Zeszyt techniczny

Projektowanie architektoniczne i konstrukcyjne budynków w systemie Silka



Projektowanie architektoniczne i konstrukcyjne budynków w systemie Silka

wydanie VII poprawione

Marzec 2017

Copyright © by Xella Polska sp. z o.o.
Warszawa 2017

Znaki Ytong, Silka i Multipor 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.

1. Wprowadzenie 7

2. Asortyment Silka 8

2.1. Proces produkcji 8
2.2. Bloki Silka E 8
2.3. Bloki Silka Tempo 10
2.4. Elementy uzupełniające 12
2.5. Zaprawy murarskie 14
2.5.1. Zaprawy do cienkich spoin 14
2.5.2. Zaprawy zwykłe 14

3. Zasady projektowania 15

3.1. Zasady ogólne 15
3.2. Rodzaje ścian 15
3.2.1. Ściana jednowarstwowa 15
3.2.2. Ściana dwuwarstwowa 15
3.2.3. Ściana szczelinowa 16
3.2.4. Ściany wypełniające 17
3.2.5. Przeznaczenie bloków Silka 19
3.3. Fizyka budowli 20
3.3.1. Ciepło 20
3.3.2. Akustyka 22
3.3.3. Odporność ogniowa 23
3.4. Zalecenia projektowo-wykonawcze 24
3.4.1. Połączenia ścian za pomocą przewiązania murarskiego 24
3.4.2. Połączenia ścian przy użyciu łączników 24
3.4.3. Nadproża 26
3.4.4. Oparcie stropu 28
3.4.5. Wieńce 30
3.4.6. Bruzdowanie i otwory 30
3.4.7. Murowanie bloków Silka 31
3.4.8. Kanały elektryczne 31
3.4.9. Dylatacje 31
3.4.10. Maksymalna wysokość ścian 32
3.4.11. Projektowanie w systemie Silka Tempo 33

4. Zasady obliczeń statycznych 36

4.1. Zasady ogólne 36
4.2. Parametry wytrzymałościowe muru 36
4.2.1. Wytrzymałość muru na ściskanie 37
4.2.2. Wytrzymałość muru na ścinanie 38
4.2.3. Wytrzymałość muru na rozciąganie 38
4.2.4. Ściana poddana obciążeniu skupionemu 40
4.2.5. Odkształcalność muru 40

5. Wymiarowanie ścian obciążonych głównie pionowo 41

6. Przykład obliczeń 44

6.1. Zestawienie obciążeń jednostkowych 44
6.1.1. Stropodach wentylowany 44
6.1.2. Strop 45
6.1.3. Ściany 46
6.2. Sprawdzenie nośności ściany zewnętrznej pełnej 47
6.3. Sprawdzenie nośności filara międzyokiennego 51
6.4. Sprawdzenie nośności ściany wewnętrznej pełnej 54
6.5. Sprawdzenie nośności filara międzydrzwiowego w ścianie wewnętrznej 57
6.6. Sprawdzenie ściany ze względu na obciążenie skupione od reakcji z nadproża 60
6.7. Analiza statyczno-wytrzymałościowa żelbetowej belki nadprożowej wykonanej w kształtkach Ytong U traktowanych jako deskowanie tracone 61

7. Dane tabelaryczne 64

1. Wprowadzenie

Elementy wapienno-piaskowe, zwane również silikatami, znane są już od ponad 130 lat. Bloki Silka powstają z całkowicie naturalnych i mineralnych surowców. Cechuje je bardzo dobra wytrzymałość, trwałość, izolacyjność akustyczna i odporność ogniowa. Dzięki temu znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym, handlowym, przemysłowym i użyteczności publicznej. W systemie Silka dostępne są cegły wapienno-piaskowe, bloki pełne, drążone, akustyczne oraz uzupełniające wentylacyjne.

W 2012 roku ofertę uzupełniły wielkowymiarowe bloki Silka Tempo. Bloki dostępne są w klasie wytrzymałości 20 N/mm^2. Dzięki dużym wymiarom oraz murowaniu za pomocą mini-żurawia budowa przebiega znacznie szybciej, a ściany uzyskują jednorodne parametry. Czas murowania bloków Silka Tempo to zaledwie 0,24 r-g/m^2.

Elementy Silka podlegają normie PN-EN 771-2:2011 „Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 2: Elementy murowe silikatowe". Należą do grupy 1 i kategorii I elementów murowych. Przy projektowaniu i wykonawstwie murów z elementów Silka obowiązują ustalenia Eurokodu 1996 „Projektowanie Konstrukcji Murowych".

Mury z bloków Silka mogą być wykorzystywane jako konstrukcyjne ściany nośne obciążone głównie pionowo, przenoszące obciążenia z kondygnacji górnych i od stropów oraz oddziałujące na nie siły od obciążeń poziomych. Można je również wykorzystywać jako ściany wypełniające w konstrukcjach szkieletowych, ściany działowe i osłonowe obciążone głównie poziomo. Bloki Silka nadają się do wykorzystania w ścianach piwnicznych i fundamentowych w częściach podziemnych budynku pod warunkiem zastosowania należytych izolacji przeciwwilgociowych oraz wypełnienia spoin pionowych.

Elementy Silka produkowane są w trzech klasach wytrzymałości – 15, 20 i 25 N/mm^2, co oznacza, że należą do najbardziej wytrzymałych elementów murowych. Ścianki o grubości 12 cm z powodzeniem mogą być stosowane jako ściany konstrukcyjne, a do ścian o grubości 8 cm można mocować ciężkie przedmioty, np. szafki kuchenne lub regały.

Podstawowy asortyment Silka umożliwia projektowanie budynków w module wysokości 20 cm. Dzięki elementom uzupełniającym (Silka EQ) możliwe jest uzyskanie także innej wysokości. Szereg elementów uzupełniających umożliwia wykonanie ścian bez docinania elementów. Bloki Silka muruje się tak jak inne elementy murowe. Elementy Silka E posiadają uchwyty montażowe, które są rozmieszczone naprzemiennie, ułatwiając podnoszenie i montaż bloków. Wysoka dokładność wymiarowa bloków Silka E, E-A i E-S pozwala na murowanie ich na zaprawie do cienkich spoin Ytong-Silka. Możliwe jest także murowanie na zaprawie zwykłej. Dzięki równomiernie rozmieszczonym kanałom elektrycznym (co 16,7 cm) bloki Silka E umożliwiają przeprowadzenie instalacji elektrycznej wewnątrz muru, co w połączeniu z gładką powierzchnią bloków Silka umożliwia cienkowarstwowe wykończenie ścian.

2. Asortyment Silka

2.1. Proces produkcji

Silka jest to cegła wapienno-piaskowa. Otrzymuje się ją z mieszaniny piasku kwarcowego (90%), wapna (7%) i wody (3%). Pod działaniem przegrzanej pary wodnej o temperaturze 200°C przy zwiększonym ciśnieniu 16 atmosfer około 4÷7% krzemionki łączy się z wapnem tworząc nierozpuszczalne krzemiany wapnia. Nowo powstałe związki wiążą ziarna piasku, co wpływa na wysoką wytrzymałość gotowych wyrobów. Proces produkcji elementów Silka trwa obecnie niespełna 12 godzin.

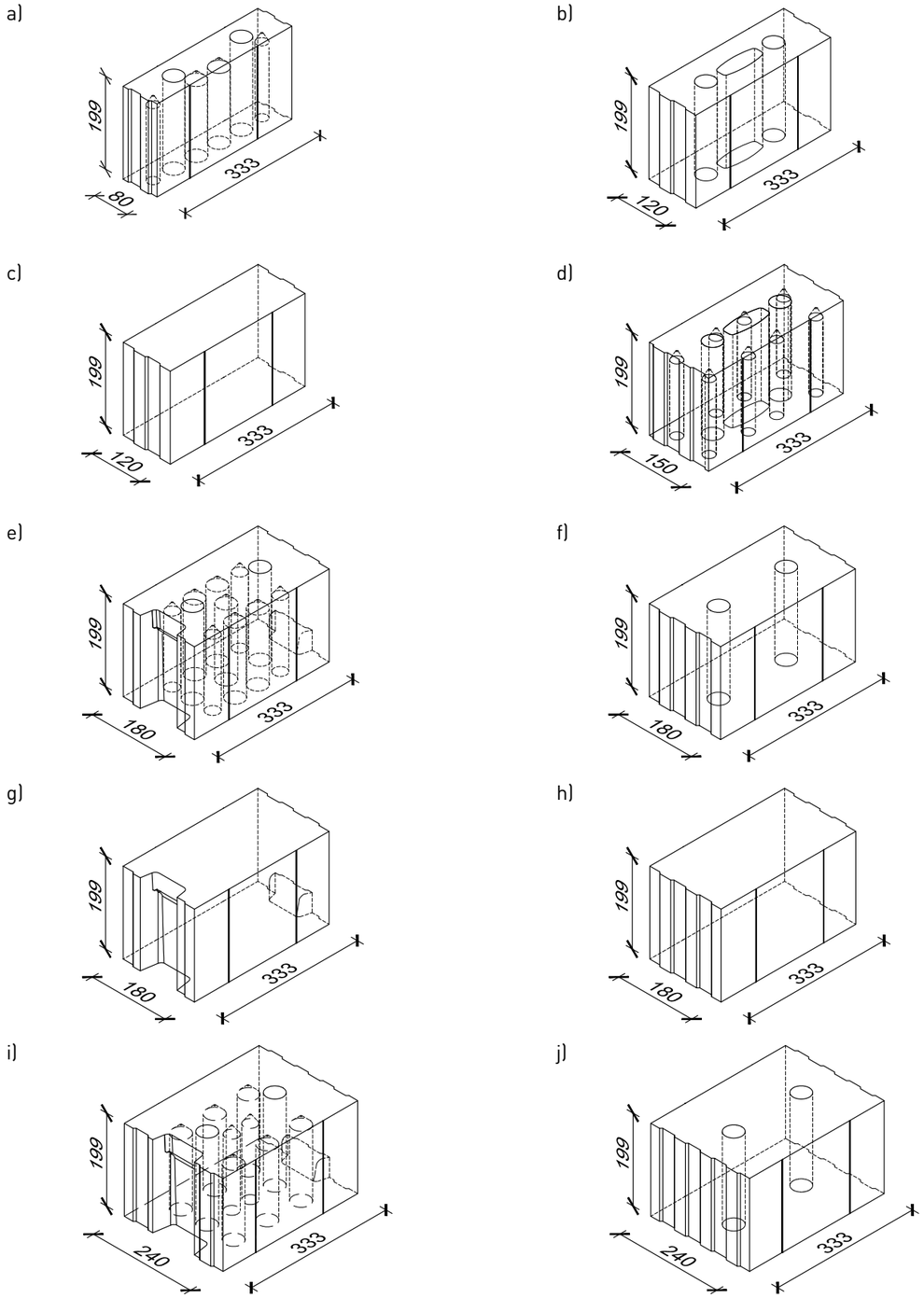
2.2. Bloki Silka E

Elementy murowe Silka E dostępne są w szerokości: 8 cm, 12 cm, 15 cm, 18 cm i 24 cm. Produkowane są w wersji podstawowej (bloki drążone) oraz w wersji E-S (pełne). Bloki podstawowe osiągają klasy wytrzymałości 15 i 20 N/mm^2, a bloki E-S 20 i 25 N/mm^2. Zarówno bloki Silka E jak i Silka E-S posiadają kanały elektryczne. Bloki o podwyższonej izolacyjności akustycznej posiadają oznaczenie A. Wymiary bloków Silka E przedstawione są w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Elementy murowe Silka E

Nazwa	Górna granica gęstości[1] [kg/m^3]	Klasa wytrzymałości [N/mm^2]	Długość [mm]	Wysokość [mm]	Szerokość [mm]
Silka E8	1500	15	333±2	199±1	80±2
Silka E12	1500	15			120±2
Silka E12A	2000	20			
Silka E15	1500	15			150±2
Silka E18	1500	15/20			180±2
Silka E18S	1800	20/25			
Silka E18A	1800	20/25			
Silka E18A+	2000	20			
Silka E24	1600	15/20			
Silka E24S	1800	20/25			240±2

[1] Rzeczywista gęstość wyrobów Silka zależy od zakładu produkcyjnego. Szczegółowe dane dostępne są w deklaracjach właściwości użytkowych.



Rysunek 2.1. Elementy podstawowe Silka E: a) Silka E8, b) Silka E12, c) Silka E12A d) Silka E15, e) Silka E18, f) Silka E18S, g) Silka E18A, h) Silka E18A+, i) Silka E24, j) Silka E24S
Uwaga: w części zakładów produkcyjnych blok Silka E18A ma kształt bloku Silka E18A+

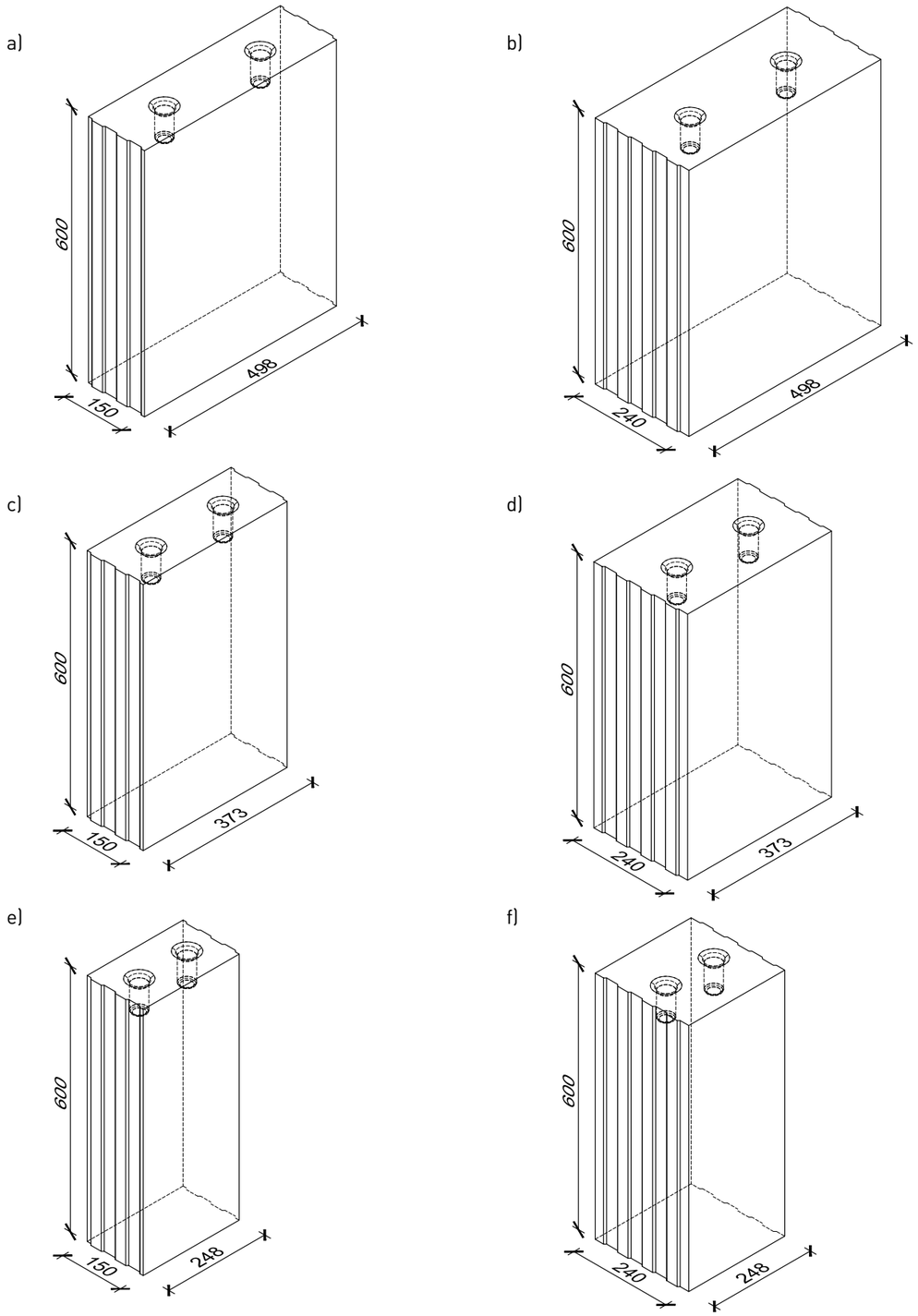
2.3. Bloki Silka Tempo

Silka Tempo to wielkowymiarowe bloki wapienno-piaskowe do wznoszenia ścian konstrukcyjnych. Z uwagi na dużą masę elementów montuje się je za pomocą mini-żurawia, który znacznie ogranicza wysiłek murarzy oraz czas trwania prac budowlanych. Bloki Silka Tempo przeznaczone są do budowy ścian o grubości 15 cm i 24 cm. Dostępne są jako bloki podstawowe (50 cm), ¾ (37,5 cm) oraz ½ (25 cm), dzięki czemu możliwe jest projektowanie w module 12,5 cm. Inne, niemodułowe długości ścian z bloków Silka Tempo, można osiągnąć wykonując spoiny pionowe o grubości do 3 cm oraz układając na sobie 3 bloki Silka E24S. Niemodułowe długości ścian można osiągnąć także docinając bloki piłą tarczową, o średnicy tarczy dostosowanej do grubości bloków. Takie rozwiązanie ułatwia wykonywanie prac murarskich bez planu montażowego oraz wyklucza konieczność stosowania elementów uzupełniających. Bloki Silka Tempo dostępne są w klasie wytrzymałości 20.

Tabela 2.2. Elementy murowe Silka Tempo

Nazwa	Górna granica gęstości[1)] [kg/m³]	Klasa wytrzymałości [N/mm²]	Długość [mm]	Wysokość [mm]	Szerokość [mm]
Silka Tempo 15	2000	20	498±2	600±1	150±2
Silka Tempo 15 ¾	2000		373±2		
Silka Tempo 15 ½	2000		248±2		
Silka Tempo 24	1800		498±2		240±2
Silka Tempo 24 ¾	2000		373±2		
Silka Tempo 24 ½	2000		248±2		

[1)] Rzeczywista gęstość wyrobów Silka zależy od zakładu produkcyjnego. Szczegółowe dane dostępne są w deklaracjach właściwości użytkowych.



