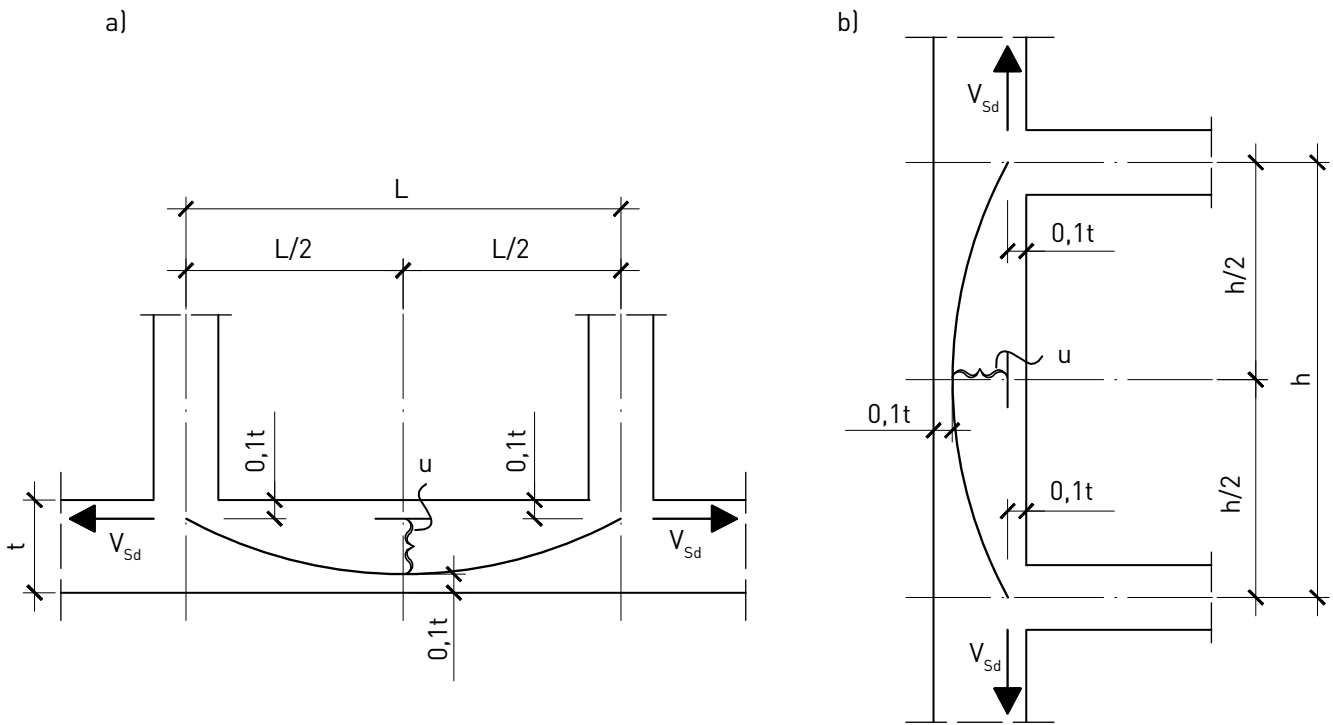
b – szerokość rozpatrywanej płyty.

Tablica 9. Wartości współczynnika α

Schemat statyczny	μ	Współczynnik α							
		h/L							
		0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
A	1,00	0,031	0,045	0,059	0,071	0,079	0,085	0,090	0,094
	0,90	0,032	0,047	0,061	0,073	0,081	0,087	0,092	0,095
	0,80	0,034	0,049	0,064	0,075	0,083	0,089	0,093	0,097
	0,70	0,035	0,051	0,066	0,077	0,085	0,091	0,095	0,098
	0,60	0,038	0,053	0,069	0,080	0,088	0,093	0,097	0,100
	0,50	0,040	0,056	0,073	0,083	0,090	0,095	0,099	0,102
	0,40	0,043	0,061	0,077	0,087	0,093	0,098	0,101	0,104
	0,35	0,045	0,064	0,080	0,089	0,095	0,100	0,103	0,105
	0,30	0,048	0,067	0,082	0,091	0,097	0,101	0,104	0,107
E	1,00	0,008	0,018	0,030	0,042	0,051	0,059	0,066	0,071
	0,90	0,009	0,019	0,032	0,044	0,054	0,062	0,068	0,074
	0,80	0,010	0,021	0,035	0,046	0,056	0,064	0,071	0,076
	0,70	0,011	0,023	0,037	0,049	0,059	0,067	0,073	0,078
	0,60	0,012	0,025	0,040	0,053	0,062	0,070	0,076	0,081
	0,50	0,014	0,028	0,044	0,057	0,066	0,074	0,080	0,085
	0,40	0,017	0,032	0,049	0,062	0,071	0,078	0,084	0,088
	0,35	0,018	0,035	0,052	0,064	0,074	0,081	0,086	0,090
	0,30	0,020	0,038	0,055	0,068	0,077	0,083	0,089	0,093



Rysunek 4. Podział płyty ściennej z dużym otworem



Rysunek 5. Efekt podparcia łukowego:
 a) w kierunku poziomym
 b) w kierunku pionowym

Typowy podział płyty z otworem przedstawiono na rysunku 4.a. Wariant 4.b. znajduje zastosowanie wówczas, gdy otwór okienny jest bardzo szeroki. Można przyjąć wtedy, że w poziomie nad stropem rozpatrywanej kondygnacji ściana jest utwierdzona.

W przypadku, gdy ściana jest wbudowana między podpory zdolne przejść rozpor łuku, ścianę można obliczać, zakładając, że w jej grubości kształtuje się łuk trójprzegubowy. Zakłada się, że oparcie tego łuku na podporach i w przegubie środkowym znajduje się w odległości $0,1 \cdot t$ od powierzchni ściany (rysunek 5.).

Przy sprawdzaniu nośności ściany obciążonej wiatrem efekt łuku uwzględnia się jedynie w kierunku poziomym (rysunek 5.a.). Przy sprawdzaniu na obciążenia wyjątkowe – efekt łuku uwzględnia się również w kierunku pionowym (rysunek 5.b.).

Wartość rozporu łuku jest uzależniona od przyłożonego obciążenia, wytrzymałości muru na ściskanie oraz nośności połączenia pomiędzy ścianą, a podporą. Należy pamiętać, że nośność takiego łuku może ulec zmniejszeniu w wyniku spadku siły rozporu wywołanej np. skurczem ściany.

Nośność ściany podpartej łukowo należy sprawdzać z warunków:

a) na maksymalną wartość obliczeniową rozporu łuku na pasmo ściany o jednostkowej wysokości

$$V_{Sd} = \frac{w_d L^2}{8u} \leq V_{Rd} = 1,5 \cdot f_d \cdot \frac{t}{10}$$

b) na jednostkowe poziome obciążenie obliczeniowe

$$q_{Sd} = w_d \leq q_{Rd} = f_d \cdot \left(\frac{t}{L} \right)^2$$

w których:

u – strzałka łuku określona zależnością

$$u = 0,8 \cdot t - d$$

d – ugięcie łuku pod poziomym obciążeniem obliczeniowym,

$$d = 0 \text{ dla } \frac{L}{t} \leq 25$$

t – grubość ściany,

q_{Rd} – jednostkowa nośność łuku na obciążenia poziome,

w_d – poziome obciążenie obliczeniowe, przypadające na jednostkę długości ściany.

Przy sprawdzaniu ściany w kierunku pionowym w powyższych wzorach jako wielkość L należy przyjąć wysokość ściany h, natomiast jako w_d – poziome obciążenie obliczeniowe, przypadające na jednostkę wysokości ściany.

2.2.3. Obliczanie ścian wewnętrznych

W przypadku ścian wewnętrznych, nienośnych, polskie normy i przepisy nie określają obciążeń, które należy uwzględnić przy ich projektowaniu ani szczegółowych zasad ich obliczeń. W zakresie tym można posłużyć się normą niemiecką DIN 4103-1:1984-07. Rozróżnia się w niej dwa typy obszarów zabudowy (typy pomieszczeń) ścian nienośnych:

Typ 1

Pomieszczenia, w których jednocześnie przebywa nieznaczna ilość osób, jak np.: mieszkania, hotele, biura, pomieszczenia szpitalne i inne podobnie wykorzystywane pomieszczenia.