Rysunek 2.2. Elementy Silka Tempo, a) Silka Tempo 15, b) Silka Tempo 24, c) Silka Tempo 15 ¾, d) Silka Tempo 24 ¾, e) Silka Tempo 15 ½, f) Silka Tempo 24 ½

2.4. Elementy uzupełniające

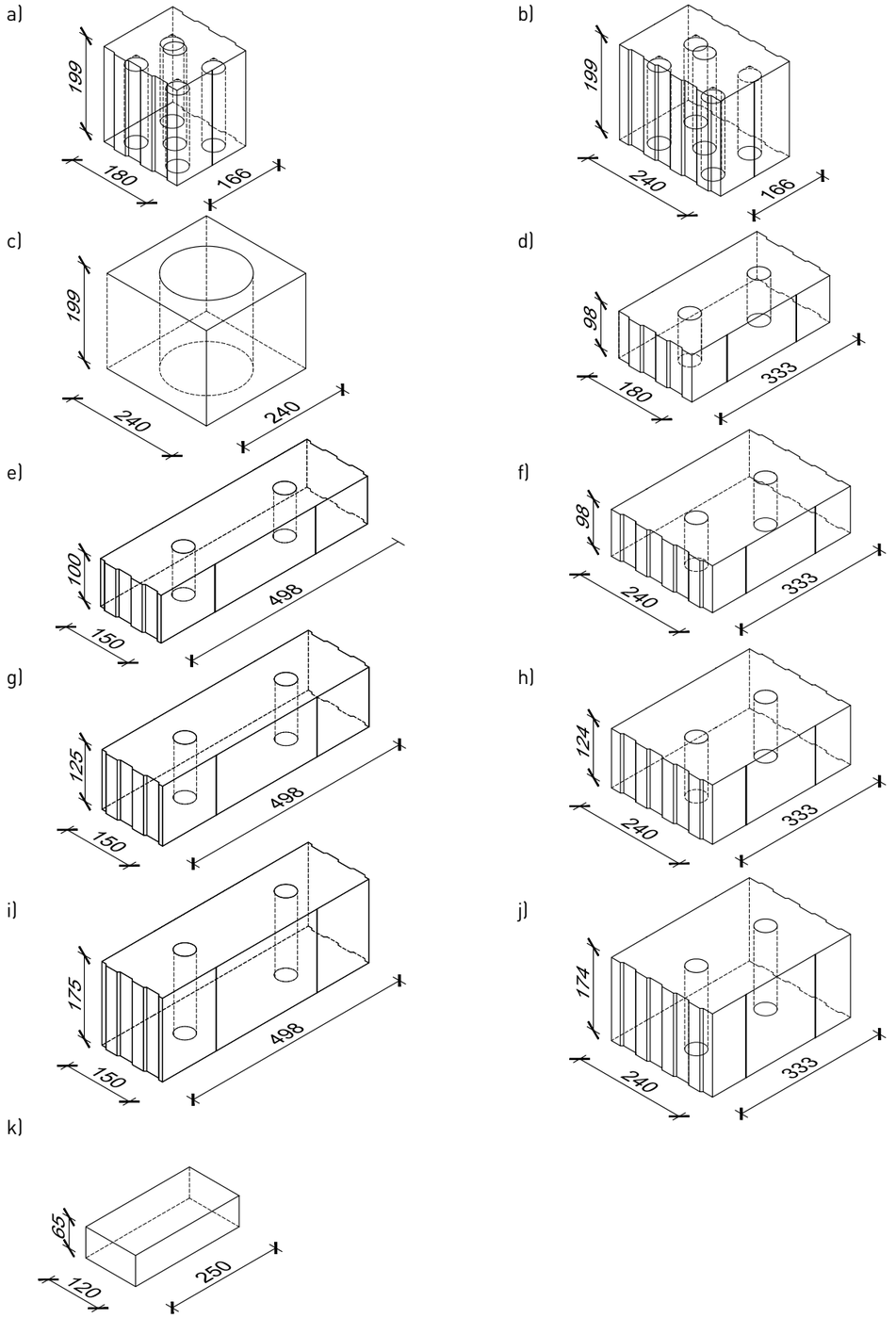
Do elementów uzupełniających system Silka należą:

- bloki wyrównawcze Silka EQ umożliwiające osiągnięcie wysokości spoza modułu 20 cm. Ułatwiają one również wymurowanie pierwszej warstwy muru na zaprawie tradycyjnej;
- bloki połówkowe Silka ½E o długości 167 mm. Bloki zmniejszają ilość docinek i poprawiają jakość wykonania muru z bloków Silka. Dodatkowo ułatwiają wykonanie przewiązania murarskiego;
- bloki wentylacyjne Silka EW przeznaczone do wykonywania kanałów wentylacyjnych. Posiadają otwór o średnicy 160 mm;
- cegły wapienno-piaskowe Silka NF.

Tabela 2.3. Elementy uzupełniające Silka

Nazwa	Górna granica gęstości[1] [kg/m³]	Klasa wytrzymałości [N/mm²]	Długość [mm]	Wysokość [mm]	Szerokość [mm]
Silka ½ E18	1800	15/20	166±2	199±1	180±2
Silka ½ E24		15/20			240±2
Silka EQ10/18		20	333±2	98±1	180±2
Silka EQ10/24		20			240±2
Silka EQ12,5/24		20		124±1	
Silka EQ17,5/24		20		174±1	
Silka EQ 10/15	2000	20	498±2	100±1	150±2
Silka EQ 12,5/15		20		125±1	
Silka EQ 17,5/15		20		175±1	
Silka 1NF	1800	15	250±2	65±2	120±2
Silka EW	1600	15	240±2	199±1	240±2

[1] Rzeczywista gęstość wyrobów Silka zależy od zakładu produkcyjnego. Szczegółowe dane dostępne są w deklaracjach właściwości użytkowych.



Rysunek 2.3. Elementy uzupełniające Silka: a) Silka ½ E18, b) Silka ½ E24, c) Silka EW, d) Silka EQ 10/18, e) Silka EQ 10/15, f) Silka EQ 10/24, g) Silka EQ 12,5/15, h) Silka EQ 12,5/24, i) Silka EQ 17,5/15, j) Silka EQ 17,5/24, k) Silka 1NF

2.5. Zaprawy murarskie

Cegły i bloki wapienno-piaskowe Silka należy układać na zaprawach do cienkich spoin („klejowych") lub zaprawach zwykłych.

2.5.1. Zaprawy do cienkich spoin

Do murowania naziemnych ścian z bloków Silka zaleca się stosowanie zaprawy systemowej do cienkich spoin Ytong-Silka. Spoina ma 1-3 mm grubości, dzięki czemu nie wpływa w znaczący sposób na izolacyjność muru. Zaprawa po 28 dniach osiąga wytrzymałość na ściskanie min. 10 N/mm^2.

Do murowania w warunkach zimowych przeznaczona jest zaprawa zimowa Ytong-Silka. Można ją stosować w temperaturach poniżej +3°C i powyżej -6°C. Temperatura w okresie 12-godzinnego wiązania może spaść do -12°C. Zaprawa wymaga dodatku spirytusu technicznego.

Zużycie zapraw do cienkich spoin przedstawia tabela 2.4.

2.5.2. Zaprawy zwykłe

Do grupy zapraw zwykłych zalicza się zaprawę cementowo-wapienną oraz zaprawę cementową. Z zapraw cementowych zaleca się stosowanie klasy M5 lub M10. Jednak z uwagi na korzyści wynikające z zastosowania w zaprawie wapna hydratyzowanego (łatwiejsze nakładanie zaprawy, większa plastyczność, grzybobójcze właściwości wapna) przede wszystkim zaleca się stosowanie zaprawy cementowo-wapiennej klasy M5. Proporcje składników w zalecanych zaprawach, przy cemencie klasy 32,5 R, przedstawiono w tabeli 2.5.

Zaprawy zwykłe stosuje się przede wszystkim do wyrobów 1NF. W niektórych przypadkach używa się ich również do wyrobów Silka E:

- poziomowanie pierwszej warstwy muru wykonanej z bloków wyrównawczych Silka EQ lub podstawowych Silka E,
- murowanie ściany piwnicznej i fundamentowej, gdzie z uwagi na działające siły naporu gruntu ściany należy murować z wypełnionymi spoinami poziomymi i pionowymi.

Tabela 2.4. Zużycie zaprawy przy wypełnianiu tylko spoin poziomych (spoiny pionowe na pióro-wpust)

Typ ściany	Zużycie zaprawy [kg/m^2]
Silka E8	1,1
Silka E12, E12A	1,5
Silka E15	2,0
Silka E18, E18S, E18A, E18A+	2,3
Silka E24, E24S	3,2
Silka Tempo 15	0,7
Silka Tempo 24	1,1

Tabela 2.5. Zalecane proporcje składników zapraw zwykłych

Rodzaj zaprawy	Klasa	Kompozycja	Piasek	Cement	Wapno
Cementowa	M5	wagowa	1782 kg	326 kg	-
		objętościowa	4	1	-
	M10	wagowa	1700 kg	411 kg	-
		objętościowa	3	1	-
Cementowo-wapienna	M5	wagowa	1634 kg	265 kg	74 kg
		objętościowa	4,5	1	0,5

3. Zasady projektowania

3.1. Zasady ogólne

Podczas projektowania ścian konstrukcyjnych z cegieł i bloków Silka obowiązują zasady ogólne podane w PN-EN 1996 Eurokod 6.

Konstrukcję należy zaprojektować tak, aby w okresie eksploatacji nie wystąpiło przekroczenie stanów granicznych nośności i użytkowalności. Budynek musi być odporny na lokalne uszkodzenia ścian np. pożar lub eksplozję. Ważną rolę pełnią tutaj wieńce żelbetowe, które łączą wszystkie ściany w poziomie stropów.

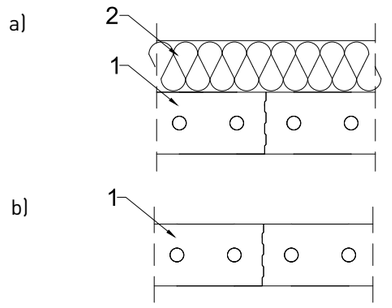
W budynkach o ustroju ścianowym sztywność konstrukcji uzyskuje się poprzez usytuowanie w kierunku podłużnym i poprzecznym ścian usztywniających. Ściany usztywniające przejmują obciążenia poziome działające na budynek w kierunku równoległym do płaszczyzn ścian. Istotnym elementem decydującym o sztywności konstrukcji budynku na obciążenia poziome są stropy o odpowiedniej konstrukcji, stanowiące sztywne tarcze rozdzielające obciążenia pionowe. Z bloków Silka można projektować budynki średniowysokie, a nawet wysokie (do dziewięciu kondygnacji). Odpowiednie zaprojektowanie sztywności konstrukcji na obciążenia poziome nabiera wówczas szczególnego znaczenia. Przy sprawdzaniu nośności konstrukcji nie można pomijać sił powstających w ścianach usztywniających od obciążeń poziomych.
W budynkach o ustroju szkieletowym sztywność przestrzenną zapewniają również ściany usztywniające oraz ściany wypełniające poszczególne pola ustroju szkieletowego.

3.2. Rodzaje ścian

3.2.1. Ściana jednowarstwowa

Jest to ściana bez ciągłej spoiny pionowej lub szczeliny na całej wysokości muru. Jest najczęściej stosowanym rozwiązaniem konstrukcji murowych.

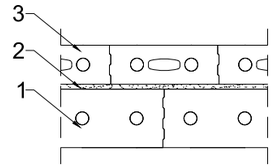
Zatem zgodnie z PN-EN 1996 ścianę z bloków Silka z ociepleniem należy traktować jako ścianę jednowarstwową.



Rysunek 3.1. Ściana jednowarstwowa; 1 – blok Silka, 2 – izolacja termiczna np. Multipor
a) ściana jednowarstwowa zewnętrzna (ściana z ociepleniem)
b) ściana jednowarstwowa wewnętrzna

3.2.2. Ściana dwuwarstwowa

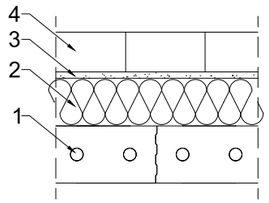
Jest to ściana składająca się z dwóch równoległych murów ze spoiną podłużną wypełnioną całkowicie zaprawą murarską, zespolonych za pomocą kotew w sposób zapewniający wspólne przenoszenie obciążeń. W praktyce ściana dwuwarstwowa jest rzadko stosowana. Znajduje zastosowanie w konstrukcjach o nietypowej szerokości ściany, która może wynikać z podwyższonych wymogów nośności lub izolacyjności akustycznej.



Rysunek 3.2. Ściana dwuwarstwowa wewnętrzna; 1 – blok Silka, 2 – spoina pionowa, 3 – blok Silka.

3.2.3. Ściana szczelinowa

Jest to ściana składająca się z dwóch równoległych murów, trwale połączonych ze sobą kotwami lub zbrojeniem w spoinach wspornych. Przestrzeń pomiędzy murami może być niewypełniona, wypełniona lub częściowo wypełniona nienośnym materiałem termoizolacyjnym.
Typowym przykładem ściany szczelinowej jest ściana z dodatkową warstwą cegły elewacyjnej.



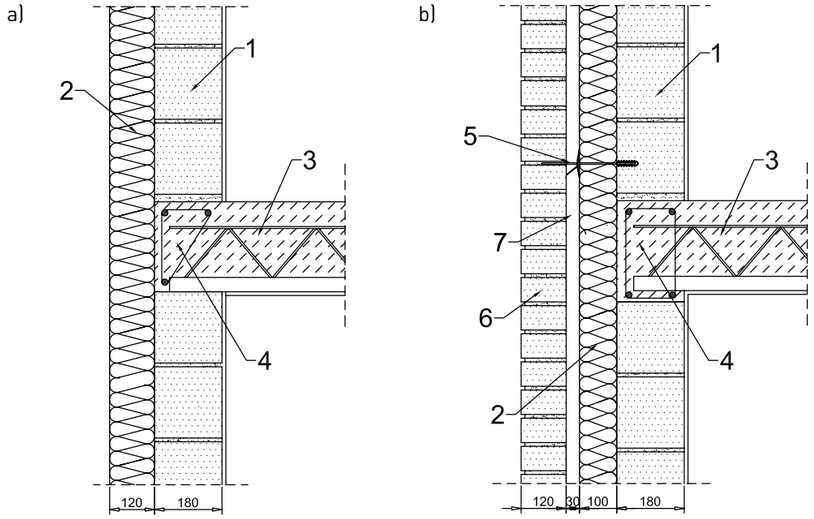
Rysunek 3.3. Ściana szczelinowa;
1 – blok Silka,
2 – izolacja, np. Multipor,
3 – pustka powietrzna,
4 – blok Silka, cegła Silka 1NF lub cegła klinkierowa

Warstwa wewnętrzna ściany szczelinowej z bloków Silka jest ścianą konstrukcyjną, w związku z tym projektuje się ją zgodnie z ogólnymi zaleceniami dotyczącymi ścian konstrukcyjnych.
Warstwa zewnętrzna powinna mieć grubość nie mniejszą niż 70 mm, oraz być trwale połączona z warstwą wewnętrzną. Mogą do tego służyć kotwy łączące PK31 wykonane z blachy nierdzewnej o grubości 2 mm. Kotwy rozmieszcza się równomiernie i przemiennie na całej powierzchni ściany.
Liczbę kotew określa się ze wzoru:

$$n_t \geq \frac{W_{Ed}}{F_d}$$

W_{Ed} – obciążenie obliczeniowe poziome, na jednostkę powierzchni;
F_d – nośność obliczeniowa kotwy na ściskanie lub rozciąganie, odpowiednio do warunków obliczeń.

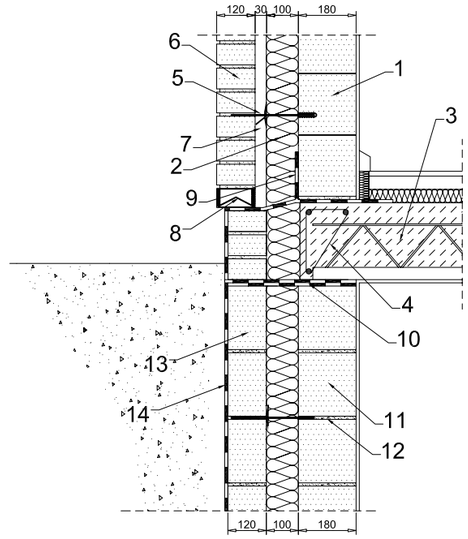
Liczba kotew na 1 m^2 nie powinna być mniejsza niż 4 szt.



Rysunek 3.4. Przekroje przez ściany zewnętrzne z bloków Silka; a) ściana jednowarstwowa z ociepleniem; b) ściana szczelinowa; 1 - bloki Silka E18, 2 – izolacja płytami Multipor, 3 – strop, 4 – zbrojenie wieńca stropu, 5 – kotwa PK31 ze stali nierdzewnej, 6 – cegła Silka 1NF, 7 – pustka powietrzna

Para wodna dyfundująca przez ścianę może ulec skropleniu w miejscu pustki powietrznej. W celu odprowadzenia wody u spodu warstwy zewnętrznej wykonuje się fartuch z papy bitumicznej dobrego gatunku na podkładzie z zaprawy cementowej. W warstwie elewacyjnej należy również umieścić kratki wentylacyjne w rozstawie ok. 1 kratka na 1 mb ściany, które umieszcza się w pierwszej dolnej warstwie cegieł, w warstwie cegieł pod okapem oraz ponad nadprożami otworów okiennych i drzwiowych.

Warstwę elewacyjną z Silki należy dylatować w odległościach nie większych niż 8 m. Z uwagi na koncentrację naprężeń w narożach ścian, zaleca się umieszczać przerwy dylatacyjne w pobliżu tych miejsc.



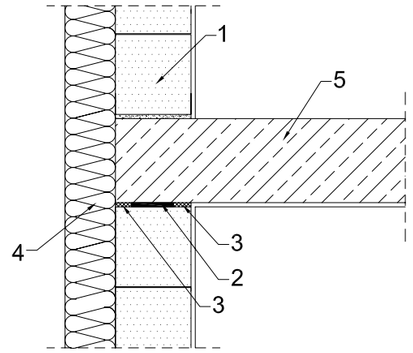
Rysunek 3.5. Oparcie ściany szczelinowej na murze piwnicznym; 1 – bloki Silka E18, 2 – izolacja termiczna, 3 – strop, 4 – zbrojenie wieńca stropu, 5 – kotwa PK31, 6 – cegła Silka 1NF, 7 – pustka powietrzna, 8 – kratka wentylacyjna, 9 – fartuch z papy bitumicznej, 10 – podkład z zaprawy cementowej, 11 – blok Silka E18S, 12 – zaprawa cementowa, 13 – blok Silka E12, 14 – izolacja przeciwwilgociowa ściany piwnicznej

3.2.4. Ściany wypełniające

Ściany wypełniające to ściany, które nie uczestniczą w pracy konstrukcji budynku, ale stanowią przegrodę zewnętrzną lub tworzą podział wewnętrzny budynku. Z tego względu muszą spełniać wszystkie wymagania, które są związane z ich funkcją w budynku, tj. wymagania wizualne, akustyczne, termiczne, odporności ogniowej etc.
Ściana nie przenosi ciężaru konstrukcji, ale musi przenieść ciężar własny, ciężar tynku oraz gdy jest ścianą zewnętrzną także ciężar elewacji i obciążenie poziome od wiatru.

Ściany wypełniające w konstrukcji szkieletowej budynku wymagają odpowiedniego połączenia ze ścianami konstrukcyjnymi lub słupami konstrukcji szkieletowej oraz spodem belki żelbetowej lub spodem stropu (ściany działowe wewnątrz budynku), tak aby do obliczeń można było przyjąć, że ściana podparta jest wzdłuż swojej krawędzi poziomej.

Ze ścianami konstrukcyjnymi lub słupami konstrukcji szkieletowej ściany wypełniające z bloków Silka łączy się na dotyk, stosując łączniki metalowe. Łączniki wygięte pod kątem prostym, mocuje się do konstrukcji w poziomie spoiny w co trzeciej warstwie bloczków, a spoinę pionową wypełnia za-



Rysunek 3.6. Połączenie ściany wypełniającej ze spodem elementu poziomego konstrukcji szkieletowej; 1 – bloki Silka E18, 2 – pasek poliuretanu, 3 – spieniony poliuretan, 4 – izolacja termiczna, 5 – konstrukcja szkieletowa

prawą. Gdy układ konstrukcyjny może ulegać istotnym deformacjom w wyniku działania np. obciążeń pionowych (konstrukcje szkieletowe nie usztywnione ścianami), ściany muruje się z pozostawieniem szczeliny pionowej ok. 10 mm, którą wypełnia się następnie pianką montażową lub wełną mineralną dla zapewnienia izolacyjności akustycznej.

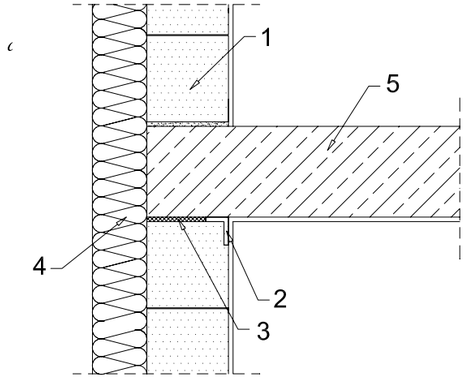
Połączenie ze spodem belki żelbetowej lub spodem stropu można wykonać według dwóch sposobów:

- pozostawienie pomiędzy wierzchem muru i spodem belki szczeliny grubości 20 – 25 mm i wypełnienie jej gęstą, plastyczną zaprawą cementową;
- pozostawienie szczeliny o grubości około 10 mm i wciśnięcie paska poliuretanu o szerokości 100 mm i grubości 15 mm w stanie nieściśniętym, a następnie wypełnienie pozostałej części szczeliny poliuretanem spienionym.

Sztywne połączenie ściany z konstrukcją uzyskane przez podbicie zaprawą można stosować jedynie w przypadku stropu o dużej sztywności na zginanie. Ugięcie takiego stropu nie powoduje uszkodzeń elementów budynku znajdujących się pod nim. W praktyce ma to miejsce przy stropach o małych rozpiętościach, nie większych niż 5,0 m. W przypadku, gdy odległość między słupami lub ścianami usztywniającymi jest większa niż 6,0 m, dodatkowo stosuje się mechaniczne oparcie ściany w jej środkowej części w postaci kątownika umocowanego do spodu stropu lub belki konstrukcji. Również w takich przypadkach często wykonuje się poziome belki – wieńce żelbetowe – w kształtkach Ytong U w rozstawie około 2,0 m.