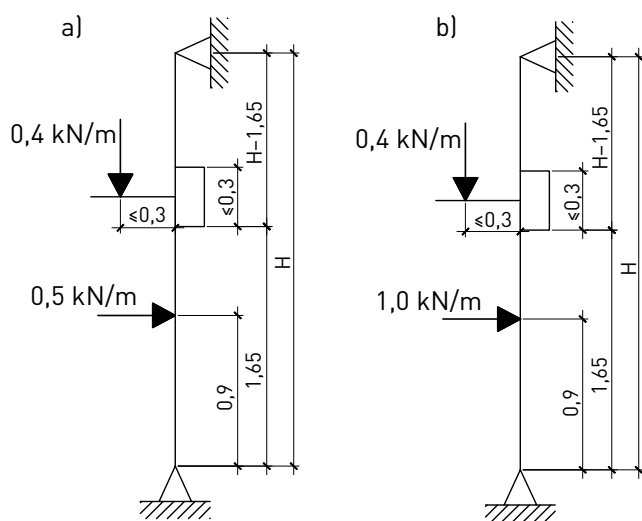
Typ 2

Pomieszczenia, w których jednocześnie może przebywać znaczna ilość osób, jak np.: duże sale widowiskowe, sale szkolne, sale wykładowe, hale wystawowe i sklepowe i inne podobnie wykorzystywane pomieszczenia.

Norma DIN 4103-1:1984-07 zaleca obliczać nienośne ściany wewnętrzne na następujące obciążenia zastępcze:

- pionowe mimośrodowe obciążenie liniowe o wartości $0,4 \text{ kN/m}$, przyłożone na mimośrodku o wartości nie mniejszej niż $0,3 \text{ m}$ od lica ściany,
- poziome obciążenia liniowe zaczepione na wysokości $0,9 \text{ m}$ ponad poziomem posadzki o wartościach:
 - $0,5 \text{ kN/m}$ w obszarze zabudowy (pomieszczeniach) typu 1,
 - $1,0 \text{ kN/m}$ w obszarze zabudowy (pomieszczeniach) typu 2.

Schematy tych obciążeń przedstawiono na rysunku 6.



Rysunek 6. Schematy obciążeń dla ścian nienośnych wg DIN 4103-1: 1984-07

- dla ścian w obszarach typu 1
- dla ścian w obszarach typu 2

2.2.4. Zapobieganie zarysowaniu ścian wypełniających

Wszystkie ściany wypełniające, w tym ściany pełniące funkcje wydzielające w budynku jako bariery przeciwogniowe, współuczestniczą w pracy statycznej całego budynku. Ściany nienośne, które nie zostały zaprojektowane do przenoszenia obciążeń pionowych, mogą również przejmować oddziaływania, którym poddawany jest budynek. Jeśli wielkość tych oddziaływań spowoduje przekroczenie granicznych naprężeń głównych w ścianie, nastąpi jej zarysowanie.

Źródłem takich oddziaływań mogą być deformacje budynku związane z nadmiernym lub nierównomiernym osiadaniem oraz ugięcia stropów.

W pierwszym przypadku, najczęściej w wyniku błędów posadowienia obiektu, pojawiają się odkształcenia konstrukcji nośnej budynku, które pociągają za sobą wymuszone odkształcenia ścian wypełniających. Jeśli nie zostały one wykonane z dostatecznie dużymi dylatacjami i podatnymi połączeniami z konstrukcją, wystąpią zarysowania i uszkodzenia tych ścian. Zapobiec tego typu uszkodzeniom można właściwie tylko na etapie projektu. Sposób i rozwiązanie posadowienia obiektu powinny prawie zawsze opierać się o dokumentację geotechniczną. Prawidłowe rozwiązanie konstrukcyjne należy jeszcze skutecznie kontrolować na etapie wykonania fundamentów, szczególnie jeśli w podłożu zalegają grunty spoiste. Naprawa błędów zaistniałych na tym etapie wznoszenia obiektu jest później bardzo trudna i kosztowna.

Drugą, znacznie szerszą grupą źródeł zarysowania ścian wypełniających, są ugięcia stropów w budynku. Dotyczy to zarówno ugięć stropów, na których opierane są ściany, jak i stropów nad tymi ścianami. Nadmierne ugięcia stropów, na których opierają się ściany, wywołują w nich wymuszone odkształcenia, powodując zarysowania w wyniku przekroczenia wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie. W przypadku ugięć stropów rozpiętych bezpośrednio nad ścianami wypełniającymi może nastąpić zniwelowanie szczeliny podstropowej i powstanie dodatkowego podparcia stropów. Ściana niekonstrukcyjna staje się podporą i przejmuje obciążenia, na które nie była projektowana. W skrajnym przypadku może ulec nie tylko zarysowaniu, ale również zniszczeniu.

Aby zapobiec tego typu uszkodzeniom, należy ograniczać ugięcia stropów zarówno przez nadawanie im odpowiedniej sztywności, jak i przestrzeganie prawidłowych warunków wykonania. Zaleca się w tym względzie wprowadzić ograniczenia:

- maksymalnych ugięć stropów do wartości

$$\frac{l_{\text{eff}}}{300}$$

- smukłości stropów do wartości

$$\frac{l_0^2}{d} \leq 150$$

gdzie:

l_{eff} – efektywna rozpiętość stropu, [m],

l_0 – umowna odległość między punktami zerowania momentów zginających w stropie wg PN-B-03264: 2002, [m],

d – wysokość użyteczna przekroju stropu, [m].

W fazie realizacji stropów monolitycznych szczególnie istotne jest przestrzeganie terminów usunięcia ich deskowań. Przedwczesne rozdeskowanie, gdy beton nie uzyskał jeszcze odpowiedniej wytrzymałości, zwłaszcza gdy strop wykorzystywany jest później do składowania materiałów do wznoszenia kolejnej kondygnacji, prowadzi do znacznego wzrostu ugięć.

Celem ograniczenia późniejszych zarysowań ścian należy ściśle przygotować organizację robót i następnie przestrzegać ustalonego harmonogramu:

- ściany wypełniające powinno się wykonywać możliwie późno, by ograniczyć wpływ przyrostu ugięć stropów z tytułu niepełnej wytrzymałości betonu i skurczu,
- wznoszenie ścian wypełniających wskazane byłoby zaczynać od najwyższej kondygnacji,
- tynkowanie ścian wypełniających należy realizować w terminie możliwie najodleglejszym, a uzupełnienie szczelin podstropowych bezpośrednio przed tynkowaniem.

Zalecane jest również stosowanie zabiegów konstrukcyjnych, zwiększających odporność ścian na zarysowanie lub ograniczających czynniki je wywołujące:

- stosowanie do murowania zapraw o znacznej odkształcalności; w tym względzie niecelowe jest stosowanie zapraw o wytrzymałości wyższej niż wymagana z obliczeń statycznych,
- stosowanie nadproży o konstrukcji umożliwiającej ich pracę w schemacie belki utwierdzonej na podporach poprzez zwiększenie długości oparcia nadproża i zastosowanie zbrojenia górnego,
- oddylatowanie ściany od stropu szczeliną grubości ok. 20 mm i wypełnienie jej materiałem ściśliwym, np. pianką montażową,
- wykonanie złączy pionowych ścian z konstrukcją w sposób umożliwiający deformacje pionowe

W systemie YTONG znajdują się prefabrykowane płyty stropowe ze zbrojonego betonu komórkowego. Stropy z płyt YTONG można stosować do przekrywania pomieszczeń o rozpiętości w świetle do 7,5 m. Ze względu na swoją konstrukcję i zalecaną smukłość wyrażaną stosunkiem rozpiętości do grubości płyty, stropy YTONG spełniają warunki ugięć zapobiegając spękaniami ścian z tym związanym.

Wykorzystanie podanych zaleceń powinno istotnie ograniczyć możliwości powstawania i zakres zarysowań ścian; całkowita ich eliminacja w praktyce jest jednak trudna. Należy również zwrócić uwagę na ilościową różnicę w obrazie spękań ścian murowanych na cienkie spoiny („klejonych”) oraz ścian murowanych na spoiny zwykłe. W pierwszym przypadku najczęściej występują mniej liczne spękania o nieco większej rozwarłości, w drugim przypadku występują znacznie liczniejsze spękania o mniejszej szerokości.

2.2.5. Maksymalne wymiary ścian

Ściany przeciwogniowe powinny spełniać kryteria stosownych wymogów pozwalających zapewnić bezpieczeństwo ogniowe poszczególnych stref pożarowych w budynkach. Potwierdzone atestem własności odporności ogniowej ścian z bloczków YTONG i SILKA zestawiono dla różnych grubości odpowiednio w tablicy 8.1. i 8.2. Podstawowe zasady obliczeń statycznych ścian, zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych, podano w punktach 2.2.2. i 2.2.3. W praktyce wiele wymogów norm można spełnić stosując się do zaleceń i wytycznych podanych w literaturze przedmiotu, bez wykonywania dodatkowych obliczeń statycznych. Najwięcej informacji w tym zakresie odnaleźć można w przedmiotowych normach niemieckich: DIN 4103-1 oraz DIN 1053-1. W poniższych tablicach zestawiono ograniczenia wymiarów ścian spełniające stosowne kryteria sztywności.

W tablicy 10. podano maksymalne zalecane powierzchnie ścian uzależnione od ich lokalizacji na wysokości ponad poziomem terenu. Dotyczy to ścian, które mogą podlegać działaniu wiatru.

Tablica 10. Maksymalne dopuszczalne powierzchnie ścian w m²

Grubość ściany mm	Największa dopuszczalna powierzchnia ściany przy wysokości ponad poziom terenu					
	0 m ÷ 8 m		8 m ÷ 20 m		20 m ÷ 100 m	
	$\varepsilon = 1,0$ m ²	$\varepsilon \geq 2,0$ m ²	$\varepsilon = 1,0$ m ²	$\varepsilon \geq 2,0$ m ²	$\varepsilon = 1,0$ m ²	$\varepsilon \geq 2,0$ m ²
115	12	8	8	5	6	4
175	20	14	13	9	9	6
200	36	25	23	16	16	12
≥ 300	50	33	35	23	25	17

Dla wartości ε z zakresu $1,0 < \varepsilon < 2,0$ można dokonać liniowej interpolacji. Dla ściany grubości 150 mm można dokonać liniowej interpolacji z podanych wartości dla grubości 115 mm i 175 mm. Dla ściany grubości 240 mm można przyjąć wartości jak dla grubości 200 mm.

W tabelicy 11. pokazany jest podział na trzy strefy wysokościowe, który wynika z normy DIN 1055-4 wprowadzającej gradację obciążenia wiatrem.

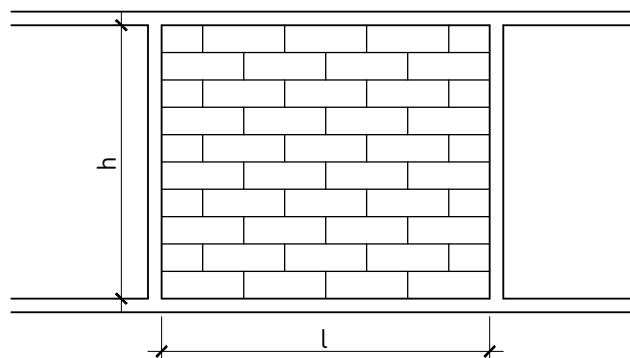
Wypadkowe parcie wiatru na ścianę określa się z zależności:

$$W = c_p \cdot q$$

w której c_p oznacza stosowny współczynnik aerodynamiczny.

Występujący w tabelicy 10 współczynnik ε jest stosunkiem dłuższego do krótszego wymiaru ściany:

$$\varepsilon = \frac{h}{l} \text{ gdy } h \geq l \text{ (rysunek 7.)}$$



Rysunek 7. Graniczna powierzchnia ściany $A=h \cdot l$ wg tabelicy 10.

Maksymalne długości nienośnych ścian murowanych podpartych na trzech krawędziach (swobodny górny brzeg) w budynkach o wysokości do 8 m podano w tabelicy 12. Klasa wytrzymałości wg tabelicy 12. określa granice wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu

Tabela 11. Profil obciążenia wiatrem wg DIN 1055-4

Wysokość nad terenem, m	Od 0 do 8	Ponad 8 do 20	Ponad 20 do 100
Prędkość wiatru, m/s	28,3	35,8	42,0
Wielkość ciśnienia wiatru, q, kN/m ²	0,5	0,8	1,1

Tabela 12. Maksymalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach

Grubość ściany mm	Klasa wytrzymałości	Obciążenie krawędziowe	Wysokość ściany, m						
			3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
			Maksymalna długość ściany, m						
175	6	nie	6,5	5,0	4,0	4,0			
		tak	3,5	3,0	3,0	3,0			
200	6	nie	8,5	7,0	5,5	5,0			
		tak	5,0	4,5	4,0	4,0			
240	4	nie	8,5	6,5	5,5	5,0			
		tak	4,5	4,0	4,0	3,5			
	6	nie	8,5	8,5	8,5	7,0			
		tak	8,5	7,0	5,5	5,0			
300	2	nie	6,0	4,5	4,0	4,0			
		tak	3,5	3,0	3,0	3,0			
	4	nie	8,5	8,5	8,5	7,5	6,5	6,0	6,0
		tak	8,5	8,0	6,0	5,5	5,0	5,0	5,0
	6	nie	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
		tak	8,5	8,5	8,5	8,5	7,5	7,0	6,5
365	2	nie	8,5	8,5	6,0	5,5			
		tak	6,0	5,0	4,5	4,0			
	4	nie	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
		tak	8,5	8,5	8,5	8,5	7,5	7,0	6,5
	6	nie	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
		tak	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5

odpowiednio: klasa 2 – 0,05 MPa, klasa 4 – 0,10 MPa (YTONG klasa PP1,5), klasa 6 – 0,15 MPa (YTONG klasa PP2 i wyższe; SILKA klasa 15 i wyższe). Obciążenie krawędziowe dotyczy działania wiatru na swobodną górną krawędź z szerokości pasa do 1500 mm.

W przypadku ścian wewnętrznych, niepodlegających działaniom wiatru, obowiązują zasady przedstawione w punkcie 2.2.3. Poniższe wytyczne konstrukcyjne opracowano na podstawie K. Kirtschig, W. Anstötz „Zur Tragfähigkeit von nichttragenden inneren Trennwänden in Massivbauweise”, Mauerwerk-Kalender 1986 oraz

Bericht Nr 675 K. Kirtschig „Grenzabmessungen von nichttragenden Innenwänden aus Hebel Planstein”, April 1995.

W tablicach 13. i 14. zestawiono maksymalne dopuszczalne długości ścian w zależności od ich grubości i wysokości, dla ścian podpartych na trzech krawędziach. Wartości pośrednie podane w tablicach można interpolować liniowo. Podane w tablicy 13. wartości dla ścian podpartych na czterech krawędziach można zwiększyć dwukrotnie. Występujące w ścianach otwory drzwiowe należy wówczas traktować jak brzeg swobodny.

Tablica 13. Dopuszczalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach – swobodna krawędź pionowa

Grubość ściany mm	Typ obszaru zabudowy	Wysokość ściany [m]								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	od 4,50 do 6,00
		Długość ściany [m]								
75	1	2,50	2,63	2,75	2,88	3,00	3,13	3,25	3,50	Nie badano
75	2	1,50	1,63	1,75	1,88	2,00	2,13	2,25	2,50	
100	1	3,50	3,63	3,75	3,88	4,00	4,13	4,25	4,50	
100	2	2,50	2,63	2,75	2,88	3,00	3,13	3,25	3,50	
115	1	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
115	2	3,00	3,13	3,25	3,38	3,50	3,36	3,75	4,00	
175	1	Bez ograniczeń							12,00 ^x	12,00 ^x
175	2	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	12,00 ^x	12,00 ^x
240	1	Bez ograniczeń							12,00 ^x	12,00 ^x
240	2	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	12,00 ^x	12,00 ^x

^x – dotyczy również ścian podpartych na czterech krawędziach

Tablica 14. Dopuszczalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach – swobodna krawędź pozioma (górna)

Grubość ściany mm	Typ obszaru zabudowy	Wysokość ściany [m]										
		2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	od 4,50 do 6,00
		Długość ściany [m]										
75	1	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,00	10,00	10,00	Nie badano
75	2	3,50	3,50	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,50	6,00	7,00	
100	1	8,00	9,00	10,00	10,00	10,00	11,00	12,00	12,00	12,00	12,00	
100	2	5,00	5,00	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	10,00	
115	1	8,00	9,00	10,00	10,00	10,00	11,00	12,00	12,00	12,00	12,00	
115	2	6,00	6,00	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,00	
175	1	Bez ograniczeń									12,00	12,00
175	2	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
240	1	Bez ograniczeń									12,00	12,00
240	2	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00

Dla ścian grubości 150 mm można stosować interpolację liniową.

Tablica 15. Dopuszczalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach z obciążeniem pionowym – swobodna krawędź pionowa

Grubość ściany mm	Typ obszaru zabudowy	Wysokość ściany [m]							
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
		Długość ściany [m]							
75	1	4,00	4,13	4,25	4,38	4,50	4,63	4,75	-
75	2	2,75	2,88	3,00	3,13	3,25	3,38	3,50	3,75
100	1	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
100	2	4,00	4,13	4,25	4,38	4,50	4,63	4,75	5,00
115	1	Bez ograniczeń							
115	2	Bez ograniczeń		6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
175	1 i 2	Bez ograniczeń							

W przypadku ścian, które w wyniku wypełnienia szczelin pod stropem mogą wskutek pełzania lub drgań stropów doznawać dociążenia, maksymalne dopuszczalne długości ścian zestawiono w tablicy 15.

Należy podkreślić, że wszystkie podane wartości dotyczą sytuacji, gdy połączenia i same podpory ścian są w stanie bezpiecznie przejść wszelkie przypadające na nie obciążenia.