Częstym problemem towarzyszącym ścianom wypełniającym są zarysowania, które powstają na skutek ugięć stropów. W celu zapobieżenia powstawaniu rys zaleca się:

- ograniczenie ugięcia stropów – zaleca się, aby projektowane ugięcia stropów nie przekraczały wartości $l_{eff}/300$;
- ograniczenie smukłości stropów – zaleca się projektowanie stropów o smukłości $l_o^2/d \leq 150$, gdzie:
  l_o - odległość pomiędzy miejscami zerowymi na wykresie momentów zginających w stropie,



Rysunek 3.7. Połączenie ściany wypełniającej ze spodem elementu poziomego konstrukcji szkieletowej za pomocą oparcia mechanicznego; 1 – bloki Silka E18, 2 – oparcie mechaniczne, 3 – spieniony poliuretan, 4 – izolacja termiczna, 5 – konstrukcja szkieletowa

- wysokość użyteczna przekroju stropu;

- jak najpóźniejsze rozdeskowanie stropu – odkształcalność betonu maleje wraz ze wzrostem jego wytrzymałości, dlatego im większą wytrzymałość beton uzyska przed obciążeniem, tym mniejsze będzie ugięcie stropu;
- odpowiednią kolejność prac – murowanie ścian wypełniających powinno się rozpocząć od najwyższej kondygnacji tak, aby po wymurowaniu ściany nie następowało dodatkowe ugięcie stropu spowodowane ciężarem ściany spoczywającej na kondygnacji powyżej;
- jak najpóźniejsze murowanie i tynkowanie ścian – po wymurowaniu ścian wypełniających przyrost obciążeń stałych stropu powinien być jak najmniejszy. Późniejsze murowanie zapewnia ugięcie stropu bardziej zbliżone do warunków eksploatacji budynku. Wypełnienie szczelin dylatacyjnych powinno odbywać się bezpośrednio przed tynkowaniem ścian;
- stosowanie dodatkowego zbrojenia do spoin wspornych – poza strefami podokiennymi oraz w strefie nadproży (zbrojenie wysunięte 0,5 m ponad szerokość nadproża z obu stron) zaleca się zbrojenie pełnych odcinków ścian w strefie dolnej, do 1/3 wysokości ściany;
- w szczególnych przypadkach wypełnienie spoin pionowych – przy murowaniu na pióro i wpust występuje mniej rys, jednak o większej szerokości. Wypełnienie spoin pionowych powoduje powstanie większej ilości rys, jednak o mniejszej szerokości.

Zastosowanie tych zabiegów może w znacznym stopniu ograniczyć ryzyko powstania zarysowań. Więcej informacji o ścianach wypełniających znajduje się w zeszycie technicznym „Ściany przeciwogniowe i wypełniające w systemach Silka i Ytong".

3.2.5. Przeznaczenie bloków Silka

Wyroby Silka znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym, handlowym, przemysłowym, inwentarskim oraz użyteczności publicznej. Możliwość zastosowania określona jest przez wymaganą klasę ekspozycji muru. Klasy ekspozycji definiuje załącznik A do PN-EN 1996-2. Bloki Silka można stosować nawet w konstrukcji narażonej na silne działanie wilgoci z jednoczesnym występowaniem cykli zamrażania-rozmrażania. Doskonale sprawdzają się także przy agresywnych środowiskach chemicznych, niemniej jednak w przypadku silniejszych oddziaływań chemicznych należy dokonać oceny wpływu środowiska na konstrukcję budynku.

Tabela 3.1. Przeznaczenie bloków Silka

Przeznaczenie	Zalecane elementy
Ścianki działowe	Silka E8, Silka E12, Silka E12A
Ściany nośne zewnętrzne i wewnętrzne	Silka E15, Silka E18, Silka E24 Silka E18S, Silka E24S, Silka E18A, Silka E18A+, Silka Tempo 15, Silka Tempo 24
Ściany akustyczne	Silka E12A, Silka E18A, Silka E18A+, Silka Tempo 15, Sika Tempo 24
Ściany piwniczne i fundamentowe	Silka E18S, Silka E24S, Silka Tempo 15, Silka Tempo 24
Ściany dolnych kondygnacji budynków wysokich	Silka E18S, Silka E24S, Silka Tempo 24

Tabela 3.2. Klasy ekspozycji muru

Klasa	Warunki ekspozycji
MX1	W środowisku suchym
MX2 MX2.1 MX2.2	Narażone na działanie wilgoci lub zamoczenie
MX3 MX3.1 MX3.2	Narażone na działanie wilgoci lub zamoczenie oraz cykliczne zamrażanie/rozmrażanie
MX4	Narażone na działanie soli z powietrza, wody morskiej lub soli do odladzania
MX5	W środowisku chemicznie agresywnym

Ściany z bloków Silka można stosować w klasach MX1 – MX3 bez żadnych dodatkowych warunków. Stosowanie bloków w klasach środowiska MX4 oraz MX5 jest możliwe po zasięgnięciu opinii producenta.

3.3. Fizyka budowli

3.3.1. Ciepło

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury „Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie" określa, że wszystkie budynki muszą być tak zaprojektowane, aby ilość energii cieplnej potrzebnej do ogrzania budynku była utrzymana na racjonalnie niskim poziomie. Konieczne jest spełnienie granicznych parametrów:

- współczynnika przenikania ciepła U [W/(m^{2}K)],
- wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na energię pierwotną EP [kWh/(m^{2}rok)].

Graniczne wartości współczynnika przenikania ciepła wobec ścian zewnętrznych określone są w tabeli 3.3.

W przypadku ścian zewnętrznych wykonanych z bloków Silka wymagane jest ocieplenie. Przykład obliczania współczynnika przenikania ciepła podany jest w tabeli 3.4. Warstwę termiczną izolacji stanowią płyty Multipor, płyty styropianowe lub z wełny mineralnej. Zalecanym materiałem są płyty Multipor lub wełna mineralna, z uwagi na paroprzepuszczalność.

W tabeli 3.5. przedstawione są parametry cieplne bloków Silka, które zależą od gęstości bloków i ilości drążeń. Tabela 3.6 określa wartości współczynnika przenikania ciepła ścian wykonanych z bloków Silka i ocieplonych mineralnymi płytami izolacyjnymi Multipor.

Tabela 3.3. Graniczne wartości współczynnika przenikania ciepła U [W/(m^{2}K)] nowoprojektowanych przegród budynków[1)]

Typ przegrody	Od 01.01.2014	Od 01.01.2017	Od 01.01.2021[2)]
Ścian zewnętrzne			
$t_i \geq 16^oC$	0,25	0,23	0,20
$8^oC \leq t_i < 16^oC$	0,45	0,45	0,45
$t_i < 8^oC$	0,90	0,90	0,90
Ściany wewnętrzne			
$\Delta t_i \geq 8^oC$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy	1,00		
przy $\Delta t_i < 8^oC$	Bez wymagań		
Oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,3		

[1)] O wymaganej wartości decyduje data uzyskania pozwolenia na budowę.
[2)] Od 01.01.2019 w przypadku obiektów zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Tabela 3.4. Przykład obliczenia współczynnika przenikania ciepła U dla ściany zewnętrznej [W/(m^{2}K)]

Warstwa	Grubość warstwy d [m]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(mK)]	Opór cieplny R = d/λ [(m^{2}K)/W]
R_{si}	-	-	0,13
Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,82	0,01
Silka E18	0,18	0,51	0,35
Zaprawa lekka Multipor	0,005	0,2	0,03
Multipor 18 cm	0,18	0,043	4,19
Zaprawa lekka Multipor	0,005	0,2	0,03
Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,82	0,01
R_{se}	-	-	0,04
		Σ R=	4,79
		U=1/R	**0,21 W/(m^{2}K)**

Tabela 3.5. Parametry cieplne bloków Silka

Typ ściany	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(mK)]	Opór cieplny R [(m^{2}K)/W]	Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m^{2}K)]
Silka E8	0,51	0,16	3,06
Silka E12	0,50	0,24	2,44
Silka E15	0,50	0,30	2,13
Silka E18	0,51	0,35	1,91
Silka E24	0,55	0,44	1,65
Silka E12A	1,05	0,11	3,51
Silka E18A+	1,05	0,17	2,93
Silka E18A	0,81	0,22	2,55
Silka E18S	0,64	0,28	2,22
Silka E24S	0,65	0,37	1,85
Silka Tempo 15	1,05	0,14	3,20
Silka Tempo 24	0,81	0,30	2,15
Silka 1NF klasy 15	0,81	0,15	3,14

Tabela 3.6. Wartość współczynnika przenikania ciepła U po ociepleniu płytami Multipor

Warstwa murowa ściany	Współ. przenikania ciepła (bez ocieplenia) U	Grubość warstwy Multipor [cm] (λ_D = 0,043 W/(mK))		
		16	18	20
		Opór cieplny warstwy Multipor [mK/W]		
		3,72	4,19	4,65
	[W/(m²K)]	Współczynnik przenikania ciepła ścian z ociepleniem, U [W/(m²K)]		
Silka E15	2,13	0,24	0,21	0,20
Silka E18	1,91	0,24	0,21	0,19
Silka E24	1,65	0,23	0,21	0,19
Silka E18A	2,55	0,24	0,22	0,20
Silka E18A+	2,93	0,25	0,22	0,20
Silka E18S	2,44	0,24	0,22	0,20
Silka E24S	1,83	0,23	0,21	0,19
Silka Tempo 15	3,20	0,25	0,22	0,20
Silka Tempo 24	2,14	0,24	0,21	0,20

3.3.2. Akustyka

Akustyka przegród budowlanych jest jednym z najważniejszych aspektów użytkowych budynków.

Wymagania co do izolacyjności ścian w budynkach mieszkalnych oraz użyteczności publicznej określa norma PN-B-02151-3:1999 „Ochrona przed hałasem – Izolacyjność akustyczna przegród". Wymagania wobec najczęściej spotykanych typów przegród podano w tablicy 3.7.

Wymagania określone w PN-B-02151-3 dotyczą izolacyjności akustycznej przegrody wbudowanej, tzn. z uwzględnieniem zjawiska przenoszenia bocznego dźwięku. Zjawisko to jest zależne od indywidualnej geometrii ścian oraz geometrii i ciężaru przegród bocznych (stropów, ścian).

Elementy murowe Silka pozwalają na zaprojektowanie ścian spełniających wymagania podane w PN-B-02151-3. Izolacyjność akustyczna ścian z bloków Silka podana jest w tablicy 3.8.

Ściany z bloków Silka E18A, E18A+, E24, E24S oraz Silka Tempo 24 z powodzeniem mogą być stosowane do budowy ścian pomiędzy klatką schodową i mieszkaniem.

Tabela 3.7. Wymagana izolacyjność akustyczna ścian wewnętrznych

Typ budynku i pomieszczenia	R'_{A1} [dB]
Budynki wielorodzinne	
mieszkanie	50
korytarze, klatka schodowa	50
pomieszczenia sanitarne	35
pokoje w mieszkaniu	30-35
Budynki jednorodzinne	
ściany międzymieszkaniowe	55
pokoje w mieszkaniu	30-40[1)]
sanitariaty	35-45[1)]
Hotele 3-5 gwiazdkowe	
pokoje	50
korytarz	45
Szpitale	
pokoje chorych	40-50[1)]
gabinety lekarskie	40-45[1)]
Budynki administracyjne	
pokoje do pracy	35
pokoje do pracy wymagające koncentracji, dyrektorskie	40-45[1)]
sanitariaty	50

[1)] w zależności od typu pomieszczenia sąsiadującego

Tabela 3.8. Wskaźniki ważone izolacyjności akustycznej właściwej ścian z bloków Silka (wartości nie uwzględniają zjawiska przenoszenia bocznego dźwięku)

Typ ściany[1)]	Grubość ściany [cm]	Jednoliczbowe wskaźniki izolacyjności akustycznej ważonej		
		R_w [dB]	R_{A1} [dB]	R_{A2} [dB]
Silka E8	8	45	45	42
Silka E12	12	48	47	44
Silka E15	15	50	49	45
Silka E18	18	52	50	47
Silka E24	24	56	54	51
Silka E18S	18	53	52	47
Silka E24S	24	59[2)]	57[2)]	54[2)]
Silka Tempo 15	15	56[2)]	53[2)]	49[2)]
Silka Tempo 24	24	59[2)]	57[2)]	54[2)]
Silka E12A	12	49	48	45
Silka E18A	18	55	54	50
Silka E18A+	18	56[3)]	55[3)]	51[3)]

[1)] Wartości dotyczą ścian dwustronnie otynkowanych tynkiem gipsowym o grubości 10 mm
[2)] Wartość szacowana, obliczona na podstawie zależności $R_w = 30{,}9 \cdot \log(m') - 22{,}2$ [dB], gdzie m' – masa powierzchniowa przegrody wraz z tynkiem
[3)] Wartość dotyczy ściany wymurowanej z wypełnieniem spoin pionowych

3.3.3. Odporność ogniowa

Wymagania dotyczące odporności ogniowej określa Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Zgodnie z nim budynek i urządzenia z nim związanie powinny być wykonane tak, aby podczas pożaru zapewniać:

- nośność konstrukcji przez czas wynikający z rozporządzenia,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie budynki,
- możliwość ewakuacji ludzi, a także uwzględniający bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Wszystkie wyroby Silka charakteryzują się klasą reakcji na ogień A1. Oznacza to, że są niepalne, nie rozprzestrzeniają ognia oraz podczas pożaru nie wydzielają szkodliwych substancji ani nadmiernej ilości ciepła. Przegrody z bloków Silka odznaczają się wysokimi wartościami w zakresie nośności (R), szczelności (E) i izolacyjności ogniowej (I). Z bloków Silka można wykonywać ściany kotłowni i ściany ogniowe. Klasyfikację ogniową ścian z Silki przedstawia tabela 3.9. i 3.10. Podane wartości w nawiasach dotyczą ścian otynkowanych. Odporność ogniowa zależy także od mimośrodu obciążenia i smukłości ściany, dlatego niektóre wartości podane są w przedziałach. W przypadku wyższych

Tabela 3.9. Odporność ogniowa ścian nienośnych z bloczków Silka wg PN-EN 1996-1-2 (kryterium EI)

Odporność ogniowa ścian z bloków Silka (ściany nienośne)					
Grubość bloków [mm]	80	120	150	180	240
Grupa 1 i grupa 1S (wszystkie bloki Silka)					
Kryterium EI					
ściany nieotynkowane	EI 30 - EI 60	EI 90 - EI 120	EI 120 - EI 240	EI 180 - EI 240	EI 240
ściany otynkowane	EI 60		EI 180	EI 240	

Tabela 3.10. Odporność ogniowa ścian nośnych z bloczków Silka wg PN-EN 1996-1-2 (kryterium REI)

Odporność ogniowa ścian z bloków Silka (ściany nośne)					
Grubość bloków [mm]	**80**	**120**	**150**	**180**	**240**
Grupa 1 (Silka E8, E12, E15, E18, E24)					
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 0,6					
ściany nieotynkowane	-	REI 90 - REI 120	REI 120	REI 120 - REI 180	REI 240
ściany otynkowane	-	REI 120	REI 240	REI 240	
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 1,0					
ściany nieotynkowane	-	REI 90	REI 90 - REI 120	REI 90 - REI 120	REI 240
ściany otynkowane	-		REI 240	REI 240	
Grupa 1S (Silka E12A , Silka E18A, Silka E18A+, Silka E18S, E24S, Silka EQ, Silka 1/2, Silka Tempo, Silka 1 NFD[1])					
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 0,6					
ściany nieotynkowane	-	REI 90 - REI 120	REI 90 - REI 240	REI 180 - REI 240	REI 240
ściany otynkowane	-		REI 120 - REI 240		
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 1,0					
ściany nieotynkowane	-	REI 90 - REI 120	REI 90 - REI 240	REI 180 - REI 240	REI 240
ściany otynkowane	-		REI 120 - REI 240		

1) Podana odporność ogniowa dotyczy ściany murowanej na grubość 12 cm

odporności ogniowych minimalna grubość ściany zależy od indywidualnych uwarunkowań, w jakich znajduje się przegroda.

3.4. Zalecenia projektowo-wykonawcze

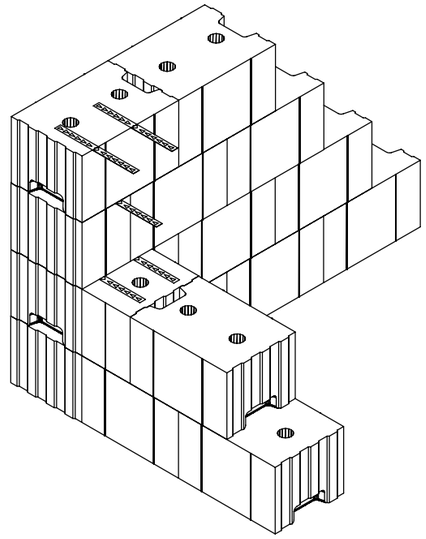
3.4.1. Połączenia ścian za pomocą przewiązania murarskiego

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem wykonywania naroży i łączenia ścian usytuowanych względem siebie prostopadle lub pod różnymi kątami jest przewiązywanie elementów murowych.

Dzięki modularnym wymiarom bloków Silka w łatwy sposób można przewiązać ściany o różnej grubości (ściany nośne z działowymi). W przypadku, gdy chcemy wykorzystać kanały elektryczne, należy pamiętać o zachowaniu ciągłości znaczników. Na przewiązanie murarskie należy łączyć wszystkie ściany podziemia.

3.4.2. Połączenia ścian przy użyciu łączników

Ściany z bloków Silka mogą być także łączone przy użyciu łączników LP30. Ułatwia to prowadzenie instalacji w kanałach elektrycznych oraz znacznie przyśpiesza proces murowania. Umożliwia też korzystne energetycznie połączenie bloczków Ytong z blokami Silka. Połączenie na dotyk polega na murowaniu oddzielnie dwóch łączonych ze sobą ścian w narożniku. W pierwszym etapie muruje się jedną ścianę mocując w spoinach łączniki mechaniczne LP30. Następnie domurowywuje się drugą ścianę narożnika tak, aby łączniki wchodziły w spoiny domurowywanej ściany. Spoinę pionową przy połączeniu ścian należy uzupełnić zaprawą. Ilość łączników LP30 w połączeniu ścian zależy wprost od wielkości obciążeń poziomych przypadających na łączone ściany (przy czym powinno się uwzględnić obciążenie większe). Wymaganą ilość łączników dla każdego przypadku, w którym działają istotne siły należy obliczyć za pomocą analizy statyczno-wytrzymałościowej.



Rysunek 3.8. Łączenie ścian w narożu budynku za pomocą łączników LP30

We wstępnym doborze łączników można posłużyć się poniższą zależnością.
Wartość wytrzymałości muru na rozciąganie w stosunku do wytrzymałości na ściskanie wyraża się stosunkiem 1/10. Zatem wartość siły rozciągającej jaką musi przenieść połączenie ścian jest dziesiątą częścią wartości obciążenia pionowego.
Według Aprobaty Niemieckiej Z-17.1-750 dopuszczalna siła rozciągająca dla 1 kotwy LP30 wynosi 0,5 kN.
Stąd dla ściany obciążonej siłą pionową 40 kN/m ilość łączników wyniesie:

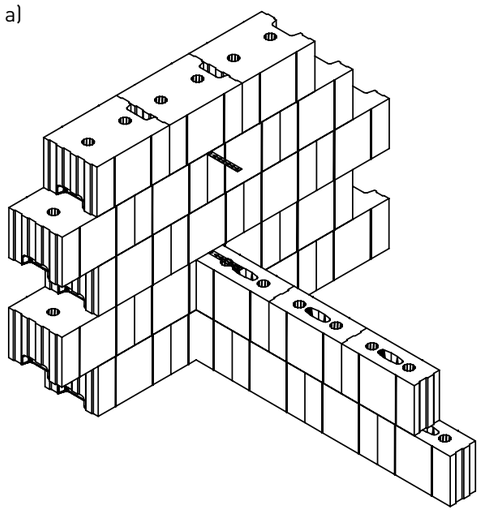
$$n = 40kN \cdot 0,1 / 0,5kN / szt = 8 sztuk$$

Oznacza to, że w ścianie o wysokości 280 cm należy zastosować po 2 łączniki w co trzeciej spoinie.