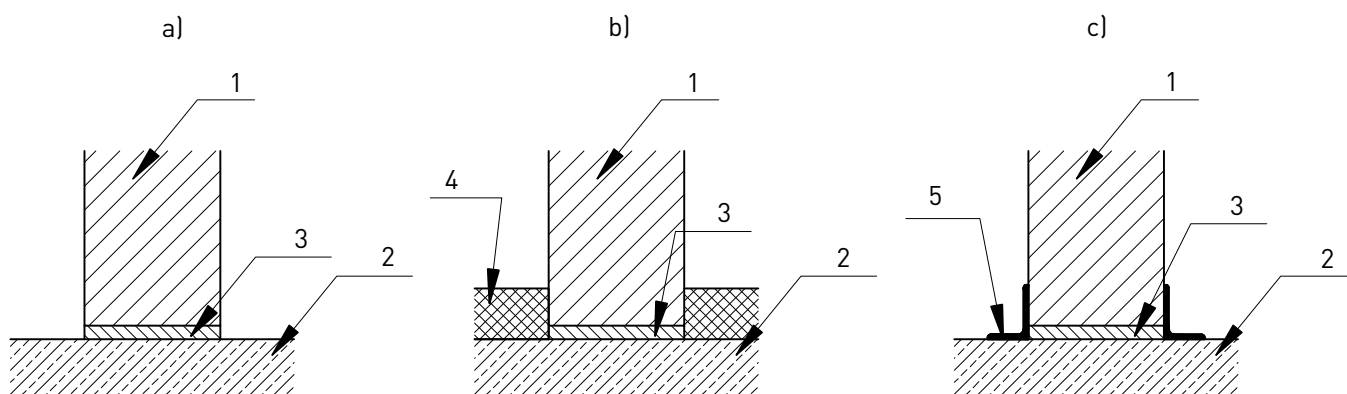
W przypadku ścian o dużych powierzchniach, np. w halach przemysłowych czy wystawowych graniczne wielkości dla ścian należy odnosić do pól znajdujących się w obszarach objętych konstrukcją nośną i wzmacniającą. Konstrukcja wzmacniająca musi być zdolna do przejścia wszelkich pionowych i poziomych oddziaływań przypadających na ścianę. W przypadku wykonania wszystkich połączeń ścian z konstrukcją wzmacniającą jako sztywne należy uwzględnić w obliczeniach dodatkowe obciążenie pionowe ścian wypełniających od ciężaru sekcji położonych wyżej lub stosować odpowiednio sztywne elementy wzmocnień, których deformacje nie wpływają na wzrost naprężeń w ścianach wypełniających.

3. SCHEMATY ROZWIĄZAŃ POŁĄCZEŃ ŚCIAN PRZECIWOGNIOWYCH

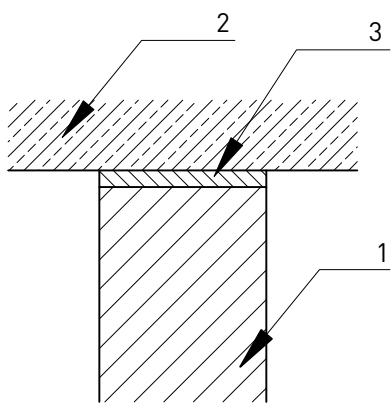
3.1. Połączenia sztywne

Wykonywanie połączeń sztywnych, w szczególności połączeń ze stropem na górnej krawędzi, wskazane jest wyłącznie w przypadku obiektów usztywnionych poprzecznie w obu kierunkach głównych, ze stropami o dużej sztywności giętej. Dolna krawędź ścian zazwyczaj jest oparta bezpośrednio na stropie lub posadzce. Rozwiązanie takie stwarza dobre warunki podparcia i z reguły może spełnić wymagania obliczeniowego zamocowania ściany. Przykłady schematów sztywnych podparć ścian przedstawiono na rysunku 8.

Najprostsze rozwiązanie (rysunek 8.a.) polega na podparciu ściany bezpośrednio na stropie na warstwie zaprawy. W rozwiązaniu wg rysunku 8.b. warstwa posadzki betonowej stanowi dodatkowe podparcie ściany na przesuw poziomy prostopadły do jej powierzchni. Podobną rolę mogą odgrywać stalowe kątowniki dłu-



Rysunek 8. Podparcie dolnej krawędzi ściany: 1 – ściana YTONG/SILKA, 2 – strop, 3 – warstwa zaprawy, 4 – posadzka betonowa, 5 – kątownik stalowy



Rysunek 9. Podparcie górnej krawędzi ściany: 1 – ściana YTONG/SILKA, 2 – strop, 3 – warstwa zaprawy

gości 150-200 mm, rozmieszczone w rozstawie ok. 1,0 m w przypadku nie wypełnionych spoin pionowych oraz ok. 2,0 m przy wypełnionych spoinach pionowych (rysunek 8.c.).

Sztywne połączenie ze stropem górnym przedstawiono na rysunku 9. Wypełnienie złącza zaprawą należy wykonywać jak najpóźniej, przed samym tynkowaniem. Cały styk należy wypełnić równomiernie stosując zaprawę o konsystencji gęstoplastycznej. Nie należy podbijać ani stemplować stropu. Zabiegi te mają na celu zminimalizowanie skutków nieuniknionego przekazywania się części obciążeń ze stropu górnego. W związku z tym, ten rodzaj styku zaleca się stosować tylko w wyjątkowych przypadkach.

Systemy sztywnych połączeń krawędzi pionowych ścian prezentuje rysunek 10. Rozwiązanie wg rysunku 10.a. zaleca się stosować wyłącznie w przypadku

ścian nieobciążonych wiatrem, o nieznacznych smukłościach. Złącze w postaci wiązania murarskiego (rysunek 10.b.) jest bardzo skuteczne, lecz kłopotliwe w wykonaniu, a w przypadku konstrukcji żelbetowych – wręcz niewykonalne. W przypadku konstrukcji żelbetowej połączenie można zrealizować za pomocą kotew stalowych lub szyn kotwiących (rysunek 10.c.). Można również alternatywnie stosować połączenie za pomocą prętów żebrowanych średnicy 6 do 8 mm, układanych w spoinach wspornych i mocowanych w otworach nawierconych w żelbetowych słupach czy ścianach.

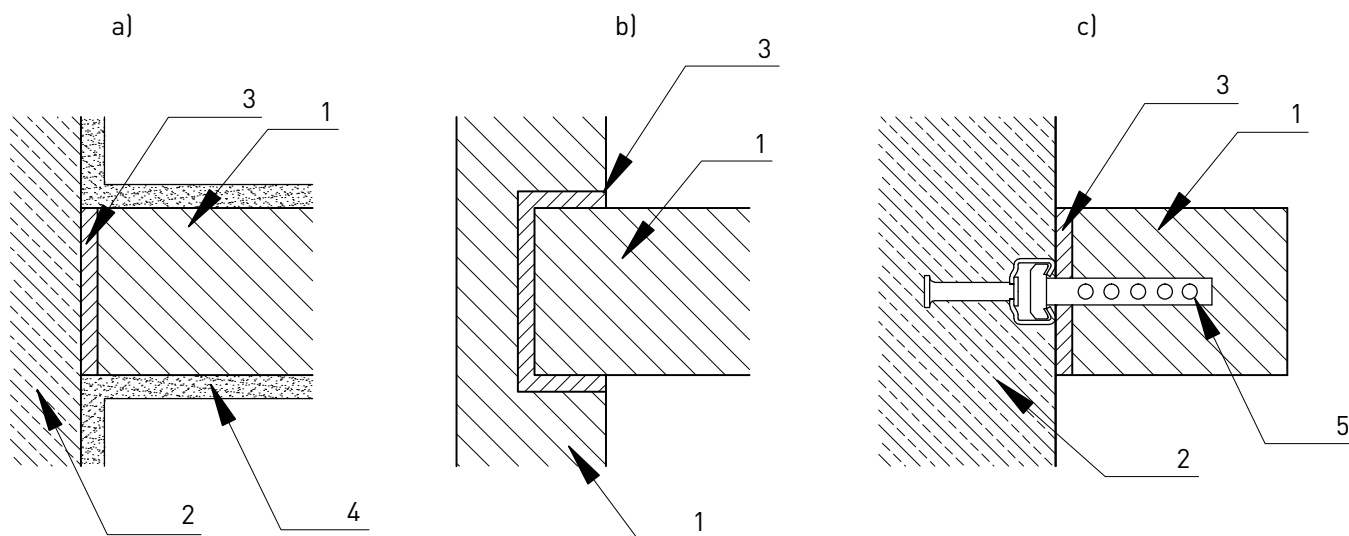
W każdym przypadku należy pamiętać, że wszystkie styki, zarówno poziome, jak i pionowe, w przypadku ścian ogniochronnych muszą być wykonane jako szczelne.

3.2. Połączenia elastyczne

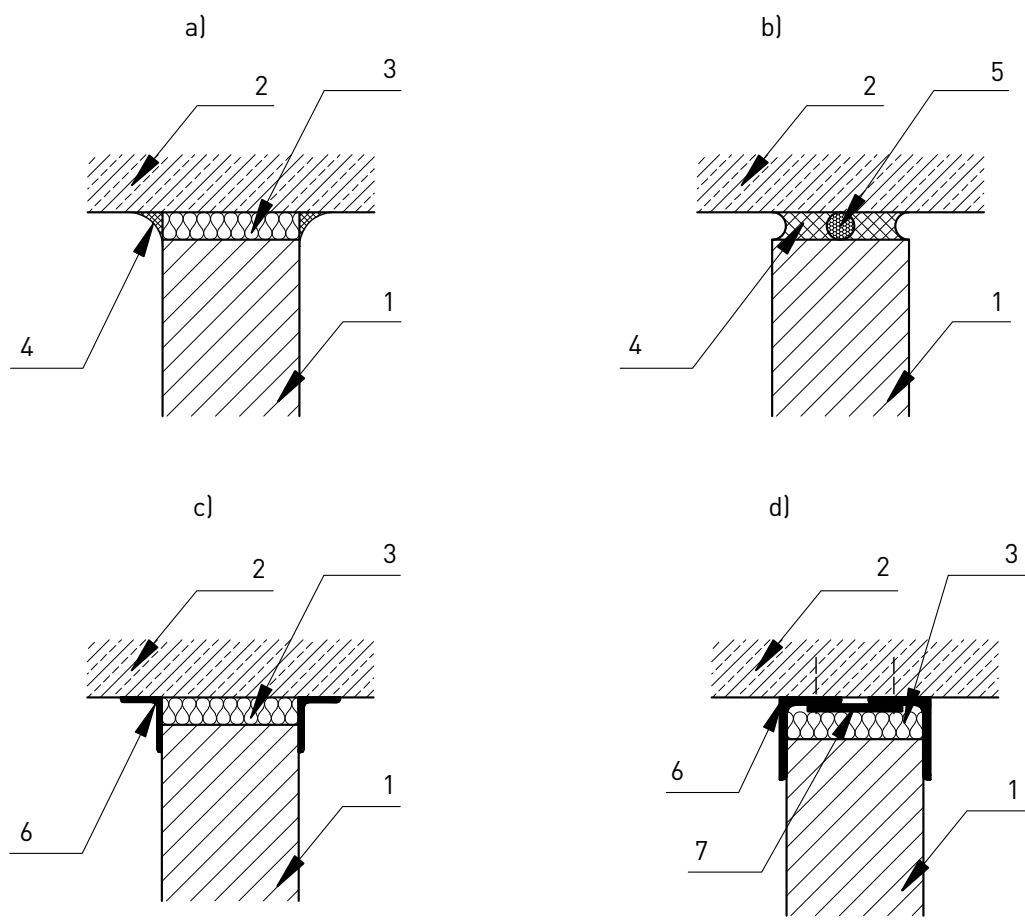
Połączenia elastyczne pozwalają na obrót ściany na podporze, realizując wytworzenie przegubowego podparcia. Dodatkowo można kształtować takie połączenie w sposób umożliwiający przesuw poprzeczny lub blokujący go.

W systemie ogniochronnych ścian wydzielających nie zaleca się stosowania podatnych połączeń dolnej krawędzi ścian.

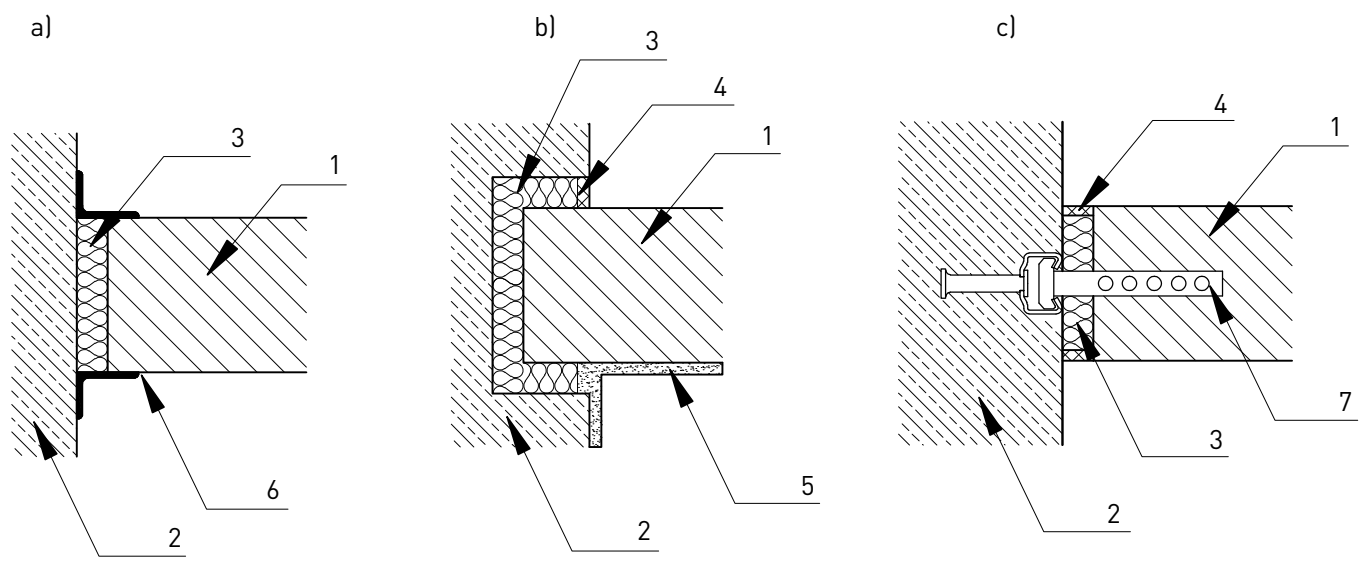
Rozwiązania podatnych styków poziomych (podstropowych) przedstawiono na rysunku 11. Złącza te zapewniają zdolność do odkształceń w płaszczyźnie ścian bez powstania istotnych sił w płaszczyźnie pionowej. Schematy a oraz b z rysunku 11. zalecane są w przypadku, gdy ścianom stawia się małe wymagania statyczne i w przypadku nieznacznej ich smukłości. Do uszczel-



Rysunek 10. Podparcie pionowej krawędzi ściany: 1 – ściana YTONG/SILKA, 2 – konstrukcja żelbetowa, 3 – warstwa zaprawy, 4 – tynk mineralny, 5 – kotwa stalowa lub stalowa szyna kotwiąca



Rysunek 11. Elastyczne połączenia ściany ze stropem: 1 – ściana YTONG/SILKA, 2 – strop, 3 – wełna mineralna, 4 – uszczelnienie ogniochronne, 5 – lina wypełniająca, 6 – kształtowniki stalowe, 7 – blacha stalowa



Rysunek 12. Elastyczne połączenia krawędzi pionowych ścian: 1 – ściana YTONG/SILKA, 2 – ściana lub strop żelbetowy, 3 – wełna mineralna, 4 – uszczelnienie ogniochronne, 5 – tynk mineralny, 6 – kształtowniki stalowe, 7 – kotwy stalowe lub szyny kotwiące

nień należy stosować wełny mineralne o temperaturze topnienia powyżej 1000 stopni Celsjusza. Wypełnienie elastyczne (4) również musi posiadać wysokie własności ogniochronne, niezmiennie w czasie.

W przypadku ścian o większej smukłości zaleca się stosować rozwiązania przedstawione na rysunkach 11.c. i 11.d. Złącza takie, wzmocnione profilami stalowymi zakotwionymi w stropie, zapewniają nieprzesuwność podparcia ściany. W przypadku wypełnienia spoin pionowych w murze można stosować podparcia punktowe długości 100 do 150 mm, rozstawione nie rzadziej niż 1,5 m. W przeciwnym przypadku zaleca się podparcie ciągłe.

Przykłady elastycznych mocowań krawędzi pionowych ścian podano na rysunku 12. Podobnie, jak przy stykach poziomych, należy stosować wełnę mineralną o temperaturze topnienia powyżej 1000 stopni Celsjusza. Grubość warstwy wełny nie powinna przekraczać 30 mm. Głębokość bruzdy w przypadku rozwiązania pokazanego na rysunku 12.b. nie powinna być mniejsza niż 50 mm. Wielkość i rozstaw kotew w rozwiązaniu 12.c. powinny wynikać z obliczeń statycznych, lecz mocowania nie należy umieszczać rzadziej niż co trzecią warstwę.