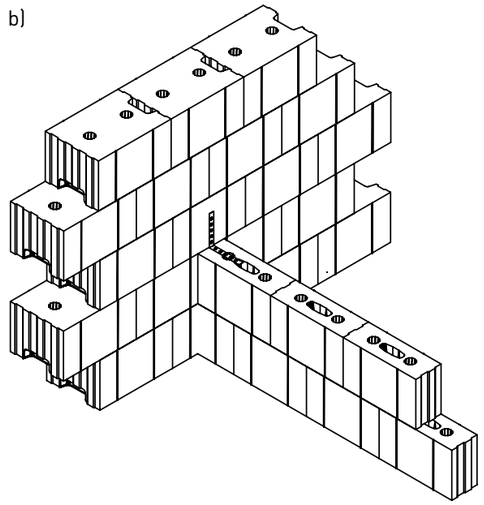
Dla prostych konstrukcji (np. domki jednorodzinne) można stosować ogólną zasadę dotyczącą ilości łączników:

- ściany nośne: 2 łączniki w co trzeciej spoinie,
- ściany działowe: 1 łącznik w co trzeciej spoinie,
- ściany z bloków Silka Tempo: 2 łączniki w każdej spoinie.

a)



b)



Rysunek 3.9. Łączenie ścian działowych usytuowanych prostopadle. Ściany łączone na dotyk, kotwione za pomocą blach i kątowników:
a) gdy położenie ścianek działowych jest znane w momencie murowania ścian nośnych
b) gdy położenie ścianek działowych nie jest znane w momencie murowania ścian nośnych

Istnieją dwa sposoby łączenia na dotyk wewnętrznych ścian działowych ze ścianami konstrukcyjnymi:

- jeśli znany jest przebieg ścian działowych łączniki należy umieszczać w spoinach ścian nośnych. Spoinę pionową należy uzupełnić zaprawą;
- jeśli ściany działowe murowane są w późniejszym terminie można je łączyć za pomocą łącznika LP30 wygiętego i umocowanego kołkami rozporowymi do ściany nośnej. Spoinę pionową należy uzupełnić zaprawą.

Zalecanym sposobem łączenia bloków Silka Tempo są połączenia na dotyk przy użyciu łączników LP30. W każdej spoinie pionowej umieszcza się dwa łączniki. Ten sposób łączenia znacznie ułatwia wykonawstwo ścian na podstawie planów montażowych oraz dodatkowo je przyśpiesza.

3.4.3. Nadproża

Jako przekrycie otworów w ścianach wykonanych z bloków Silka można stosować nadproża z betonu komórkowego Ytong YN i Ytong YF, po upewnieniu się, że posiadają odpowiednią nośność.

Ytong YN to gotowe nadproża do przekrywania otworów o szerokości do 175 cm w ścianach Silka o grubości 24 cm. Nośność nadproży YN przedstawiona jest w tabeli 3.11.

Ytong YF to prefabrykaty nadproża zespolonego, które można stosować w otworach o rozpiętości do 250 cm. Nadproża Ytong YF uzyskują nośność po nadmurowaniu blokami Silka lub po wykonaniu wieńca. Można je stosować w ścianach wykonanych z bloków Silka o grubości 12 cm (Ytong YF 11,5 cm), 18 cm (Ytong YF 17,5 cm) oraz 24 cm (2x Ytong YF 11,5 cm). Nośność nadproży przedstawiona jest w tabeli 3.12.

Do przekrywania otworów w ściankach działowych z bloków Silka E8 służą nadproża nienośne Ytong YD-125/7,5. Przekryty w ten sposób otwór może mieć maksymalną szerokość 1,02 m.

Tabela 3.11. Nośność nadproży do ścian o grub. 24 cm

Opis elementu	Dł. [mm]	Wys. [mm]	Szer. [mm]	Maks. szer. przekrywanego otworu [mm]	Minimalna długość oparcia [mm]	Maks. obciążenie obliczeniowe [kN/m]	Masa elementu [kg]
YN-130/24	1290	249	240	900	195	23	69
YN-150/24	1490			1100	195	22	79
YN-175/24	1740			1350	195	20	92
YN-200/24	1990			1500	245	17	106
YN-225/24	2240			1750	245	14	117

Tabela 3.12. Nośność nadproży zespolonych do ścian o grub. 12 cm, 18 cm i 24 cm

Grubość muru [mm]	Długość nadproża [mm]	Szerokość otworu [mm]	Dopuszczalne obciążenie charakterystyczne q_k [kN/m] w zależności od wysokości warstwy nadmurowanej h [mm] (z wypełnieniem spoin pionowych)			
			200	400	600	800
120	1300	900	12,9	17,2	17,1	17,0
	1500	1100	9,2	13,7	14,3	14,2
	1750	1250	6,9	11,0	12,4	12,3
	2000	1500	4,7	8,3	10,2	10,4
	2250	1750	3,3	6,4	8,2	9,0
	2500	2000	2,4	5,0	6,7	7,7
	2750	2250	1,7	4,0	5,5	6,5
	3000	2500	-	3,2	4,6	5,5
180	1300	900	19,6	26,3	26,1	26,0
	1500	1100	15,6	22,7	23,1	22,9
	1750	1250	10,5	16,8	18,9	18,7
	2000	1500	7,3	12,7	15,6	15,8
	2250	1750	5,2	9,8	12,6	13,7
	2500	2000	3,6	7,7	10,2	11,7
	2750	2250	2,6	6,1	8,4	9,9
	3000	2500	-	4,9	7,0	8,4
240	1300	900	25,8	34,4	34,2	34,0
	1500	1100	18,4	27,4	28,6	28,4
	1750	1250	13,8	22,0	24,8	24,6
	2000	1500	9,4	16,6	20,4	20,8
	2250	1750	6,6	12,8	16,4	18,0
	2500	2000	4,8	10,0	13,4	15,4
	2750	2250	3,4	8,0	11,0	13,0
	3000	2500	-	6,4	9,2	11,0

Tabela 3.13. Szczegółowe wymiary przekroju belki żelbetowej uzyskiwanej w kształtkach nadprożowych Ytong U

Rodzaj kształtki	Wysokość belki [cm]	Szerokość belki [cm]
Ytong U17,5/20	15,0	7,5
Ytong U24/20	15,0	14,0
Ytong U24/25	20,0	14,0

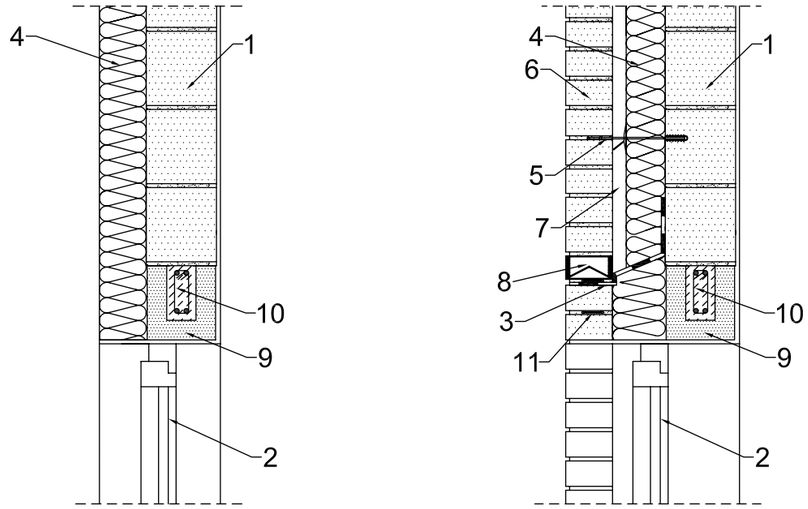
Nadproża nad otworami okiennymi i drzwiowymi w ścianach z bloków Silka wykonuje się w kształtkach Ytong U. Traktowane jako tracone deskowanie, kształtki Ytong U pozwalają skonstruować nadproże o żądanej długości. Elementem nośnym w tym przypadku jest indywidualnie projektowana belka żelbetowa, której wymiary i kształt zostaje nadany przez kształtkę Ytong U (wymiary w tabeli 3.13.).

Przykłady obliczeń konstrukcji nadproży w kształtkach Ytong U zamieszczono w rozdziale 6.
Nadproża w kształtkach Ytong U można wykonywać na placu budowy jako prefabrykowane, a następnie montować w budynku. Należy wówczas stosować długości oparcia takie jak dla belek prefabrykowanych.

W przypadku kształtowania nadproża w warstwie elewacyjnej muru trójwarstwowego zaleca się stosować zbrojenie do spoin wspornych. Podczas murowania warstwy cegieł w nadprożu w spoinach pionowych umieszcza się specjalne strzemiona. Następnie w pierwszej warstwie zaprawy umieszcza się zbrojenie do spoin wspornych. Ilość kolejnych warstw zbrojenia zależy od rozpiętości nadproża i wielkości obciążenia oddziałującego na nie. Zastosowanie tego rozwiązania eliminuje powstawanie rys i spękań, które często są wynikiem połączenia materiałów o różnych właściwościach fizycznych (cegła wapienno-piaskowa i żelbet). Prefabrykowane zbrojenia pozwalają również uzyskać jednolitą elewację bez szpecących ją elementów betonowych, które ukrywa się pod tynkiem lub doklejając płytki elewacyjne.

3.4.4. Oparcie stropu

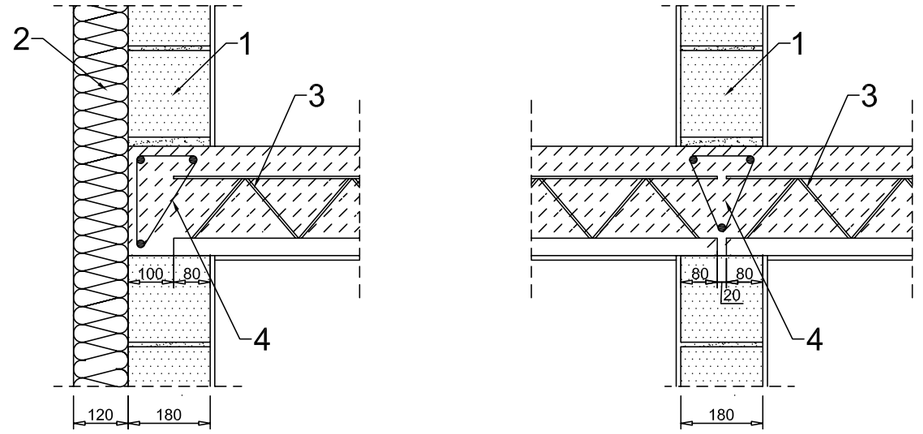
Stropy żelbetowe monolityczne, monolityczno - prefabrykowane typu Filigran oraz żelbetowe gęstożebrowe z elementami prefabrykowanymi (Akerman, Fert, Teriva) opiera się bezpośrednio na ścianach wykonanych z bloków Silka za pośrednictwem wieńca żelbetowego, stanowiącego przedłużenie stropu w ścianie (belki stropowe opiera się bezpośrednio na murze ścian zewnętrznych i wewnętrznych). Możliwość zastosowania konkretnego rodzaju stropu do ściany z bloków Silka o danej grubości jest uzależniona tylko od wymaganej przez strop głębokości oparcia na murze.



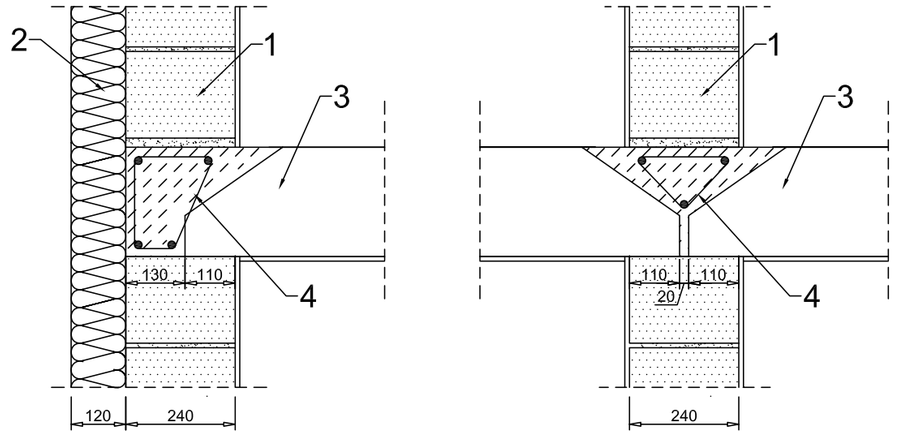
Rysunek 3.10. Nadproże wykonane w kształtce U w ścianie jednowarstwowej z ociepleniem oraz szczelinowej; 1 – bloki Silka E18, 2 – stolarka okienna, 3 – izolacja regulująca odpływ wilgoci folia PE, 4 – izolacja termiczna, 5 – kotwa ze stali nierdzewnej, 6 – cegła Silka 1NF, 7 – pustka powietrzna, 8 – puszka wentylacyjna, 9 – kształtki nadprożowe Ytong U17,5, 10 – belka żelbetowa, 11 – zbrojenie do spoin wspornych

Warstwa konstrukcyjna muru wykonana z Silki E24 pozwala na zastosowanie każdego rodzaju stropu, natomiast wewnętrzna ściana konstrukcyjna, na której strop opiera się z dwóch stron, wykonana z bloków Silka E18 o grubości 18 cm wyklucza stosowanie stropów ciężkich: stropów z płyt kanałowych, stropów gęstożebrowych typu Teriva II i III. Stropy te wymagają głębokości oparcia większej lub równej 11 cm.

Opieranie stropów w przypadku niektórych materiałów ściennych pociąga za sobą zastosowanie tzw. podmurówki – zastąpienia materiału ściennego o niskiej wytrzymałości na materiał o wysokiej wytrzymałości. Opieranie stropów na podmurówce w przypadku ścian z bloków Silka E, które są produkowane w klasach 15 ÷ 25 N/mm^2 nie jest wymagane i konieczne.



Rysunek 3.11. Oparcie stropu gęstożebrowego na ścianie z bloków Silka E18. Ściana zewnętrzna jednowarstwowa z ociepleniem i ściana wewnętrzna; 1 – bloki Silka E18, 2 – izolacja termiczna, 3 – strop, 4 – zbrojenie wieńca stropu



Rysunek 3.12. Oparcie stropu z płyt kanałowych na ścianie z bloków Silka E24. Ściana zewnętrzna jednowarstwowa z ociepleniem i ściana wewnętrzna; 1 – bloki Silka E24, 2 – izolacja termiczna, 3 – strop, 4 – zbrojenie wieńca stropu

3.4.5. Wieńce

Wieńce żelbetowe przede wszystkim zapewniają ogólną zwartość budynku. Wyrównują one różnicę odkształceń ścian o różnym module sprężystości, przejmują siły rozciągające powstałe na skutek odkształceń termicznych, a także na skutek nierównomiernego osiadania. Stanowią również element konstrukcyjny umożliwiający utworzenie się wtórnego ustroju nośnego w przypadku lokalnego uszkodzenia budynku (np. wybuch).

Żelbetowe ściągi obwodowe powinny posiadać co najmniej dwa pręty zbrojenia o przekroju min. 150 mm^2 oraz przenosić siłę rozciągającą 45 kN. Zakłady prętów zbrojenia powinny być zaprojektowane zgodnie z EN 1992-1-1 oraz jeśli to możliwe, ułożone mijankowo. Równoległe zbrojenie ciągłe może być uwzględniane w całym przekroju poprzecznym pod warunkiem, że jest usytuowane w stropach lub nadprożach w odległości nie większej niż 0,5 m od środka ściany lub stropu.

3.4.6. Bruzdowanie i otwory

Bruzdy pionowe i otwory

Bloki Silka z uwagi na wysoką dokładność wymiarową oraz gładką powierzchnię mogą być wykończone cienką warstwą tynku. W przypadku, gdy w ścianie przewidziana jest instalacja elektryczna i nie są do tego wykorzystane kanały elektryczne Silka E, instalację można przeprowadzić w bruzdach. Wymiary bruzd i wnęk nie powinny przekraczać wartości podanych w tabeli 3.14. W przeciwnym razie należy sprawdzić nośność ściany z ich uwzględnieniem.

Bruzdy poziome i otwory

Nie należy wykonywać bruzd nad stropem do 1/8 wysokości ściany. Jeżeli mimośród w obrębie bruzdy jest mniejszy niż 1/3 grubości ściany, wymiary bruzd nie powinny przekraczać wartości podanych w tabeli 3.15. W przeciwnym razie należy sprawdzić nośność ściany z uwzględnieniem bruzd.

Tabela 3.14. Maksymalne rozmiary bruzd pionowych

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]
Silka E12, Silka E15, Silka Tempo 15	30	125	90	300
Silka E18	30	150	140	300
Silka E24, Tempo 24	30	200	215	300

- 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, gdy ściana wykonana jest z bloków o grub. 24 cm.
- Odległość w kierunku poziomym między sąsiednimi bruzdami lub od bruzdy do wnęki bądź otworu nie powinna być mniejsza niż 225 mm.
- Odległość w kierunku poziomym między sąsiednimi wnękami, niezależnie od tego czy występują po jednej, czy po obu stronach ściany, lub od wnęki do otworu, nie powinna być mniejsza niż dwukrotna szerokość szerszej z dwóch wnęk.
- Łączna szerokość pionowych bruzd i wnęk nie powinna przekraczać 0,13 długości ściany.

Tabela 3.15. Maksymalne rozmiary bruzd poziomych

Grubość ściany [mm]	Maksymalna głębokość [mm]	
	Długość bez ograniczeń	Długość ⩽ 1250 mm
Silka E12, Silka E15, Silka Tempo 15	0	15
Silka E18	10	20
Silka E24, Silka Tempo 24	15	25

- Odległość pozioma między końcem bruzdy a otworem powinna być nie mniejsza niż 500 mm.
- Odległość pozioma między przyległymi bruzdami o ograniczonej długości, niezależnie od tego, czy występują po jednej, czy po obu stronach ściany, powinna być nie mniejsza niż dwukrotna długość bruzdy dłuższej.
- W ścianach o grubości większej niż 150 mm z bruzdami wycinanymi maszynowo dopuszczalną głębokość bruzdy można zwiększyć o 10 mm. W ścianach z bloków o grub. 24 cm bruzdy wycinane maszynowo o głębokości do 10 mm można wykonywać z obu stron ściany.
- Szerokość bruzdy nie powinna przekraczać połowy grubości ściany w miejscu bruzdy.

3.4.7. Murowanie bloków Silka

Przy murowaniu bloków Silka należy zachować odstęp pomiędzy spoinami pionowymi w kolejnych warstwach elementów. Dla bloków Silka E odległość ta wynosi min. 8 cm, a dla wielkowymiarowych bloków Silka Tempo min. 12 cm.
Wyroby Silka posiadają profilowanie na pióro i wpust, co umożliwia murowanie bloków na zaprawie do cienkich spoin Ytong-Silka z wypełnieniem tylko poziomych spoin. Bloki Silka E posiadają uchwyty montażowe, które znacznie ułatwiają murowanie.
Ściany fundamentowe i piwniczne należy murować na zaprawie zwykłej z wypełnieniem spoin poziomych i pionowych. Szczegółowe wskazówki wykonawcze znajdują się w poradnikach murowania Silka. Informacje o zaprawach znajdują się w punkcie 2.5.
Wielkowymiarowe bloki Silka Tempo muruje się także na zaprawie do cienkich spoin Ytong-Silka wypełniając jedynie spoiny poziome. Bloki posiadają uchwyty, które umożliwiają murowanie za pomocą mini-żurawia.

3.4.8. Kanały elektryczne

System Silka został tak zaprojektowany, aby ułatwić wykonywanie instalacji elektrycznych w ścianach. Chcąc skorzystać z tej możliwości każdą warstwę bloków należy układać w taki sposób, aby spoiny pionowe mijały się dokładnie co 166 mm. Na powierzchni bloków Silka umieszczone są znaczniki, które muszą się pokrywać.
Ten sposób poprowadzenia instalacji umożliwia cienkowarstwowe wykończenie powierzchni ścian.
W kanały elektryczne wyposażone są bloki Silka serii E, EQ oraz E-S. Kanałów elektrycznych nie posiadają bloki Silka E-A oraz Silka Tempo.
Szczegółowe wskazówki wykonawcze znajdują się w poradnikach murowania Silka.

3.4.9. Dylatacje

W budynkach ze ścianami konstrukcyjnymi bloków wapienno-piaskowych i cegieł Silka należy przyjmować przerwy dylatacyjne nie mniejsze od wartości podanych w tabeli 3.16.

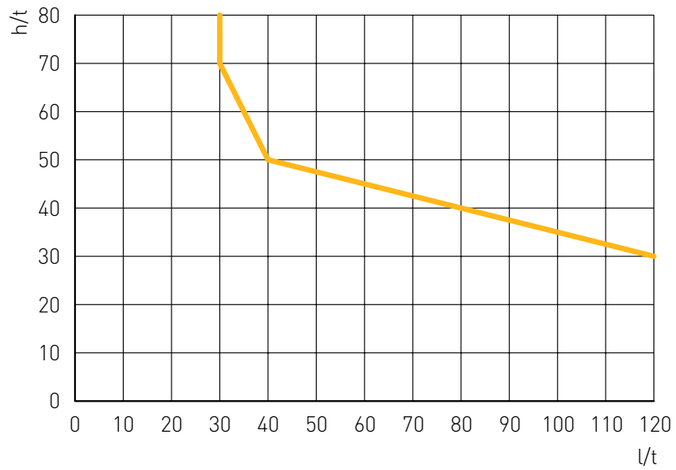
Tabela 3.16. Odległość między przerwami dylatacyjnymi [m]

Odległości l_m			
Ściany szczelinowe		Ściany jednowarstwowe	
warstwa zewnętrzna	warstwa wewnętrzna	spoiny pionowe wypełnione	spoiny pionowe niewypełnione
8	30	25	20

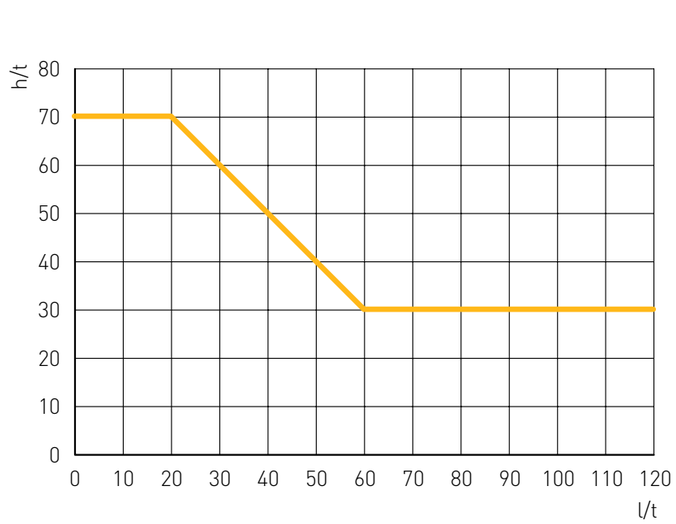
3.4.10. Maksymalna wysokość ścian

Poza spełnieniem stanu granicznego nośności, wymiary ścian nie powinny przekraczać tych, które wynikają z wykresów 3.1., 3.2. oraz 3.3. Wymiary należy odczytać dla odpowiednich warunków utwierdzenia ściany, gdzie:
h – wysokość ściany w świetle,
l – długość ściany,
t – grubość ściany.

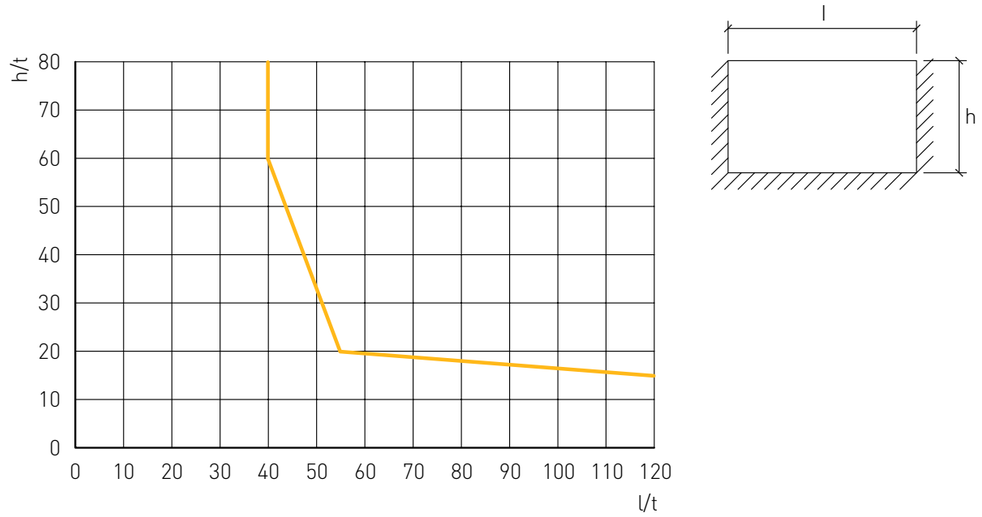
W przypadku, gdy wymiary ściany przekraczają te, które wynikają z wykresu, w ścianie należy zastosować dodatkową konstrukcję usztywniającą, wieńce pośrednie lub/i trzpienie. Wieniec pośredni powinien być zazbrojony za pomocą przy najmniej 4 prętów o średnicy 6 mm.



Wykres 3.1. Maksymalne wymiary ściany zamocowanej na czterech krawędziach



Wykres 3.2. Maksymalne wymiary ściany zamocowanej na trzech krawędziach: dolnej, górnej i bocznej



Wykres 3.3. Maksymalne wymiary ściany zamocowanej na trzech krawędziach: dolnej i dwóch krawędziach bocznych

3.4.11. Projektowanie w systemie Silka Tempo

Obliczenia statyczne murów z bloków Silka Tempo wykonuje się tak samo, jak obliczenia innych konstrukcji wykonanych z elementów silikatowych. Budynki projektowane w systemie Silka Tempo są znacznie szybsze w realizacji, a ściany uzyskują jednorodne właściwości.

Aby ułatwić i tym samym przyśpieszyć wykonanie ścian zaprojektowanych w systemie Silka Tempo należy uwzględnić wymiary bloków przy projektowaniu długości i wysokości ścian oraz rozmieszczeniu otworów okiennych i drzwiowych. W celu przyśpieszenia realizacji zaleca się docinanie jedynie bloków Silka E24S oraz EQ. Bloki Silka Tempo można łączyć w ścianie z innymi elementami, gdy posiadają taką samą lub wyższą klasę wytrzymałości.

Pierwszą warstwę muru w systemie Silka Tempo wykonuje się z bloków Silka E24S lub Silka EQ 10/24 na grubej spoinie. Dzięki temu łatwiejsze staje się wypoziomowanie ewentualnych nierówności stropu. Warstwy uzupełniające do osiągnięcia wysokości kondygnacji spoza modułu bloków Silka Tempo przedstawia tabela 3.17.

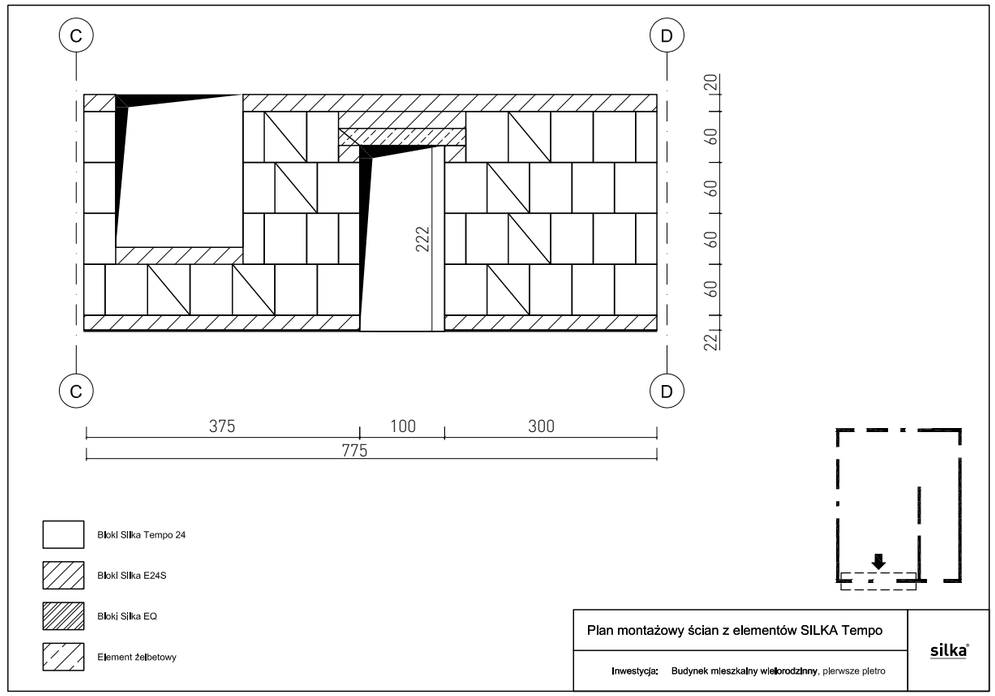
Budynki w systemie Silka Tempo powinny być zaprojektowane w module długości 12,5 cm. Brak konieczności stosowania elementów uzupełniających oraz docinania elementów znacznie przyśpiesza prace. Niemniej jednak przy pomocy bloków Silka E oraz spoin pionowych o grubości do 3 cm można dowolnie dopasować długość ścian.

Bloki można także docinać za pomocą płyty tarczowej o średnicy tarczy dostosowanej do grubości bloków, co eliminuje konieczność wykonania planu montażowego oraz stosowania bloków uzupełniających.

Wysokość otworów okiennych i drzwiowych oraz ich położenie należy projektować tak, aby umożliwić ich wykonanie bez konieczności docinania bloków. Wysokość parapetu powinna być uzależniona od wysokości pierwszej warstwy (tab. 3.11, rys. 3.14).

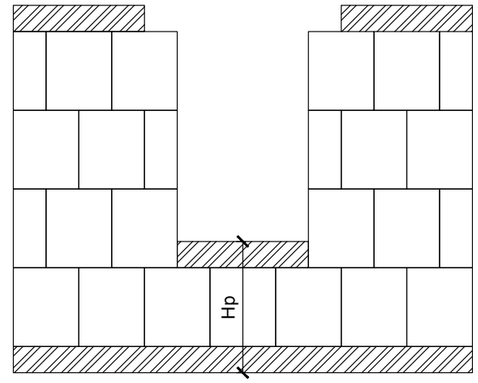
Tabela 3.17. Uzupełnienie ścian z bloków Silka Tempo do uzyskania wysokości kondygnacji spoza modułu 60 cm

Wysokość kondygnacji do uzupełnienia	Pierwsza warstwa	Warstwy wieńczące (uzupełnienie wysokości ściany)
0 cm	Silka E	2x Silka E
1-3 cm	Silka E	2x Silka E
4-6 cm	Silka E	2x Silka E
7-10 cm	Silka E	2x Silka E
11-13 cm	Silka EQ10	-
14-16 cm	Silka EQ12,5	-
17-20 cm	Silka EQ17,5	-
21-23 cm	Silka E	-
24-26 cm	Silka EQ10	Silka EQ12,5
27-30 cm	Silka EQ10	Silka EQ17,5
31-33 cm	Silka EQ10	Silka E
34-36 cm	Silka E	Silka EQ12,5
37-40 cm	Silka E	Silka EQ17,5
41-43 cm	Silka E	Silka E
44-46 cm	Silka E	Silka EQ10 + Silka EQ12,5
47-50 cm	Silka E	Silka EQ10 + Silka EQ17,5
51-53 cm	Silka E	Silka E + Silka EQ10
54-56 cm	Silka E	Silka E + Silka EQ12,5
57-59 cm	Silka E	Silka E + Silka EQ17,5



Rysunek 3.13. Przykładowy plan montażowy Silka Tempo

Ze względu na łatwość wykonania zalecanym sposobem łączenia bloków Silka Tempo w narożnikach i przy prostopadłych ścianach są łączniki LP30. W każdej spoinie należy umieścić 2 łączniki, chyba że z obliczeń wg pkt. 3.4.2. wynika inna ilość. Możliwe są także połączenia na przewiązanie murarskie, niemniej jednak są trudniejsze w realizacji.



Rysunek 3.14. Wysokość otworu okiennego

Tabela 3.18. Wysokość parapetu przy ścianach z bloków Silka Tempo 24

Hp (wysokość parapetu)	Pierwsza warstwa	Uzupełnienie wysokości otworu
72 cm	Silka EQ 10/24	-
74,5 cm	Silka EQ 12,5/24	-
79,5 cm	Silka EQ 17,5/24	-
82 cm	Silka 24S	-
	Silka EQ10/24	Silka EQ10/24
84,5 cm	Silka EQ 10/24	Silka EQ12,5/24
89,5 cm	Silka EQ 10/24	Silka EQ17,5/24
92 cm	Silka E24S	Silka EQ10/24

4. Zasady obliczeń statycznych

4.1. Zasady ogólne

Konstrukcję budynku należy zaprojektować tak, aby w przewidywanym okresie eksploatacji nie nastąpiło przekroczenie stanów granicznych nośności i użytkowalności. Zasady projektowania konstrukcji murowych zawarte są w PN-EN 1996 Eurokod 6.

4.2. Parametry wytrzymałościowe muru

Bloki Silka należą do grupy 1 oraz kategorii I elementów murowych.
Do kategorii I można zaliczyć elementy murowe dobrej jakości, które zapewniają tolerancję wymiarowe oraz odpowiedni poziom i powtarzalność cech wytrzymałościowych i mechanicznych. Produkowane są seryjnie przez wytwórnie stosujące odpowiednie kontrolę jakości przy udziale niezależnych jednostek certyfikujących. W porównaniu do elementów kategorii II możliwe jest stosowanie niższych współczynników bezpieczeństwa, co oznacza o 29% większą wytrzymałość obliczeniową muru, przy tej samej wytrzymałości charakterystycznej.

Do grupy 1 elementów murowych zaliczają się bloki, których łączna objętość drążeń oraz objętość pojedynczego drążenia nie przekraczają odpowiednio 25% i 12,5% objętości całego elementu.
Według PN-EN 1996-1-1 zastosowanie elementów murowych grupy 1 daje możliwość zastosowania korzystniejszego współczynnika redukcji nośności K, co pozwala na osiągnięcie o 22 % lepszej wytrzymałości, w porównaniu do elementów grupy 2. Bezpośrednio pod obciążeniem skupionym oraz na długości obliczonej z uwzględnieniem rozdziału obciążenia pod kątem 60º, norma PN-EN 1996-1-1 dopuszcza stosowanie jedynie elementów murowych grupy 1 lub innych pełnych elementów. Eurokod 6 nie dopuszcza zatem stosowania elementów silikatowych grupy 2 w ścianach z otworami. Szczegółowe wymagania dla grup określone są w tablicy 3.1. PN-EN 1996-1-1.

W PN-EN 1996-1-2 określona jest dodatkowa grupa elementów murowych 1S z uwagi na odporność ogniową. Grupa 1S dotyczy wyrobów o objętości drążeń poniżej 5% objętości całego elementu.

Tabela 4.1. Wytrzymałość na ściskanie ścian z bloków Silka o grub. 18 i 24 cm oraz Silka Tempo 24

Bloki	Wytrzymałość znormalizowana f_b [N/mm²]	Wytrzymałość charakterystyczna f_k [N/mm²]	Wytrzymałość obliczeniowa f_d [N/mm²]	
			Klasa A	Klasa B
Klasa 15	15	6,00	3,53	3,00
Klasa 20, Silka Tempo 24	20	7,66	4,50	3,83
Klasa 25	25	9,26	5,44	4,63

Tabela 4.2. Wytrzymałość na ściskanie ścian z bloków Silka o grub. 12 i 15 cm oraz Silka Tempo 15

Bloki	Wytrzymałość znormalizowana f_b [N/mm²]	Wytrzymałość charakterystyczna f_k [N/mm²]	Wytrzymałość obliczeniowa f_d [N/mm²]	
			Klasa A	Klasa B
Klasa 15	15	6,00	3,53	3,00
Klasa 20, Silka Tempo 15	20	7,66	4,50	3,83

4.2.1. Wytrzymałość muru na ściskanie

Wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie
Wytrzymałość charakterystyczną muru na ściskanie zgodnie z PN-EN 1996-1-1 wyznaczać można z zależności:

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

Dla murów wykonanych na zaprawie do cienkich spoin Ytong-Silka wartość można wyznaczyć z zależności:

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

f_b – znormalizowana wytrzymałość na ściskanie elementu murowego,
f_k – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie,
f_m – wytrzymałość zaprawy murarskiej na ściskanie,
K – współczynnik zależny od grupy elementu murowego i rodzaju zaprawy murarskiej, dobrany za pomocą tablicy NA.5 z PN-EN 1996-1-1t.

Wytrzymałość obliczeniową muru na ściskanie wyznacza się z zależności:

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

gdzie
f_d – obliczeniowa wytrzymałość muru na ściskanie,
f_k – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie,
γ_m – współczynnik bezpieczeństwa wyznaczony wg tabeli NA.1 z PN-EN 1996-1-1, zależy od klasy wykonania robót oraz kategorii elementów murowych (Tabela 4.4.).

Dla wyjątkowych sytuacji obliczeniowych, niezależnie od kategorii elementów murowych i kategorii wykonania robót, można przyjąć:

- dla muru – γ_M = 1,3,
- dla zakotwień stali zbrojeniowej – γ_M = 1,15,
- dla stali zbrojeniowej – γ_M = 1,0.

Klasę wykonania ustala się na podstawie sposobu i jakości prowadzonych robót.

- klasa 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,
- klasa 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.

Obliczanie nośności filarków
Według załącznika krajowego do PN-EN 1996-1-1, gdy pole przekroju poprzecznego ściany jest mniejsze niż 0,3 m², wytrzymałość obliczeniową muru na ściskanie f_d należy podzielić przez współczynnik η_A.

Tabela 4.3. Wartości współczynnika K w zależności od zastosowanej zaprawy

	Zaprawa zwykła	Zaprawa do cienkich spoin
Współczynnik K	0,45	0,60

Tabela 4.4. Wartość współczynnika γ_M w zależności od zastosowanej zaprawy

Materiał			γ_M	
			Klasa	
			A	B
A	Mury wykonane z elementów murowych kategorii I, zaprawa projektowana[1)]	Ściany grubości t > 150mm[4)]	1,7	2,0
B	Mury wykonane z elementów murowych kategorii I, zaprawa przepisana[2)]		2,0	2,2
C	Mury wykonane z elementów murowych kategorii II, dowolna zaprawa[1), 2), 3)]		2,2	2,5

[1)] Wymagania dotyczące zaprawy projektowanej podano w PN-EN 998-2 i PN-EN 1996-2.
[2)] Wymagania dotyczące zaprawy przepisanej podano w PN-EN 998-2 i PN-EN 1996-2.
[3)] Gdy współczynnik zmienności dla kategorii II elementów murowych jest nie większy niż 25%.
[4)] Dla ścian grubości 150 mm ⩾ t ⩾ 100 mm:
– wykonanych z elementów murowych kategorii I i zaprawy projektowanej, pod nadzorem odpowiadającym klasie A wykonania robót – γ_M = 2,5;
– w pozostałych przypadkach – γ_M = 2,7.

Tabela 4.5. Wartość współczynnika η_A

Pole przekroju poprzecznego muru (m²)	≤ 0,05-0,09	0,12	0,20	≥ 0,30
η_A	2,00	1,43	1,25	1,00

Uwaga: Dla wartości pośrednich pola przekroju muru, wartości η_A można interpolować liniowo.

4.2.2. Wytrzymałość muru na ścinanie

W przypadku bloków murowanych na pióro-wpust charakterystyczną wytrzymałość muru na ścinanie wyznacza się ze wzoru:

$$f_{vk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{vko} + 0,4\sigma_d \\ 0,045\, f_b, \text{ lecz nie mniej niż } f_{vko} \\ 0,7 \cdot f_{vk,\max} \end{cases}$$

W elementach murowanych z wypełnieniem spoin pionowych (Silka E18S, E24S w ścianach fundamentowych, Silka 1NF) charakterystyczną wytrzymałość muru na ścinanie wyznacza się ze wzoru:

$$f_{vk} = \min \begin{cases} f_{vko} + 0,4\sigma_d \\ 0,065\, f_b, \text{ lecz nie mniej niż } f_{vko} \\ f_{vk,\min} \end{cases}$$

f_{vk} – wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie w kierunku równoległym do spoin wspornych, gdy naprężenie ściskające równe jest zero (σ_d = 0); podana w Tablicy 4.7,

σ_d – wartość średnia obliczeniowych naprężeń ściskających w przekroju w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ścinania w rozważanym elemencie konstrukcji, wyznaczona dla odpowiedniej kombinacji oddziaływań,

f_b – znormalizowana wytrzymałość elementów murowych na ściskanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych,

$f_{vk,min}$ – minimalna wartość wytrzymałości zgodnie z tablicą 4.6.