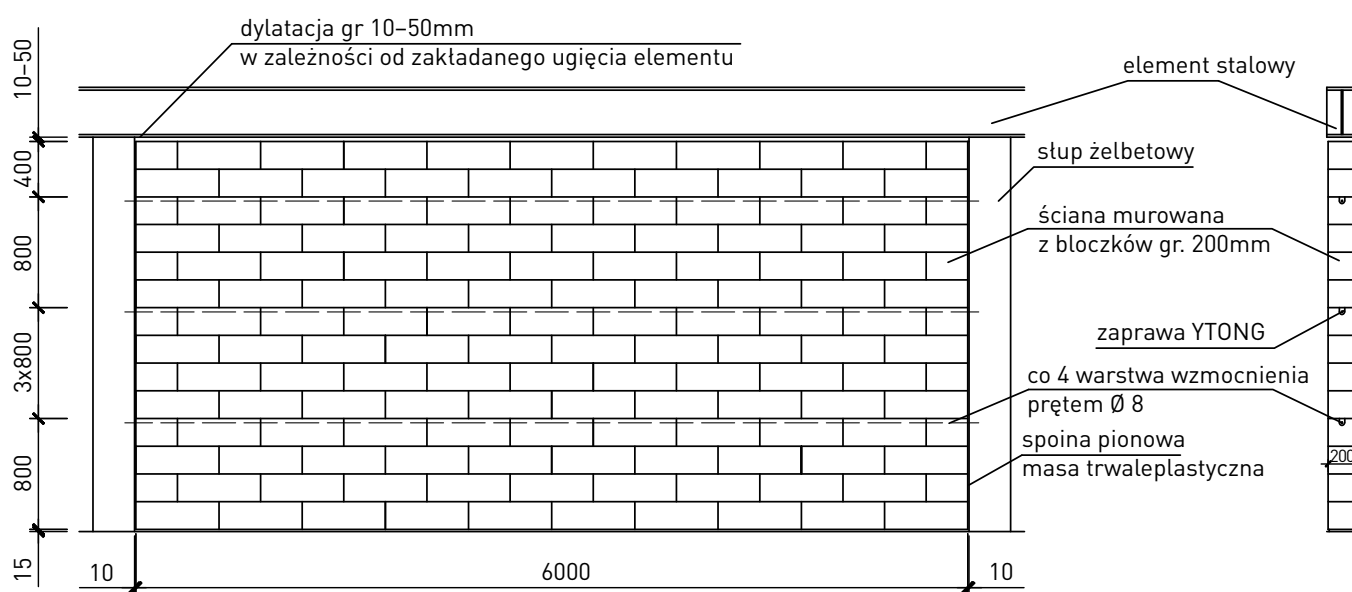
4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Wprowadzenie

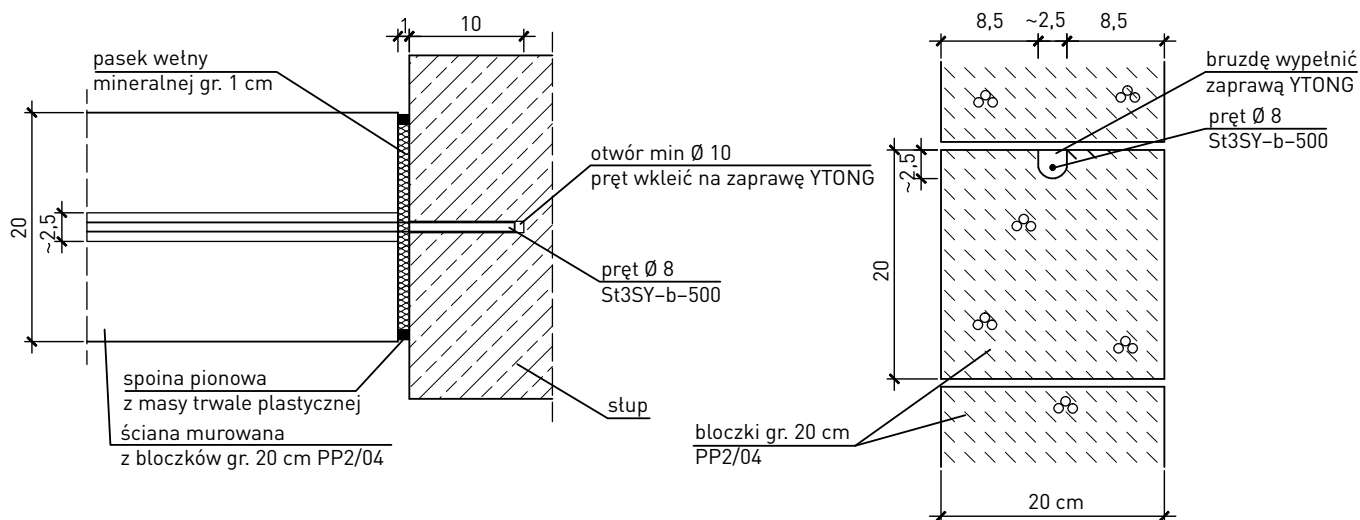
Konstrukcje murowe z bloczków YTONG lub SILKA należy projektować zgodnie z zasadami podanymi w normie PN-B-03002:2007 Konstrukcje murowe – Projektowanie i obliczanie. Przykłady obliczeń typowych konstrukcji murowych prezentowane są w licznych opracowaniach technicznych i podręcznikach. W niniejszym załączniku do wytycznych przedstawiono tok obliczeń dla nienośnej, wewnętrznej ściany wydzielającej, tym charakterystycznej, że nie połączona ze stropem u góry. Taka sytuacja może występować szczególnie często w obiektach przemysłowych (zwłaszcza w halach), gdzie potrzebne jest wydzielenie powierzchni użytkowych lub stref pożarowych za pomocą wolnostojących ścian rozpiętych w osiach głównej konstrukcji nośnej lecz nie połączonych z nią w sposób monolityczny. Brak stężących ściany stropów oraz znaczne rozpiętości i wysokości stanowią dodatkowe utrudnienie.

Przedmiot obliczeń

Przedmiotem obliczeń jest ściana wypełniająca (ogniowa) z bloczków YTONG stawiana w hali produkcyjnej. Ustrój nośny obiektu jest szkieletowy, z żelbetowymi słupami oraz dachem w konstrukcji stalowej. Budynek jest trzynawowy, o całkowitej długości 84,0 m, z częścią środkową wysokości 10,0 m i dwoma niższymi przybudówkami



Rysunek 13. Schemat obliczeniowy modułu ściany



Rysunek 14. Detale konstrukcyjne ściany

wysokości 5,0 m. Rozstaw ram głównych wynosi 6 m. Ściana jest realizowana po kompletnym wykonaniu obudowy obiektu z płyt warstwowych oraz montażu stolarki i bram. Oddziela ona halę główną od naw bocznych. Ściana posadowiona jest na betonowej podbudowie posadzki, przed wykonaniem górnej warstwy ścieralnej (por. rys.8.b.). Rozpięta jest między słupami i oddylatowana od stalowej konstrukcji dachu przybudówki.

Dane do obliczeń

Bloczki YTONG zalicza się do 1 grupy elementów murowych. Przyjęto bloczki PP2/0,4 oraz wypełnienie spoin zaprawą do cienkich spoin. Zakłada się kategorię A wykonania robót murowych.

Dane geometryczne:

- wysokość ściany $h = 4,4 \text{ m}$,
- grubość ściany $t = 20 \text{ cm}$,
- rozpiętość ściany $L = 6,0 \text{ m}$.

Widok modułu ściany i jej zasadnicze elementy przedstawiono na rysunku 13. Wybrane detale konstrukcyjne na rysunku 14.

Dane materiałowe

- ciężar objętościowy muru $\gamma = 5,0 \text{ kN/m}^3$,
- średnia wytrzymałość elementu murowego na ściskanie $f_B = 3,0 \text{ MPa}$,
- znormalizowana wytrzymałość na ściskanie blozków

$$f_b = \eta_w \cdot \delta \cdot f_B = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,0 = 2,4 \text{ MPa}$$

gdzie

η_w - współczynnik, uwzględniający stan wilgotności badanego elementu murowego (w przypadku próbek wyciętych z autoklawizowanego betonu komórkowego w stanie powietrzno-suchym przyjęto równy 0,8),

δ - współczynnik kształtu (przyjęto dla kostek sześciennych o boku 100 mm, $\delta = 1,0$),

- zaprawa klasy M5

- cecha sprężystości muru wg badań ITB do aprobaty AT-15-2700/2001

$$\alpha_{c,\infty} = 550$$

- wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} = 0,75 \cdot 2,4^{0,85} = 1,6 \text{ MPa}$$

gdzie K jest współczynnikiem z tablicy 2 normy PN-B-03002:2007 (należy zwrócić uwagę na nową formułę zamieszczoną w nowelizacji normy z 2007 roku)

- częściowy współczynnik bezpieczeństwa $\gamma = 1,7$

- wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{1,6}{1,7} = 0,9 \text{ MPa}$$

- wytrzymałość charakterystyczna muru na rozciąganie przy zginaniu

w przekroju przez spoiny wsporne $f_{xk1} = 0,18 \text{ MPa}$

w przekroju prostopadłym do spoin wspornych

$f_{xk2} = 0,20 \text{ MPa}$

(należy podkreślić, że przytoczone wartości dotyczą wyłącznie blozków YTONG na podstawie badań ITB do aprobaty AT-15-2700/2001, w normie PN-B-03002:2007 dla wyrobów z autoklawizowanego betonu komórkowego przewidziano $f_{xk1} = f_{xk2} = 0,035 \cdot f_b$, co dałoby w rozpatrywanym przypadku wartość 0,08 MPa)

- wytrzymałość obliczeniowa muru na rozciąganie przy zginaniu

$$f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{\gamma_m} = \frac{0,18}{1,7} = 0,11 \text{ MPa}$$

$$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{\gamma_m} = \frac{0,20}{1,7} = 0,12 \text{ MPa}$$

Obciążenia

Polskie Normy nie precyzują rodzaju ani wielkości obciążeń ścian murowanych rozpatrywanych w przykładzie. Do obliczeń można wykorzystać zalecenia podane w DIN 4103-1:1984-07 modyfikując je stosownie do innych wymogów PN. Ponadto schemat statyczny przedstawiony na rysunku 6. nie jest zupełnie adekwatny, bowiem ściana posiada swobodny górny brzeg, jest natomiast podparta dodatkowo na dwóch pionowych krawędziach.

Ostatecznie przyjęto do obliczeń trzy kombinacje obciążeń:

- 1) obciążenie ciężarem własnym ściany oraz pionowe obciążenie o wartości 0,4 kN/m na mimośrodku 0,3 m (kombinacja ze względu na obciążenia pionowe)
- 2) poziome obciążenie o wartości 0,5 kN/m działające na wysokości 0,9 m od poziomu posadzki (kombinacja ze względu na obciążenia poziome)
- 3) obciążenie wiatrem (kombinacja porównawcza, ściana formalnie nie będzie podlegać parciu wiatru)

Wartości obliczeniowe obciążeń otrzymuje się poprzez zastosowanie częściowych współczynników bezpieczeństwa:

- 1,1 dla ciężaru własnego,
- 1,2 dla obciążeń użytkowych
- 1,3 dla obciążeń wiatrem

Obliczenia

Wymagania konstrukcyjne oraz zasady obliczeń podane w normie PN-B-03002:2007 dotyczą wyłącznie ścian nośnych obciążonych głównie pionowo lub ścian poddanych działaniu wiatru czy też obciążeniu wyjątkowemu. Rozpatrywana ściana formalnie nie należy do żadnej z omawianych w normie grup. W związku z tym sprawdzenie nośności należy wykonać indywidualnie. W przykładzie wykorzystane zostaną obciążenia wg schematów podanych wyżej.

Sprawdzenie nośności ściany na obciążenia pionowe zostanie wykonane w przekroju przy podstawie

Obciążenia pionowe przypadające na 1 mb ściany:

- maksymalna siła osiowa wywołana ciężarem własnym $G = 1,1 \cdot \gamma \cdot t \cdot h \cdot 1,0 = 1,1 \cdot 5,0 \cdot 0,2 \cdot 4,4 \cdot 1,0 = 4,84 \text{ kN}$
- siła osiowa wywołana obciążeniem użytkowym $P = 1,2 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 0,48 \text{ kN (ok. 10\% G)}$

Siła osiowa przy podstawie ściany

$$N_{sd} = 4,84 + 0,48 = 5,32 \text{ kN}$$

Mimośród niezamierzony

$$e_a = \frac{h}{300} = \frac{4,4}{300} = 0,015 \text{ m} > 0,01 \text{ m}$$

Mimośród wypadkowy obciążeń

$$e_m = \frac{4,84 \cdot 0,015 + 0,48 \cdot 0,3}{4,84 + 0,48} = 0,04 \text{ m}$$

Na podstawie zaleceń PN-B-03002:2007 nie można określić długości efektywnej ściany. Pomimo, że długość ściany nie przekracza wartości $30 \cdot t = 30 \cdot 0,2 = 6,0 \text{ m}$ brak jest możliwości uwzględnienia wpływu zamocowania krawędzi pionowych, bowiem norma nie uwzględnia schematu statycznego ze swobodną górną krawędzią. Jediną możliwością byłoby przyjęcie schematu ściany wolnostojącej ze współczynnikiem $\rho_h = 2,0$ (jak dla pionowego wspornika z obciążeniem skupionym w węźle górnym) co byłoby rozwiązaniem bardzo asekuracyjnym. Zdaniem autora w rozpatrywanym przypadku można jednak przyjąć $\rho_h = 1,12$ (jak dla wspornika obciążonego równomiernie wzdłuż wysokości) z uwagi na dominujący wpływ obciążenia ciężarem własnym oraz bezpiecznie $\rho_3 = 1,0$. Wówczas wysokość efektywna będzie

$$h_{\text{eff}} = \rho_h \cdot \rho_n \cdot h = 1,12 \cdot 1,0 \cdot 4,4 = 4,9 \text{ m}$$

a rzeczywista smukłość wyniesie

$$\frac{h_{\text{eff}}}{t} = \frac{4,9}{0,2} = 24,5$$

Jest to wartość wyższa od zalecanej przez normę dla ścian konstrukcyjnych z autoklawizowanego betonu komórkowego przyjętej jako 18, lecz dla ścian nienośnych możliwa do zaakceptowania.

Przy takich założeniach współczynnik redukcyjny wyrażający wpływ efektów drugiego rzędu wyniesie

$$\Phi_m = \left(1 - 2 \frac{e_m}{t}\right) \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} = \left(1 - 2 \frac{0,04}{0,2}\right) \cdot 2,718^{-\frac{1,97^2}{2}} = 0,09$$

gdzie podstawiono

$$\lambda = \frac{h_{\text{eff}}}{t} \sqrt{\frac{1}{\alpha_{c,\infty}}} = \frac{4,9}{0,2} \sqrt{\frac{1}{550}} = 1,04$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_m}{t}} = \frac{1,04 - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{0,04}{0,2}} = 1,97$$

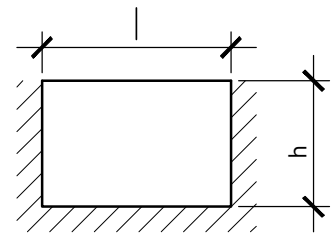
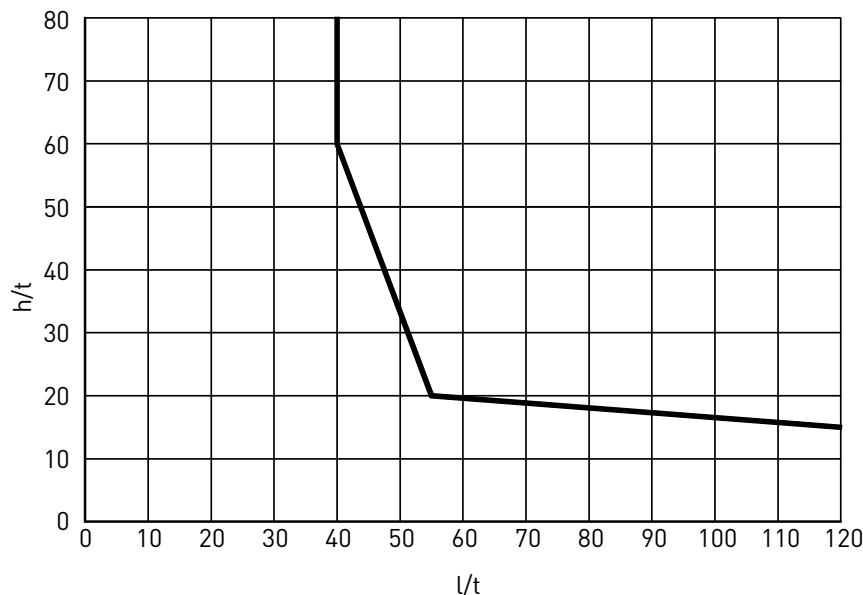
Nośność ściany na ściskanie wynosi

$$N_{Rd} = \Phi_m \cdot A \cdot f_d = 0,09 \cdot 0,2 \cdot 1,0 \cdot 900 = 16,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności jest spełniony

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} = \frac{5,32}{16,2} = 0,33 < 1,0$$

Należy zwrócić uwagę na bardzo znaczną redukcję nośności z uwagi na smukłość ściany. Warunek został spełniony, gdyż ściana podlega działaniom bardzo nieznaczących sił osiowych. Przy konstruowaniu ścian przenoszących niewielkie siły osiowe wskazane jest rozsądne ograniczenie ich smukłości. Pomocny w tym względzie dla rozpatrywanego przykładu może być wykres zaczerpnięty z załącznika do normy prEN 1996-1-1: 2003 zamieszczony na rysunku 15.