Wytrzymałość obliczeniową na ścinanie wyznacza się analogicznie jak dla wytrzymałości na ściskanie:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

4.2.3. Wytrzymałość muru na rozciąganie

Wytrzymałość charakterystyczną muru na rozciąganie przy zginaniu f_{xk1} i f_{xk2} należy przyjmować wg tabel NA.8 i NA.9 z PN-EN 1996-1-1.

f_{xk1} – wytrzymałość charakterystyczna muru na rozciąganie w płaszczyźnie zniszczenia równoległej do spoin wspornych,

f_{xk2} – wytrzymałość charakterystyczna muru na rozciąganie w płaszczyźnie zniszczenia prostopadłej do spoin wspornych.

Tabela 4.6. Wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie

f_{vko}			$f_{vk,min}$
Zaprawa zwykła		Zaprawa do cienkich spoin	
f_m	f_{vko}		
15; 20	0,20	0,30	1,7
5; 10	0,15		1,5
1; 2,5	0,10		1,2

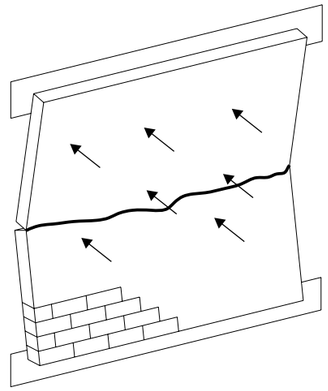
Tabela 4.7. Wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie muru z bloków Silka w płaszczyźnie zniszczenia równoległej do spoin wspornych f_{xk1} [N/mm²]

Rodzaj zaprawy			
Zaprawa zwykła		Zaprawa do cienkich spoin	Zaprawa lekka
f_m < 5 N/mm²	f_m ≥ 5 N/mm²		
0,05	0,10	0,15	nie stosuje się

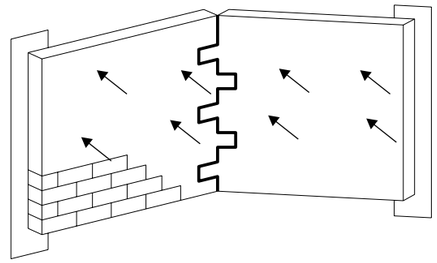
Tabela 4.8. Wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie muru z bloków Silka w płaszczyźnie zniszczenia prostopadłej do spoin wspornych f_{xk2} [N/mm²]

Rodzaj zaprawy			
Zaprawa zwykła		Zaprawa do cienkich spoin	Zaprawa lekka
f_m < 5 N/mm²	f_m ≥ 5 N/mm²		
0,20	0,40	0,30	nie stosuje się

a)



b)



Rysunek 4.1. Wytrzymałość muru na rozciąganie:
a) w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych,
b) w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych.

4.2.4. Ściana poddana obciążeniu skupionemu

Przyłożone do ściany obliczeniowe obciążenie skupione N_{Edc}, nie powinno być większe od nośności obliczeniowej ściany pod obciążeniem skupionym N_{Rdc}. Nośność ścian z elementów Silka oblicza się wg wzoru:

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

gdzie

$$\beta = \min\begin{cases}\left(1 + 0{,}3\dfrac{a_1}{h_c}\right)\left(1{,}5 - 1{,}1\dfrac{A_b}{A_{ef}}\right) \\ 1{,}25 + \dfrac{a_1}{2h_c} \\ 1{,}5\end{cases}$$

oraz $\beta \geq 0$;

β – współczynnik zwiększający nośność na obciążenie skupione,

a_1 – odległość końca ściany od krawędzi skrajnego obszaru obciążenia,

h_c – wysokość ściany od poziomu obciążenia,

A_b – obciążana powierzchnia,

A_{ef} – powierzchnia efektywna rozdziału, tj. $l_{efm} \cdot t$,

t – grubość muru.

4.2.5. Odkształcalność muru

Zależność naprężenie – odkształcenie można przyjąć jako funkcję paraboliczno-prostokątną. Dla obliczenia nośności przekroju zginanego i mimośrodowo ściskanego dopuszcza się przyjmowanie zależności prostokątnej.

Doraźny sieczny moduł sprężystości muru:
wg normy PN-EN 1996-1-1 dla elementów silikatowych przy zastosowaniu zaprawy o $f_m \geq 5$ MPa wartość doraźnego siecznego modułu sprężystości muru wynosi:

$$E = 1000 f_k$$

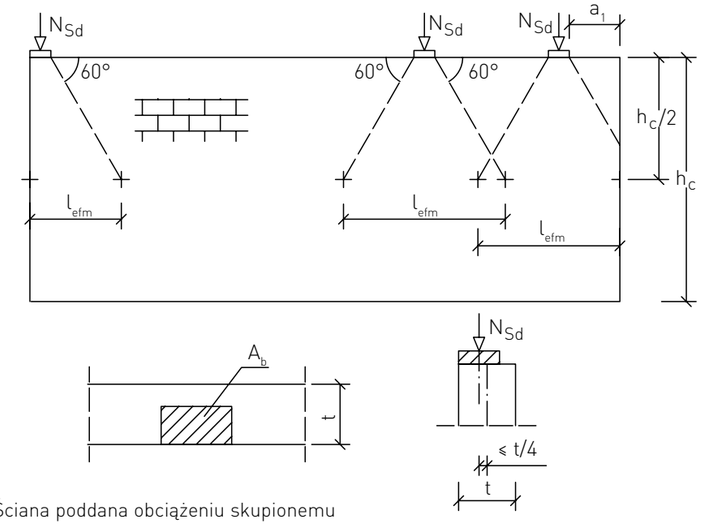
Tabela 4.9. Doraźny sieczny moduł sprężystości

Klasa	Sieczny moduł sprężystości
15 MPa	6000 MPa
20 MPa, Tempo	7660 MPa
25 MPa	9260 MPa

Długotrwały moduł sprężystości:
wg normy PN-EN 1996-1-1 za wartość długotrwałego modułu sprężystości przyjmować należy wartość doraźnego, siecznego modułu sprężystości, zredukowaną z uwagi na efekt pełzania:

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

ϕ_∞ – końcowy współczynnik pełzania. Dla silikatów należy przyjąć wartość z przedziału 1,0 – 2,0.



Rysunek 4.2. Ściana poddana obciążeniu skupionemu

5. Wymiarowanie ścian obciążonych głównie pionowo

Według normy PN-EN 1996 jedynym modelem obliczeniowym jest model ramowy – odpowiednik modelu ciągłego, dopuszczalnego w normie PN-B-03002. Metoda ta uwzględnia nośność ścian obciążonych głównie pionowo, ale uwzględnia także momenty zginające powstałe od sił poziomych (np. wiatru) oraz od mimośrodowego działania sił pionowych.
Sprawdzenie nośności ściany należy dokonać w przekrojach na górnej krawędzi ściany, na dolnej krawędzi ściany oraz w środku wysokości ściany.

W stanie granicznym nośności, obliczeniowe siły pionowe działające na ścianę murową N_{Ed} nie powinny być większe od nośności obliczeniowej na obciążenia pionowe ściany N_{Rd}:

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

Obliczeniową nośność ściany wyznacza się ze wzoru:

$$N_{Rd} = \Phi\, t\, f_d$$

Φ – współczynnik redukcyjny nośności, odpowiednio, Φ_i u góry i u dołu ściany lub Φ_m w środku ściany, uwzględniający wpływ smukłości i mimośród obciążenia,

t – grubość ściany,

f_d – wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie.

Dolne i górne krawędzie ścian
W przypadku dolnych i górnych krawędzi ścian, wartość współczynnika redukcyjnego nośności wyznacza się ze wzoru:

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

gdzie:

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

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

M_{id} – moment zginający wywołany działaniem obciążeń obliczeniowych, u góry i u dołu ściany, będący wynikiem przekazywania reakcji na podporę ze stropu, na mimośrodzie wyznaczonym zgodnie z rysunkiem 5.1,

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_i; powstały w skutek niedokładności wykonawczych, należy uwzględnić go na całej wysokości ściany.

Można przyjąć wartość $e_{init} = h_{ef}/450$, gdzie h_{ef} jest wysokością efektywną wymiarowanej ściany.

Środek ścian
W uproszczony sposób można obliczyć współczynnik redukcyjny dla środka ściany Φ_m ze wzorów:

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

gdzie

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

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

e_{mk} – mimośród w połowie wysokości ściany określony wzorem:

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

e_m – mimośród działania obciążenia obliczany według wzoru:

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

M_{md} – moment zginający wywołany działaniem obciążeń obliczeniowych w środkowej części ściany, będący wynikiem działania momentów u góry i u dołu ściany z uwzględnieniem każdego obciążenia przyłożonego do powierzchni licowej ściany (np. wspornik),

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

e_{hm} – mimośród w połowie wysokości ściany, będący wynikiem obciążeń poziomych (np. wiatru); wpływ zależy od kombinacji obciążeń, stąd należy brać pod uwagę iloraz M_{md}/N_{md},

e_{init} – jak we wzorze do wyznaczenia e_i,

e_k – mimośród wywołany pełzaniem określany wzorem:

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

h_{ef} – wysokość efektywna przekroju obliczana zgodnie ze wzorem,

ϕ_∞ – końcowy współczynnik pełzania wynoszący 1,0 – 2,0,

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

ρ_n – współczynnik redukcji, gdzie n=2, 3 lub 4 w zależności od utwierdzenia krawędzi lub usztywnienia ściany.

Dla ścian utwierdzonych na górnej i dolnej krawędzi przez stropy żelbetowe lub dachy rozpięte dwukierunkowo, lub przez stropy żelbetowe rozpięte jednokierunkowo oparte na co najmniej 2/3 grubości ściany:
$\rho_2 = 0{,}75$
chyba że mimośród obciążenia na górnej krawędzi ściany jest większy niż 0,25 grubości ściany, wtedy:
$\rho_2 = 1{,}0$
Dla ścian utwierdzonych na górnej i dolnej krawędzi przez stropy lub dachy drewniane rozpięte dwukierunkowo lub przez stropy drewniane rozpięte jednokierunkowo oparte na co najmniej 2/3 grubości ściany i nie mniej niż 85 mm:
$\rho_2 = 1{,}0$
Dla ścian utwierdzonych na górnej i dolnej krawędzi i usztywnionych na jednej pionowej krawędzi (z jedną krawędzią swobodną):
gdy h ⩽ 3,5l,

$$\rho_3 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2\, h}{3\,l}\right]^2}\,\rho_2$$

lub
gdy h > 3,5l,

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

l – długość ściany,

h – wysokość kondygnacji w świetle,

$$t_{ef} = \rho_t\, t$$

ρ_t – współczynnik sztywności dotyczący ścian usztywnionych pilastrami, gdzie n=2,3 lub 4 w zależności od utwierdzenia krawędzi lub usztywnienia ściany.

Wyznaczanie momentów M_{id} i M_{ig}:

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

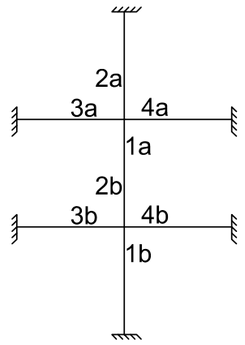
$$M_2 = \frac{\frac{n_2 E_2 I_2}{h_2}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_3 E_3 I_3}{l_3} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}} \left[\frac{w_3 l_3^2}{4\,(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4\,(n_4 - 1)}\right]$$

n_i – współczynnik sztywności prętów równy 4 w odniesieniu do prętów utwierdzonych na obu końcach, w przeciwnym razie równy 3,

h_i – wysokość stropu w świetle,

l_i – długość ściany w świetle,

w_i – obciążenie równomierne rozłożone na pręcie – obliczone z uwzględnieniem częściowych współczynników bezpieczeństwa wywołujących efekt niekorzystny (PN-EN 1990).



Rysunek 5.1. Schemat do wyznaczania momentów

Tabela 5.2. Wartości współczynnika ρ_t

Stosunek osiowego rozstawu pilastrów do ich szerokości	Stosunek wysokości pilastra do grubości ściany, z którą jest połączony		
	1	2	3
6	1,0	1,4	2,0
10	1,0	1,2	1,4
20	1,0	1,0	1,0

Przy wyznaczaniu współczynnika dopuszcza się interpolację wartości.

Obciążenia obliczeniowe

Wartości obliczeniowe uzyskuje się przez przemnożenie obciążeń charakterystycznych przez współczynniki bezpieczeństwa. Przy wyznaczaniu obliczeniowego oddziaływania należy zastosować kombinacje obciążeń według pkt. 6.4.3.2. z PN-EN 1990.

Wartości obliczeniowe sił przekazywanych na konstrukcję murową wyniosą:

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

gdzie:

N_{Ed} – obliczeniowa siła pionowa działająca na ścianę murową,

$N_{Gk,u}$ – charakterystyczna stała siła pionowa z wyższych kondygnacji,

N_{Gk} – charakterystyczna stała siła pionowa od ciężaru rozpatrywanej ściany,

$N_{Qk,u,1}$ – charakterystyczna zmienna wiodąca lub główna siła pionowa z wyższych kondygnacji,

$N_{Qk,u,i}$ – charakterystyczna zmienna siła pionowa *i* z wyższych kondygnacji,

$\gamma_{G,j}$ – współczynnik częściowy dla oddziaływania stałego *j* wynoszący 1,35,

$\gamma_{Q,1}$ – współczynnik częściowy dla wiodącego lub głównego oddziaływania zmiennego,

$\gamma_{Q,i}$ – współczynnik częściowy dla oddziaływania zmiennego i wynoszący 1,5,

ξ – współczynnik redukcyjny wynoszący 0,85, tak aby $\xi \cdot \gamma_{G,j} = 1{,}15$,

$\Psi_{0,1}$, $\Psi_{0,i}$ – wartości kombinacyjne obciążenia zmiennego odpowiednio: wiodącego lub głównego oraz obciążenia zmiennego *i*.

Wartość współczynników $\Psi_{0,i}$ należy określić na podstawie kategorii budynku, według tabeli 5.3.

Tabela 5.3. Zalecane wartości współczynników Ψ_0, dla budynków

Oddziaływanie	Ψ_0
Kategoria A: powierzchnie mieszkalne	0,7
Kategoria B: powierzchnie biurowe	0,7
Kategoria C: miejsca zebrań	0,7
Kategoria D: powierzchnie handlowe	0,7
Kategoria E: powierzchnie magazynowe	1,0
Kategoria F: powierzchnie ruchu pojazdów ⩽ 30 kN	0,7
Kategoria G: powierzchnie ruchu pojazdów 30 kN < ciężar pojazdu ⩽ 160 kN	0,7
Kategoria H: dachy	0,0
Obciążenie budynków śniegiem	0,5
Obciążenie wiatrem	0,6
Temperatura w budynku	0,6

6. Przykłady obliczeń

Przykładowe obliczenia dotyczą budynku wielorodzinnego, ośmiokondygnacyjnego, zlokalizowanego w I strefie wiatrowej i II strefie śniegowej (Warszawa).
Charakterystyka budynku:

- poprzeczny układ stropów,
- dach o spadku 2° kryty papą,
- rozpiętość stropów 6,0 m,
- stropy międzypiętrowe żelbetowe o grubości 15 cm,
- odległość między ścianami usztywniającymi 5,0 m,
- wysokość kondygnacji 2,70 m,
- okna o szerokości 0,9 m w ścianach podłużnych,
- drzwi wewnętrzne w ścianach wewnętrznych o szerokości 0,9 m.

Schemat budynku przedstawiony jest na Rysunku 6.1.

6.1. Zestawienie obciążeń jednostkowych

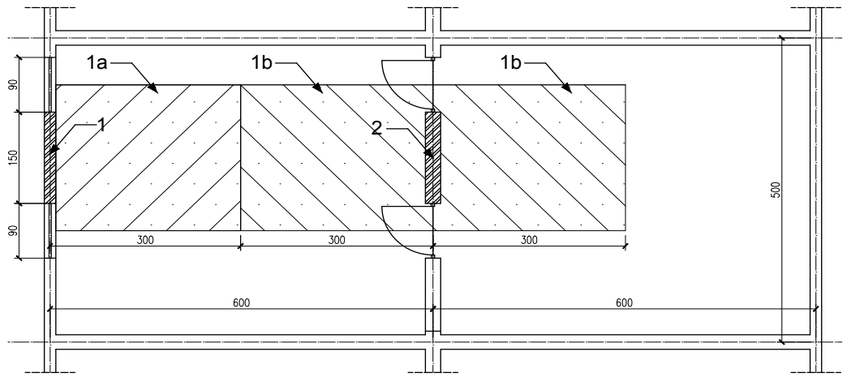
6.1.1. Stropodach wentylowany

Obliczenia stałe charakterystyczne

Tabela 6.1. Obciążenia stałe charakterystyczne działające na stropodach

Warstwa	Obliczenia	Obciążenie charakterystyczne g_k [kN/m²]
Papa x 3	0,2	0,2
Gładź cementowa	0,015·21	0,32
Płyty korytkowe	0,87	0,87
Ścianki ażurowe Silka 1NF[1)]	0,67·0,12·1,0·1,0·18	1,45
Styropian	0,1·0,45	0,05
Płyta żelbetowa 15 cm	0,15·25	3,75
Tynk cem. – wap.	0,015·19	0,29
		Suma: 6,93 kN

[1)] ⅓ powierzchni ściany stanowi jej prześwit



Rysunek 6.1. Zestawienie obciążeń jednostkowych
1 – filar międzyokienny; 1a – pole obciążające filar międzyokienny; 2 – filar międzydrzwiowy; 2a – pole obciążające filar międzydrzwiowy

Obliczenia zmienne charakterystyczne

- obciążenie wiatrem wg PN-EN 1991-1-4
  Z uwagi na niewielki kąt pochylenia połaci $\alpha = 2^o$ oraz kierunek połaci obciążenie wiatrowe będzie powodowało ssanie. Z tego powodu obciążenie dachu wiatrem pominięto.
- obciążenie śniegiem wg PN-EN 1991-1-3.
  W II strefie obciążenie śniegiem wynosi s_k = 0,9 kN/m² (tabela NB.1). Kąt pochylenia połaci przyjęto α = 2°. Budynek zlokalizowany w terenie normalnym (obszary na których nie występuje znaczne przenoszenie śniegu przez wiatr na budowlę z powodu ukształtowania terenu, innych budowli oraz drzew), wsp. ekspozycji C_e = 1,0. Przyjęto współczynnik termiczny C_t = 1,0 oraz współczynnik kształtu dachu μ = 0,8.

Obciążenie równomiernie rozłożone na całym stropodachu:

$$S_{1k} = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}9 = 0{,}72 kN/m^2$$

- obciążenie użytkowe stałe wg PN-EN 1991-1-1
  Przyjęto kategorię H – dachy bez dostępu, z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw (tab. 6.9 PN-EN 1991-1-1)

Przyjęto: $q_k = 1{,}0\ kN/m^2$

6.1.2. Strop

Obciążenie stałe charakterystyczne

W całym budynku stropy międzykondygnacyjne zaprojektowane są jako żelbetowe.
Tabela 6.2. Obciążenia charakterystyczne stropu żelbetowego

		Obciążenie charakterystyczne g_k [kN/m²]
Parkiet	0,17	0,17
Wylewka betonowa o grub. 4 cm zbrojona siatką	25·0,04	1,00
Styropian 4 cm	0,45·0,04	0,02
Strop monolityczny 15 cm	25·0,15	3,75
Tynk cem. – wap. 1,5 cm	19·0,015	0,29
		Suma: 5,23 kN

Obciążenie zmienne charakterystyczne

Na podstawie tablicy 6.1 z PN-EN 1991-1-1 dobrano kategorię budynku A (powierzchnie mieszkalne).
Wartość obciążenia charakterystycznego zmiennego wynosi 1,5–2,0 kN/m².