Rysunek 15. Graniczne wartości smukłości ścian podpartych na trzech krawędziach obciążonych głównie poziomo wg prEN 1996-1-1:2003

W przykładzie jest

$$\frac{h}{t} = \frac{4,4}{0,2} = 22 \text{ oraz } \frac{L}{t} = \frac{6,0}{0,2} = 30$$

co klasyfikuje rozpatrywaną ścianę w bezpiecznym zakresie.

Dodatkowo jeszcze należy sprawdzić nośność ściany na zginanie mimośrodowo działającym obciążeniem użytkowym, wywołującym moment

$$M_{Sd1} = 0,48 \cdot 1,0 \cdot 0,3 = 0,14 \text{ kNm}$$

Wskaźnik wytrzymałości przekroju ściany wynosi

$$W = \frac{1 \cdot t^2}{6} = \frac{1 \cdot 0,2^2}{6} = 0,0067 \text{ m}^3$$

Obliczeniowe wytrzymałości przekroju muru na zginanie – w przekroju przez spoiny wsporne

$$M_{Rd1} = 0,0067 \cdot 110 = 0,74 \text{ kNm}$$

– w przekroju prostopadłym do spoin wspornych

$$M_{Rd2} = 0,0067 \cdot 120 = 0,80 \text{ kNm}$$

Warunek nośności ściany jest spełniony

$$\frac{M_{Sd1}}{M_{Rd1}} = \frac{0,14}{0,74} = 0,19 < 1$$

W drugiej kombinacji obciążeń zasadniczym obciążeniem jest liniowe równomierne obciążenie poziome o wartości 0,5 kN/m. Bezpiecznym oszacowaniem wartości momentów wywołanych tym obciążeniem będzie wielkość określona jak dla wspornika

$$M_{Sd1} = 1,2 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,54 \text{ kNm}$$

Warunek nośności ściany jest spełniony

$$\frac{M_{Sd1}}{M_{Rd1}} = \frac{0,54}{0,74} = 0,73 < 1$$

W rozpatrywanym przykładzie ściana formalnie nie podlega obciążeniu wiatrem. Jeśli możliwe jest jednak

czasowe zdemontowanie obudowy może ona zostać narażona na działanie parcia wiatru. Celem ilustracji założono w trzeciej kombinacji obciążenie wiatrem jak dla I strefy wg PN-77/B-02011.

Jednostkowe obliczeniowe parcie wiatru

$$w = \gamma_f \cdot q_k \cdot C \cdot C_e \cdot \beta = 1,3 \cdot 0,25 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,8 = 0,41 \text{ Kpa}$$

Wielkości momentów zginających wywołanych tym obciążeniem można określić posługując się tablicą 9. dla schematu A. W tym celu należy określić

$$\frac{h}{L} = \frac{4,4}{6,0} = 0,73 \text{ oraz } \mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}} = \frac{0,11}{0,12} = 0,92$$

Na podstawie powyższych wartości odczytano z tablicy poprzez interpolację liniową

$$\alpha = 0,059$$

Wartości momentów wynoszą wówczas

$$M_{Sd1} = \mu \cdot \alpha \cdot w \cdot L^2 = 0,92 \cdot 0,059 \cdot 0,41 \cdot 6^2 = 0,80 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd2} = \alpha \cdot w \cdot L^2 = 0,059 \cdot 0,41 \cdot 6^2 = 0,87 \text{ kNm}$$

Warunki nośności w takim przypadku nie zostaną spełnione

$$\frac{M_{Sd1}}{M_{Rd1}} = \frac{0,80}{0,74} = 1,08 > 1$$

$$\frac{M_{Sd2}}{M_{Rd2}} = \frac{0,87}{0,80} = 1,09 > 1$$

Tak zaprojektowana ściana nie może podlegać działaniu wiatru.

Wnioski

Przeprowadzone obliczenia statyczne wykazały wystarczającą nośność ściany przy założonych obciążeniach w przypadku, gdy nie podlega ona działaniu wiatru. W przypadku narażenia jej na parcie wiatru obliczeniowa nośność na zginanie zostanie przekroczona o około 10%. Ścianę należałoby pogrubić lub wzmocnić wieńcami. Wnioski z obliczeń znajdują odzwierciedlenie w danych przedstawionych w pomocniczych tablicach nr 12-15. Maksymalna dopuszczalna długość ścian wysokości ok. 4,5 m, nieobciążonych wiatrem wynosi tu 12,0 m (nawet dla grubości 175 mm), lecz z wiatrem już tylko 5,0 m, czyli mniej od przyjętej w obliczeniach. Należy jednak podkreślić, że wartości podane w tablicach 12-15 należy traktować wyłącznie jako orientacyjne. Stworzone zostały na użytek niemieckich warunków projektowych. Projektując i wykonując obiekty lub ich elementy na terenie kraju należy stosować się do obowiązujących aktualnych normatywów i przepisów w Polsce. W tym do obligatoryjnego zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji budowlanej.

5. BIBLIOGRAFIA

- DIN 4103-1:1984. Nichttragende Innere Trennwände.
- DIN 1055-4:1986. Lastannahmen für Buten. Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken.
- DIN 1053-1:1996. Mauerwerk. Teil 1: Berechnung and Ausführung.
- DIN 1053-2:1996. Mauerwerk. Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen.
- DIN 1053-3:1990. Mauerwerk. Bewehrtes Mauerwerk. Berechnung and Ausführung.
- PN-77/B-02011. Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem.
- PN-B-03002:1999 Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- prEN 1996-1-1:2004. Design of masonry structures – Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures.
- prEN 1996-1-2 Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.
- Lewicki B.: Projektowanie konstrukcji murowych. Komentarz do PN-B-03002:1999. ITB Warszawa 2002.
- Praca zbiorowa: Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli. Arkady Warszawa 2006.
- Matysek P.: Konstrukcje murowe. WPK Kraków 2001.
- Hoła J., Pietraszek P., Schabowicz K.: Obliczanie konstrukcji budynków wznoszonych tradycyjnie. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne Wrocław 2006.
- Peła R.: Projektowanie konstrukcji murowych i stropów w budownictwie tradycyjnym. Część II Konstrukcje murowe niezbrojone. WPL Łódź 2004.

6. SPIS TABLIC

- Tablica 1. Właściwości elementów budynku z uwagi na odporność ogniową.
- Tablica 2. Klasy odporności ogniowej.
- Tablica 3. Wymagania minimalne klasy odporności ogniowej elementów oddzielenia przeciwpożarowego.
- Tablica 4.1. Oznaczenia i wymiary bloczków YTONG.
- Tablica 4.2. Oznaczenia i wymiary bloków SILKA.
- Tablica 5.1. Wytrzymałości charakterystyczne i obliczeniowe ścian z bloczków YTONG.
- Tablica 5.2. Wytrzymałości charakterystyczne i obliczeniowe ścian z bloków SILKA.
- Tablica 6. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla muru γ_m .
- Tablica 7. Wartości współczynnika η_A .
- Tablica 8.1. Klasyfikacja ogniowa bloczków YTONG.
- Tablica 8.2. Klasyfikacja ogniowa bloków SILKA.
- Tablica 9. Wartości współczynnika α .
- Tablica 10. Maksymalne dopuszczalne powierzchnie ścian w m^2 .
- Tablica 11. Profil obciążenia wiatrem wg DIN 1055-4.
- Tablica 12. Maksymalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach.
- Tablica 13. Dopuszczalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach – swobodna krawędź pionowa.
- Tablica 14. Dopuszczalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach – swobodna krawędź pozioma (górną).
- Tablica 15. Dopuszczalne długości ścian podpartych na trzech krawędziach z obciążeniem pionowym - swobodna krawędź pionowa.

7. SPIS RYSUNKÓW

- Rysunek 1. Zastępcze obciążenie ściany z otworami.
- Rysunek 2. Schemat obliczeniowy ściany ortotropowej.
- Rysunek 3. Schematy statyczne płyt.
- Rysunek 4. Podział płyty ściennej z dużym otworem.
- Rysunek 5. Efekt podparcia łukowego.
- Rysunek 6. Schematy obciążeń dla ścian nienośnych wg DIN 4103-1:1984-07.
- Rysunek 7. Graniczne powierzchnia ściany $A=h \cdot l$ wg tablicy 10.
- Rysunek 8. Podparcie dolnej krawędzi ściany.
- Rysunek 9. Podparcie górnej krawędzi ściany.
- Rysunek 10. Podparcie pionowej krawędzi ściany.
- Rysunek 11. Elastyczne połączenia ściany ze stropem.
- Rysunek 12. Elastyczne połączenia krawędzi pionowych ścian.
- Rysunek 13. Schemat obliczeniowy modułu ściany.
- Rysunek 14. Detale konstrukcyjne ściany.
- Rysunek 15. Graniczne wartości smukłości ścian podpartych na trzech krawędziach obciążonych głównie poziomo wg prEN 1996-1-1:2003.

silka[®]

YTONG[®]

Xella Polska Sp. z o.o.
infolinia 0 801 122 227
www.xella.pl