Przyjęto: $q_k = 2{,}0\ kN/m^2$

Według 6.3.1.1 z PN-EN 1991-1-1 obciążenie zastępcze od ścianek działowych wynosi:

- dla ścian o ciężarze własnym ⩽ 1,0 kN/m, q_k = 0,5 kN/m²,
- dla ścian o ciężarze własnym ⩽ 2,0 kN/m, q_k = 0,8 kN/m²,
- dla ścian o ciężarze własnym ⩽ 3,0 kN/m, q_k = 1,2 kN/m².

Przyjęto ścianki działowe z płyt Ytong Panel o grubości 7,5 cm i gęstości 600 kg/m³, które umożliwiają cienkowarstwowe wykończenie tapetą lub gładzią.
Ciężar ściany o wysokości 2,7 m wynosi:

$$0{,}075 m \cdot 6 kN/m^3 \cdot 2{,}70 m = 1{,}22 kN/m$$

$$1{,}22 kN/m \leq 2{,}0 kN/m$$

Przyjęto obciążenie zastępcze od ścianek działowych 0,8 kN/m².

6.1.3. Ściany

Ściany zewnętrzne

Tabela 6.3. Ciężar ścian zewnętrznych o grub. 18 cm

	Ściany pełne z bloków Silka E18 kl. 15	Filary międzyokienne z bloków Silka E18S kl. 20
Mur	0,18·14,0	0,18·18,0
Styropian 15 cm	0,45·0,15	0,45·0,15
Tynk	19·(0,005+0,01)	19·(0,005+0,01)
Suma:	2,87 [kN/m²]	3,59 [kN/m²]

Ściany wewnętrzne

Tabela 6.4. Ciężar ścian wewnętrznych o grub. 24 cm

	Ściany pełne z bloków Silka E24 kl. 15	Filary międzydrzwiowe z bloków Silka E24S kl. 20
Mur	0,24·16,0	0,24·18,0
Tynk	19·0,01·2	19·0,01·2
Suma:	4,22 [kN/m²]	4,70 [kN/m²]

Ścianki działowe

Obciążenie od ścianek uwzględniono w obciążeniach zmiennych stropu.

Wieniec żelbetowy

Tabela 6.5. Ciężar wieńców żelbetowych

	Obliczenia
Wieniec na ścianach o grub. 18 cm	0,18·25,0·0,15 = 0,68 kN/m
Wieniec na ścianach o grub. 24 cm	0,24·25,0·0,15 = 0,90 kN/m

Obciążenie zmienne poziome ściany od działania wiatru wg PN-EN-1991-1-4

Założono I strefę obciążenia wiatrem oraz kategorię terenu IV (tereny, w których przynajmniej 15% pokryte budynkami o średniej wysokości przekraczającej 15 m). Projektowany budynek ma 21,5 m wysokości.

Współczynnik ekspozycji (wg tablicy NB.3 z PN-EN 1991-1-4)
Według punktu 6.3.1. z PN-EN 1991-1-4 wysokość budynku należy podzielić na dwie strefy wiatrowe (b<h<2b). W obliczeniach rozpatrywane są ściany dolnych kondygnacji, dla których należy przyjąć współczynnik ekspozycji:

$$C_e = 1{,}47 \cdot \left(\frac{b}{10}\right)^{0{,}3} = 1{,}47 \cdot \left(\frac{14}{10}\right)^{0{,}3} = 1{,}63$$

z – wysokość nad poziomem gruntu,
b – szerokość budynku,
d – długość budynku.

Ciśnienie prędkości wiatru (tablica NB.3 z PN-EN 1991-1-4):

$$q_{b0} = 0{,}30\ kN/m^2$$

Współczynnik ciśnienia zewnętrznego dotyczącego ściany:
h = 21,5 m - wysokość budynku
d = 14 m – szerokość budynku
Stąd h/d = 1,54
Według tablicy 7.1 z PN-EN 1996-1-4
$C_{pe} = +0{,}80$ – parcie wiatru
$C_{pe} = -0{,}53$ – ssanie wiatru
Ciśnienie szczytowe prędkości wiatru:

$$q_p(z) = q_{b0} \cdot C_e = 0{,}30\ kN/m^2 \cdot 1{,}63 = 0{,}49\ kN/m^2$$

Parcie wiatru:

$$w_p = q_p \cdot c_{pe} = 0{,}49\ kN/m^2 \cdot 0{,}8 = 0{,}39\ kN/m^2$$

Ssanie wiatru:

$$w_s = q_p \cdot c_{pe} = 0{,}49\ kN/m^2 \cdot (-0{,}53) = -0{,}26\ kN/m^2$$

Współczynnik bezpieczeństwa dla obciążenia wiatrowego $\gamma_f = 1{,}5$.
Poziome obliczeniowe obciążenie parciem wiatru:

$$w_d = w_p \cdot \gamma_f = 0{,}39\ kN/m^2 \cdot 1{,}5 = 0{,}59\ kN/m^2$$

Poziome obliczeniowe obciążenie ssaniem wiatru:

$$w_d = w_s \cdot \gamma_f = 0{,}26\ kN/m^2 \cdot 1{,}5 = 0{,}39\ kN/m^2$$

6.2. Sprawdzenie nośności ściany zewnętrznej pełnej

Dane geometryczne

- grubość muru Silka E18 klasy 15 — t = 18 cm
- szerokość ściany — b = 1,0 m
- długość ściany między usztywnieniami — 5,0 m
- rozpiętość stropu — l = 6,0 m
- grubość stropu — d = 0,15 m
- wysokość kondygnacji w świetle — h = 2,7 m
- liczba kondygnacji powyżej rozpatrywanej — n = 6

Dane materiałowe

- wytrzymałość na ściskanie bloków — f_b = 15 N/mm²
- charakterystyczna wytrzymałość muru — f_k = 6,0 N/mm²
- doraźny moduł sprężystości muru — E = 6 000 N/mm²
- doraźny moduł sprężystości stropu monolitycznego C20/25 — E_{cm} = 29 000 N/mm²

Obciążenie pionowe pasma o szerokości 1,0 m:

Zestawienie obciążeń

Tabela 6.6. Zebranie obciążeń zmiennych działających na ścianę zewnętrzną pełną

	ilość	g_k, q_k [kN/m²]	L lub h [m]	G_k [kN/m]	Q_k [kN/m]
stropodach					
stałe	1	6,93	6,0 / 2	20,79	
zmienne użytkowe		1,00	6,0 / 2		3,00
zmienne śniegowe		0,72	6,0 / 2		2,16
strop monolityczny 15 cm					
stałe	6	5,23	6,0 / 2	94,14	
zmienne użytkowe		2,00	6,0 / 2		36,00
ścianki działowe		0,80	6,0 / 2		14,40
wieniec					
stałe	7	0,68	1,0	4,76	
ciężar ścian					
stałe	7	2,87	2,7	54,24	
			Suma:	**173,93 kN**	**55,56 kN**

Obciążenie od wiatru:
- 0,59 kN/m (parcie)
- 0,39 kN/m (ssanie)

Kombinacje obciążeń

$$N_{Ed} = \max\left\{\begin{array}{l}\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1}\cdot\psi_{0,1}\cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i}\cdot N_{Qk,u,i} \\ \sum_{j\geq 1}\xi\cdot\gamma_{G,j}\cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1}\cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i}\cdot N_{Qk,u,i}\end{array}\right\}$$

Siła w przekroju pod stropem:

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c}1{,}35\cdot(173{,}93 - 2{,}7\cdot 2{,}87) + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(36{,}00 + 14{,}40) + 1{,}5\cdot 0\cdot 3{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 2{,}16 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot(173{,}93 - 2{,}7\cdot 2{,}87) + 1{,}5\cdot 36{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0\cdot 3{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 2{,}16\end{array}\right\}$$

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c}278{,}88 \\ 261{,}43\end{array}\right\} = 278{,}88\,kN$$

Siła w przekroju środkowym:

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c}1{,}35\cdot(173{,}93 - 0{,}5\cdot 2{,}7\cdot 2{,}87) + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(36{,}00 + 14{,}40) + 1{,}5\cdot 0\cdot 3{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 2{,}16 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot(173{,}93 - 0{,}5\cdot 2{,}7\cdot 2{,}87) + 1{,}5\cdot 36{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0\cdot 3{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 2{,}16\end{array}\right\}$$

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c}284{,}11 \\ 265{,}88\end{array}\right\} = 284{,}11\,kN$$

Siła w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c}1{,}35\cdot 173{,}93 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(36{,}00 + 14{,}40) + 1{,}5\cdot 0\cdot 3{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 2{,}16 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot 173{,}93 + 1{,}5\cdot 36{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0\cdot 3{,}00 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 2{,}16\end{array}\right\}$$

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c}289{,}35 \\ 270{,}32\end{array}\right\} = 289{,}35\,kN$$

Współczynniki, które dają bardziej niekorzystny efekt oddziaływań:
- obciążenie stałe: $\gamma_G = 1{,}35$,
- obciążenie zmienne stropu: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 1{,}05$,
- obciążenie zmienne dachu: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 0$,
- obciążenie zmienne śniegowe: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 0{,}75$.

Sztywność ściany zewnętrznej:

$$I_1 = I_2 = \frac{b\cdot t^3}{12} = \frac{100\cdot 18^3}{12} = 48\,600\,cm^4$$

$$E\cdot I_1 = 600\,{}^{kN}\!/_{cm^2}\cdot 48600\,cm^4 = 2{,}92\,MNm^2$$

Sztywność stropu:

$$I_4 = \frac{b\cdot h^3}{12} = \frac{100\cdot 15^3}{12} = 28125\,cm^4$$

$$E\cdot I_1 = 2900\,{}^{kN}\!/_{cm^2}\cdot 28125\,cm^4 = 8{,}16\,MNm^2$$

Mimośród niezamierzony:

$$h_{ef} = \rho_2\cdot h = 0{,}75\cdot 2{,}7 = 2{,}03m$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2{,}03}{450} = 0{,}45cm$$

Obliczeniowy moment zginający M_1:

$n_1 = n_2 = n_4 = 4$ – wszystkie pręty obustronne utwierdzone

$M_1 = M_2$, ponieważ obciążenia sąsiednich stropów i sztywności ścian są takie same.

$$M_1 = M_2 = \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}}\left[\frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)}\right] =$$

$$\frac{\frac{4\cdot 2{,}92}{2{,}70}}{\frac{4\cdot 2{,}92}{2{,}70} + \frac{4\cdot 2{,}92}{2{,}70} + \frac{4\cdot 8{,}16}{6{,}00}}\left[\frac{(1{,}35\cdot 5{,}23 + 1{,}50\cdot 0{,}7\cdot 2{,}8)\cdot 6{,}0^2}{4(4-1)}\right] = 9{,}21kNm$$

Sprawdzenie nośności ściany w przekroju pod stropem (1-1)

Mimośród spowodowany siłą ssania wiatru:

$$M_{ws,1} = \frac{w_s\cdot h^2}{16} = \frac{0{,}39\cdot 2{,}70^2}{16} = 0{,}18kNm$$

$$e_{he,1} = \frac{M_{ws}}{N_{1d}} = \frac{0{,}18}{278{,}88} = 0{,}06cm$$

Współczynnik redukcyjny:

$$e_1 = \frac{M_1}{N_1} + e_{init} + e_{he,1} = \frac{9{,}21\cdot 100}{278{,}88} + 0{,}45 + 0{,}06 = 3{,}81\,cm$$

$$e_1 > 0{,}05t = 0{,}9cm \quad \text{oraz} \quad \frac{M_1}{N_1} = 3{,}30cm < 0{,}45t = 8{,}1cm$$

$$\Phi_1 = 1 - 2\frac{e_1}{t} = 1 - 2\frac{3{,}81}{18} = 0{,}58$$

Nośność ściany w przekroju pod stropem:

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$$

$$N_{1,Rd} = \Phi_1\, t\, f_d = 0{,}58\cdot 18cm\cdot 0{,}353\,{}^{kN}\!/_{cm^2}\cdot 100cm = 368{,}53\,kN$$

$$278{,}88kN \leq 368{,}53\,kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

Sprawdzenie nośności ściany w przekroju nad stropem (2-2)

Mimośród spowodowany siłą parcia wiatru:

$$M_{wd,2} = \frac{w_d \cdot h^2}{16} = \frac{0{,}59 \cdot 2{,}70^2}{16} = 0{,}27 kNm$$

$$e_{he,2} = \frac{M_{wd}}{N_{2d}} = \frac{0{,}27}{289{,}35} = 0{,}09 cm$$

Współczynnik redukcyjny:

$$e_2 = \frac{M_2}{N_2} + e_{init} + e_{he,2} = \frac{9{,}21 \cdot 100}{289{,}35} + 0{,}45 + 0{,}09 = 3{,}72 cm$$

$$e_2 > 0{,}05t = 0{,}9cm \quad \text{oraz} \quad \frac{M_2}{N_2} = 3{,}18cm < 0{,}45t = 8{,}1cm$$

$$\Phi_2 = 1 - 2\frac{e_2}{t} = 1 - 2\frac{3{,}72}{18} = 0{,}59$$

Nośność ściany w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Ed} \le N_{2,Rd}$$

$$N_{2,Rd} = \Phi_2 \, t \, f_d = 0{,}59 \cdot 18cm \cdot 0{,}353 {kN}/{cm^2} \cdot 100cm = 374{,}89 \, kN$$

$$289{,}35 kN \le 374{,}89 kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

Sprawdzenie nośności ściany w przekroju środkowym

Mimośród spowodowany siłą parcia wiatru:

$$e_{he,m} = \frac{M_{wd}}{N_{md}} = \frac{0{,}27}{284{,}11} = 0{,}10 cm$$

$M_m = 0$, ponieważ momenty M_1 i M_2 mają taką samą wartość.

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0{,}75 \cdot 2{,}7 = 2{,}03m$$

$$t_{ef} = \rho_t \cdot h = 1{,}0 \cdot 0{,}18 = 0{,}18 \, cm$$

Warunek smukłości ściany:

$${h_{ef}}/{t_{ef}} = {2{,}03}/{0{,}18} = 11{,}28 < 27$$

Mimośród działania obciążenia:

$$e_m = \frac{M_2 - M_1}{N_m} + e_{init} + e_{he} = 0 + 0{,}45 + 0{,}10 = 0{,}55 cm$$

Mimośród wskutek pełzania:

$\Phi_\infty = 1{,}0$ - końcowy współczynnik pełzania

$$e_k = 0{,}002 \cdot \Phi_\infty \cdot {h_{ef}}/{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0{,}002 \cdot 1{,}0 \cdot {203}/{18} \cdot \sqrt{18 \cdot 0{,}55} = 0{,}07 cm$$

$$e_{mk} = e_k + e_m = 0{,}07 + 0{,}55 = 0{,}62cm < 0{,}05t = 0{,}05 \cdot 18 = 0{,}9cm$$

$$\frac{M_m}{N_m} = 0 < 0{,}45t = 8{,}1cm$$

Przyjęto $e_{mk} = 0{,}9$ cm

Współczynnik redukcyjny:

$$A_1 = 1 - 2\frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2\frac{0{,}9}{18} = 0{,}9$$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 27 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{\frac{203}{18} - 2}{23 - 27 \cdot \frac{0{,}9}{18}} = 0{,}43$$

$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{\frac{u^2}{2}} = 0{,}9 \cdot e^{-\left(\frac{0{,}43^2}{2}\right)} = 0{,}82$$

Nośność ściany w przekroju środkowym:

$$N_{m,Rd} = \Phi_m \cdot t \cdot f_d = 0{,}82 \cdot 18cm \cdot 0{,}353 {kN}/{cm^2} \cdot 100cm = 521{,}03 kN$$

$$N_{m,Ed} \le N_{m,Rd}$$

$$284{,}11 \le 521{,}03 kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

6.3. Sprawdzenie nośności filara międzyokiennego

Dane geometryczne

grubość muru Silka E18S klasy 20	t = 18 cm
szerokość oddziaływania	b = 2,4 m
szerokość filara	b = 1,5 m
szerokość okna	x = 0,9 m
wysokość okna	y =1,5 m
rozpiętość stropu	l = 6 m
wysokość kondygnacji w świetle	h = 2,7 m
liczba kondygnacji powyżej rozpatrywanej	n = 6

Dane materiałowe

wytrzymałość bloków na ściskanie	f_b = 20 N/mm^2
charakterystyczna wytrzymałość muru	f_k = 7,66 N/mm^2
doraźny moduł sprężystości muru	E = 7 660 N/mm^2
doraźny moduł sprężystości stropu monolitycznego C20/25	E_{cm} = 29 000 N/mm^2

Zestawienie obciążeń

Obliczenie pionowe pasma o szerokości 2,4 m:

Tabela 6.7. Zabranie obciążeń działających na filar międzyokienny

	ilość	g_k, q_k [kN/m^2]	Pole [m^2]	G_d [kN]	Q_d [kN]
stropodach					
stałe	1	6,93	2,4 · 6,0 / 2	49,90	
zmienne użytkowe		1,00	2,4 · 6,0 / 2		7,20
zmienne śniegowe		0,72	2,4 · 6,0 / 2		5,18
strop monolityczny 15 cm					
stałe	6	5,23	2,4 · 6,0 / 2	225,94	
zmienne użytkowe		2,00	2,4 · 6,0 / 2		86,40
ścianki działowe		0,8	2,4 · 6,0 / 2		34,56
wieniec					
stałe	7	0,68	2,4 · 1,0	11,42	
ciężar ścian					
stałe	7	3,59	2,4 · 2,7 - 1,5 · 0,9	128,92	
			Suma:	**416,18 kN**	**133,34 kN**

Obciążenie od wiatru:

- 0,59 kN/m (parcie)
- 0,39 kN/m (ssanie)

Kombinacje obciążeń

$$N_{Ed} = \max\left\{\begin{matrix} \sum_{j\ge1} \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} \\ \sum_{j\ge1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} \end{matrix}\right\}$$

Siła w przekroju pod stropem:

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c} 1{,}35\cdot(416{,}18-3{,}59\cdot(2{,}7\cdot 2.4-1{,}5\cdot 0{,}9))+1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(86{,}40+34{,}56)+1{,}5\cdot 0\cdot 7{,}20+1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 5{,}18 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot(416{,}18-3{,}59\cdot(2{,}7\cdot 2.4-1{,}5\cdot 0{,}9))+1{,}5\cdot 86{,}40+1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 34{,}56+1{,}5\cdot 0\cdot 7{,}20+1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 5{,}18 \end{array}\right\}$$

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c} 667{,}87 \\ 626{,}20 \end{array}\right\} = 667{,}87kN$$

Siła w przekroju środkowym:

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c} 1{,}35\cdot(416{,}18-0{,}5\cdot 3{,}59\cdot(2{,}7\cdot 2.4-1{,}5\cdot 0{,}9))+1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(86{,}40+34{,}56)+1{,}5\cdot 0\cdot 7{,}20+1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 5{,}18 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot(416{,}18-0{,}5\cdot 3{,}59\cdot(2{,}7\cdot 2.4-1{,}5\cdot 0{,}9))+1{,}5\cdot 86{,}40+1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 34{,}56+1{,}5\cdot 0\cdot 7{,}20+1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 5{,}18 \end{array}\right\}$$

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c} 680{,}30 \\ 636{,}77 \end{array}\right\} = 680{,}30kN$$

Siła w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c} 1{,}35\cdot 416{,}18+1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(86{,}40+34{,}56)+1{,}5\cdot 0\cdot 7{,}20+1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 5{,}18 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot 416{,}18+1{,}5\cdot 86{,}40+1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 34{,}56+1{,}5\cdot 0\cdot 7{,}20+1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 5{,}18 \end{array}\right\}$$

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{array}{c} 692{,}74 \\ 647{,}34 \end{array}\right\} = 692{,}74kN$$

Współczynniki, które dają bardziej niekorzystny efekt oddziaływań:

- obciążenie stałe: $\gamma_G = 1{,}35$,
- obciążenie zmienne użytkowe: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 1{,}05$,
- obciążenie zmienne dachu: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 0$,
- obciążenie zmienne śniegowe: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 0{,}75$.

Sztywność ściany zewnętrznej:

$$I_1 = I_2 = \frac{b\cdot t^3}{12} = \frac{150\cdot 18^3}{12} = 72900cm^4$$

$$E\cdot I_1 = 766\,{kN}/{cm^2}\cdot 72900cm^4 = 5{,}58\,MNm^2$$

Sztywność stropu:

$$I_4 = \frac{b\cdot h^3}{12} = \frac{240\cdot 15^3}{12} = 67500cm^4$$

$$E\cdot I_1 = 2900\,{kN}/{cm^2}\cdot 67500cm^4 = 19{,}58\,MNm^2$$

Składowe momentu działającego na lewą i prawą stronę stropu

$n_1 = n_2 = n_4 = 4$ – wszystkie pręty obustronne utwierdzone

$M_1 = M_2$, ponieważ obciążenia sąsiednich stropów i sztywności ścian są takie same.

Obliczeniowy moment zginający M_1:

$$M_1 = M_2 = \frac{\frac{n_1\,E_1\,I_1}{h_1}}{\frac{n_1\,E_1\,I_1}{h_1}+\frac{n_2\,E_2\,I_2}{h_2}+\frac{n_4\,E_4\,I_4}{l_4}}\left[\frac{w_4\,l_4^2}{4\,(n_4-1)}\right] =$$

$$\frac{\frac{4\cdot 5{,}58}{2{,}70}}{\frac{4\cdot 5{,}58}{2{,}70}+\frac{4\cdot 5{,}58}{2{,}70}+\frac{4\cdot 19{,}58}{6{,}00}}\left[\frac{(1{,}35\cdot 5{,}23+1{,}50\cdot 0{,}7\cdot 2{,}8)\cdot 2{,}4\cdot 6{,}0^2}{4\,(4-1)}\right] = 20{,}12kNm$$

Współczynnik redukcyjny momentu:

$$k_m = \frac{n_3\frac{E_3\,I_3}{l_3}+n_4\frac{E_4\,I_4}{l_4}}{n_1\frac{E_1\,I_1}{h_1}+n_2\frac{E_2\,I_2}{h_2}} = \frac{\frac{4\cdot 19{,}58}{6{,}00}}{\frac{4\cdot 5{,}12}{2{,}70}+\frac{4\cdot 5{,}12}{2{,}70}} = 0{,}79 \le 2$$

$$\eta_m = 1-k_m/4 = 1-0{,}79/4 = 0{,}80$$

$$M_1' = M_2' = \eta\cdot M_1 = 0{,}80\cdot 20{,}12 = 16{,}10kNm$$

Mimośród niezamierzony:

$$h_{ef} = \rho_2\cdot h = 0{,}75\cdot 2{,}7 = 2{,}03m$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2{,}03}{450} = 0{,}45cm$$

Sprawdzenie nośności filara w przekroju pod stropem (1-1)

Mimośród spowodowany siłą ssania wiatru:

$$M_{ws} = \frac{w_s\cdot h^2}{16} = \frac{0{,}39\cdot 2{,}4\cdot 2{,}70^2}{16} = 0{,}43kNm$$

$$e_{he} = \frac{M_{wd}}{N_{1d}} = \frac{0{,}43}{667{,}87} = 0{,}06cm$$

Współczynnik redukcyjny dla dolnej krawędzi ściany:

$$e_1 = \frac{M_1}{N_1}+e_{init}+e_{he} = \frac{16{,}10\cdot 100}{667{,}58}+0{,}45+0{,}06 = 2{,}92\,cm$$

$$\Phi_1 = 1-2\frac{e_1}{t} = 1-2\cdot\frac{2{,}92}{18} = 0{,}68$$

Nośność filara w przekroju pod stropem:

$$N_{1,Rd} = \Phi\,t\,f_d = 0{,}68\cdot 18cm\cdot 0{,}451\,{kN}/{cm^2}\cdot 150cm = 828{,}04kN$$

Ponieważ pole przekroju filara < 0,3 m^2, należy uwzględnić współczynnik redukcyjny.

$$A = 0{,}18\cdot 1{,}5 = 0{,}27m^2$$

$\eta_A = 1{,}075$ - otrzymany poprzez interpolację

$$N_{1,Ed} \le N_{1,Rd}/\eta_A$$

$$667{,}87\,kN \le 828{,}04/1{,}075 = 770{,}27kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

Sprawdzenie nośności filara w przekroju nad stropem (2-2)

Mimośród spowodowany siłą parcia wiatru:

$$M_{wd} = \frac{w_d\cdot h^2}{16} = \frac{0{,}59\cdot 2{,}4\cdot 2{,}70^2}{16} = 0{,}65kNm$$

$$e_{he} = \frac{M_{wd}}{N_{2d}} = \frac{0{,}65}{692{,}74} = 0{,}09cm$$

Współczynnik redukcyjny:

$$e_2 = \frac{M_2}{N_2}+e_{init}+e_{he} = \frac{16{,}10\cdot 100}{692{,}74}+0{,}45+0{,}09 = 2{,}86\,cm$$

$$\Phi_2 = 1-2\frac{e_2}{t} = 1-2\cdot\frac{2{,}86}{18} = 0{,}68$$

Nośność filara w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Rd} = \Phi\,t\,f_d = 0{,}68\cdot 18cm\cdot 0{,}451\,{kN}/{cm^2}\cdot 150cm = 828{,}04kN$$

Ponieważ pole przekroju filara < 0,3 m^2, należy uwzględnić współczynnik redukcyjny.

$$N_{2,Ed} \le N_{2,Rd}/\eta_A$$

$$692{,}74\,kN \le 828{,}04/1{,}075 = 770{,}27kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

Sprawdzenie nośności filara w przekroju środkowym

$$M_2 - M_1 = 0$$

$$h_{ef} = \rho_2\cdot h = 0{,}75\cdot 2{,}7 = 2{,}03m$$

$$t_{ef} = \rho_t\cdot h = 1{,}0\cdot 0{,}18 = 0{,}18\,cm$$

Warunek smukłości ściany:

$$h_{ef}/t_{ef} = 2{,}03/0{,}18 = 11{,}28 < 27$$

Mimośród działania obciążenia:

$$e_m = \frac{M_m}{N_m}+e_{init}+e_{he} = 0+0{,}45+0{,}10 = 0{,}55cm$$

Mimośród wskutek pełzania:

$\Phi_\infty = 1,0$ - końcowy współczynnik pełzania

$$e_k = 0,002 \cdot \Phi_\infty \cdot {h_{ef}}/{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0,002 \cdot 1,0 \cdot 11,28 \cdot \sqrt{18 \cdot 0,55} = 0,07cm$$

$$e_{mk} = e_k + e_m = 0,07 + 0,55 = 0,62cm < 0,05t = 0,05 \cdot 18 = 0,9cm$$

Przyjęto e_{mk} = 0,9 cm

Współczynnik redukcyjny:

$$A_1 = 1 - 2\frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2\frac{0,9}{18} = 0,9$$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 27 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{\frac{203}{18} - 2}{23 - 27 \cdot \frac{0,9}{18}} = 0,43$$

$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} = 0,9 \cdot e^{-\frac{0,43^2}{2}} = 0,82$$

Nośność filara w przekroju środkowym:

$$N_{m,Rd} = \Phi_m \cdot t \cdot f_d = 0,82 \cdot 18cm \cdot 0,451 {kN}/{cm^2} \cdot 150cm = 998,51kN$$

$N_{m,Ed} \le N_{m,Rd} / \eta_A$, ponieważ pole filara jest mniejsze niż 0,3 m^2.

$$680,30\,kN \le 998,51 / 1,075 = 928,85kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

6.4. Sprawdzenie nośności ściany wewnętrznej pełnej

Dane geometryczne

- grubość muru Silka E24 klasy 15 — t = 24 cm
- szerokość ściany — b = 1,0 m
- długość ściany między usztywnieniami — 5,0 m
- rozpiętość stropu — l = 6,0 m
- grubość stropu — d = 0,15 m
- wysokość kondygnacji w świetle — h = 2,7 m
- liczba kondygnacji powyżej rozpatrywanej — n = 6

Dane materiałowe

- wytrzymałość na ściskanie bloków — f_b = 15 N/mm^2
- charakterystyczna wytrzymałość muru — f_k = 6,00 N/mm^2
- doraźny moduł sprężystości muru — E = 6 000 N/mm^2

Tabela 6.8. Zebranie obciążeń działających na ścianę wewnętrzną pełną

	ilość	g_k, q_k [kN/m^2]	L lub h [m]	G_d [kN/m]	Q_d [kN/m]
stropodach					
stałe	1	6,93	6,0	41,58	
zmienne użytkowe		1,00	6,0		6,00
zmienne śniegowe		0,72	6,00		4,32
strop monolityczny 15 cm					
stałe	6	5,23	6,0	188,28	
zmienne użytkowe		2,00	6,0		72,00
ścianki działowe		0,8	6,0		28,80
wieniec					
stałe	7	0,90	1,0	6,30	
ciężar ścian					
stałe	7	4,22	2,7	79,75	
			Suma:	**315,91 kN**	**111,12 kN**

Kombinacje obciążeń

$$N_{Ed} = \max\left\{\begin{matrix} \sum_{j\ge1} \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} \\ \sum_{j\ge1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1} \cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot N_{Qk,u,i} \end{matrix}\right\}$$

Siła w przekroju pod stropem:

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{matrix} 1,35 \cdot (315,91 - 2,7 \cdot 4,22) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (72,00 + 28,80) + 1,5 \cdot 0 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32 \\ 0,85 \cdot 1,35 \cdot (315,91 - 2,7 \cdot 4,22) + 1,5 \cdot 72,00 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 28,80 + 1,5 \cdot 0 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32 \end{matrix}\right\}$$

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{matrix} 520,18 \\ 490,92 \end{matrix}\right\} = 520,18kN$$

Siła w przekroju środkowym:

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{matrix} 1,35 \cdot (315,91 - 0,5 \cdot 2,7 \cdot 4,22) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (72,00 + 28,80) + 1,5 \cdot 0 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32 \\ 0,85 \cdot 1,35 \cdot (315,91 - 0,5 \cdot 2,7 \cdot 4,22) + 1,5 \cdot 72,00 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 28,80 + 1,5 \cdot 0 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32 \end{matrix}\right\}$$

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{matrix} 527,87 \\ 495,45 \end{matrix}\right\} = 527,87\,kN$$

Siła w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{matrix} 1,35 \cdot 315,91 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot (72,00 + 28,80) + 1,5 \cdot 0 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32 \\ 0,85 \cdot 1,35 \cdot 315,91 + 1,5 \cdot 72,00 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 28,80 + 1,5 \cdot 0 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,32 \end{matrix}\right\}$$

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{matrix} 535,56 \\ 503,99 \end{matrix}\right\} = 535,56\,kN$$

Współczynniki, które dają bardziej niekorzystny efekt oddziaływań:

- obciążenie stałe: $\gamma_G = 1,35$,
- obciążenie zmienne stropu: $\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} = 1,05$,
- obciążenie zmienne dachu: $\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} = 0$,
- obciążenie zmienne śniegowe: $\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} = 0,75$.

Sztywność ściany wewnętrznej:

$$I_1 = I_2 = \frac{b \cdot t^3}{12} = \frac{100 \cdot 24^3}{12} = 115\,200cm^4$$

$$E \cdot I_1 = 600 {kN}/{cm^2} \cdot 115200cm^4 = 6,91MNm^2$$

Sztywność stropu:

$$I_4 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{100 \cdot 15^3}{12} = 28125 cm^4$$
$$E \cdot I_1 = 2900 \, kN/cm^2 \cdot 28125 cm^4 = 8{,}15 MNm^2$$

Składowe momentu działającego na lewą i prawą stronę stropu:
$n_1 = n_2 = n_4 = 4$ – wszystkie pręty obustronne utwierdzone
$M_1 = M_2$, ponieważ obciążenia sąsiednich stropów i sztywności ścian są takie same.
Obliczeniowy moment zginający M_1

$$M_1 = M_2 = \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}} \left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right] = 0$$, ponieważ obciążenie

jest symetryczne i $\left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right] = 0$

Mimośród niezamierzony:

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0{,}75 \cdot 2{,}7 = 2{,}03 m$$
$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2{,}03}{450} = 0{,}45 cm$$

Sprawdzenie nosności ściany w przekroju pod stropem (1-1) i nad stropem (2-2)
Współczynnik redukcyjny:

$$e_2 = e_1 = \frac{M_1}{N_1} + e_{init} = 0 + 0{,}45 = 0{,}45 \, cm$$
$$\Phi_2 = \Phi_1 = 1 - 2\frac{e_1}{t} = 1 - 2 \cdot \frac{0{,}45}{24} = 0{,}96$$

Nośność ściany w przekroju pod stropem:

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \Phi_1 \, t \, f_d = 0{,}96 \cdot 24 cm \cdot 0{,}353 \, kN/cm^2 \cdot 100 cm = 813{,}32 \, kN$$
$$520{,}18 \, kN \leq 813{,}22 kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.
Nośność ściany w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$
$$535{,}56 \, kN \leq 813{,}22 kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

Sprawdzenie nośności ściany w przekroju środkowym

$$M_2 - M_1 = 0$$
$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0{,}75 \cdot 2{,}7 = 2{,}03 m$$
$$t_{ef} = \rho_t \cdot h = 1{,}0 \cdot 0{,}24 = 0{,}24 \, cm$$

Warunek smukłości ściany:

$$h_{ef}/t_{ef} = 2{,}03/0{,}24 = 8{,}46 < 27$$

Mimośród działania obciążenia:

$$e_m = \frac{M_2 - M_1}{N_m} + e_{init} = 0 + 0{,}45 = 0{,}45 cm$$

Mimośród wskutek pełzania:
$\Phi_\infty = 1{,}0$ - końcowy współczynnik pełzania

$$e_k = 0{,}002 \cdot \Phi_\infty \cdot h_{ef}/t_{ef} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 0{,}002 \cdot 1{,}0 \cdot 8{,}46 \cdot \sqrt{24 \cdot 0{,}45} = 0{,}06 cm$$
$$e_{mk} = e_k + e_m = 0{,}06 + 0{,}45 = 0{,}51 cm < 0{,}05t = 0{,}05 \cdot 24 = 1{,}2 cm$$

Przyjęto:
e_{mk} = 1,2 cm

Współczynnik redukcyjny:

$$A_1 = 1 - 2\frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2\frac{1{,}2}{24} = 0{,}9$$
$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 27 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{\frac{203}{24} - 2}{23 - 27 \cdot \frac{1{,}2}{24}} = 0{,}3$$
$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} = 0{,}9 \cdot e^{-\frac{0{,}30^2}{2}} = 0{,}86$$

Nośność ściany w przekroju środkowym:

$$N_{m,Rd} = \Phi_m \cdot t \cdot f_d = 0{,}86 \cdot 24 cm \cdot 0{,}353 \, kN/cm^2 \cdot 100 cm = 728{,}59 kN$$
$$N_{m,Ed} \leq N_{m,Rd}$$
$$527{,}78 kN \leq 728{,}59 kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

6.5. Sprawdzenie nośności filara międzydrzwiowego w ścianie wewnętrznej

Dane geometryczne

- grubość muru Silka E24S klasy 20 — t = 24 cm
- szerokość ściany — b = 1,0 m
- długość ściany między usztywnieniami pionowymi — 5,0 m
- rozpiętość stropu — l = 6,0 m
- grubość stropu — d = 0,15 m
- wysokość kondygnacji w świetle — h = 2,7 m
- liczba kondygnacji powyżej rozpatrywanej — n = 6

Dane materiałowe

- wytrzymałość na ściskanie bloków — f_b = 20 N/mm²
- charakterystyczna wytrzymałość muru — f_k = 7,66 N/mm²
- doraźny moduł sprężystości muru — E = 7 660 N/mm²

Tabela 6.9. Obciążenia działające na filar międzydrzwiowy

	ilość	g_k, q_k [kN/m²]	L lub h [m]	G_k [kN/m]	Q_k [kN/m]
stropodach					
stałe	1	6,93	6,0 · 2,4	99,79	
zmienne użytkowe		1,00	6,0 · 2,4		14,40
zmienne śniegowe		0,72	6,0 · 2,4		10,37
strop monolityczny 15 cm					
stałe	6	5,23	6,0 · 2,4	451,87	
zmienne użytkowe		2,00	6,0 · 2,4		172,80
ścianki działowe		0,8	6,0 · 2,4		69,12
wieniec					
stałe	7	0,90	1,0 · 2,4	15,12	
ciężar ścian					
stałe	7	4,89	2,7 · 2,4 -0,9 · 2,2	154,04	
			Suma:	**714,83 kN**	**266,69 kN**

Kombinacje obciążeń

$$N_{Ed} = \max\left\{\begin{matrix}\sum\limits_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1}\cdot\psi_{0,1}\cdot N_{Qk,u,1} + \sum\limits_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i}\cdot N_{Qk,u,i} \\ \sum\limits_{j\geq 1}\xi\cdot\gamma_{G,j}\cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1}\cdot N_{Qk,u,1} + \sum\limits_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i}\cdot N_{Qk,u,i}\end{matrix}\right\}$$

Siła w przekroju pod stropem:

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{matrix}1{,}35\cdot(714{,}83 - 4{,}70\cdot(2{,}7\cdot 2.4 - 1{,}5\cdot 0{,}9)) + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(172{,}80 + 69{,}12) + 1{,}5\cdot 0\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 10{,}37 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot(714{,}83 - 4{,}70\cdot(2{,}7\cdot 2.4 - 1{,}5\cdot 0{,}9)) + 1{,}5\cdot 172{,}80 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 69{,}12 + 1{,}5\cdot 0\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 10{,}37\end{matrix}\right\}$$

$$N_{1,Ed} = \max\left\{\begin{matrix}1198{,}26 \\ 1135{,}55\end{matrix}\right\} = 1198{,}26kN$$

Siła w przekroju środkowym:

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{matrix}1{,}35\cdot(714{,}83 - 0{,}5\cdot 4{,}70\cdot(2{,}7\cdot 2.4 - 1{,}5\cdot 0{,}9)) + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(172{,}80 + 69{,}12) + 1{,}5\cdot 0\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 10{,}37 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot(714{,}83 - 0{,}5\cdot 4{,}70\cdot(2{,}7\cdot 2.4 - 1{,}5\cdot 0{,}9)) + 1{,}5\cdot 172{,}80 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 69{,}12 + 1{,}5\cdot 0\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 10{,}37\end{matrix}\right\}$$

$$N_{m,Ed} = \max\left\{\begin{matrix}1212{,}54 \\ 1147{,}69\end{matrix}\right\} = 1212{,}54kN$$

Siła w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{matrix}1{,}35\cdot(714{,}83 - 4{,}70\cdot(1{,}5\cdot 0{,}9)) + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(172{,}80 + 69{,}12) + 1{,}5\cdot 0\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 10{,}37 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot(714{,}83 - 4{,}70\cdot(1{,}5\cdot 0{,}9)) + 1{,}5\cdot 172{,}80 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 69{,}12 + 1{,}5\cdot 0\cdot 14{,}40 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 10{,}37\end{matrix}\right\}$$

$$N_{2,Ed} = \max\left\{\begin{matrix}1226{,}81 \\ 1159{,}82\end{matrix}\right\} = 1226{,}81kN$$

Współczynniki, które dają bardziej niekorzystny efekt oddziaływań:

- obciążenie stałe: $\gamma_G = 1{,}35$,
- obciążenie zmienne stropu: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 1{,}05$,
- obciążenie zmienne dachu: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 0$,
- obciążenie zmienne śniegowe: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 0{,}75$.

Składowe momentu działającego na lewą i prawą stronę stropu:

$n_1 = n_2 = n_4 = 4$ – wszystkie pręty obustronne utwierdzone

$M_1 = M_2$, ponieważ obciążenia sąsiednich stropów i sztywności ścian są takie same.

Obliczeniowy moment zginający M_1

$$M_1 = M_2 = \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}}\left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)}\right] = 0$$, ponieważ obciążenie

jest symetryczne i $\left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)}\right] = 0$

Mimośród niezamierzony:

$$h_{ef} = \rho_2\cdot h = 0{,}75\cdot 2{,}7 = 2{,}03m$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2{,}03}{450} = 0{,}45cm$$

Sprawdzenie nośności filara w przekroju pod stropem (1-1)

Współczynnik redukcyjny:

$$e_1 = \frac{M_1}{N_1} + e_{init} = 0 + 0{,}45cm = 0{,}45cm$$

$$\Phi_1 = 1 - 2\frac{e_1}{t} = 1 - 2\cdot\frac{0{,}45}{24} = 0{,}96$$

Nośność filara w przekroju pod stropem:

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

$$N_{1,Rd} = \Phi_1\, t\, f_d = 0{,}96\cdot 24cm\cdot 0{,}451\,{kN}/{cm^2}\cdot 150cm = 1558{,}66kN$$

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$$

$$1198{,}26kN \leq 1558{,}66kN$$

Pole filara ⩾ 0,3 m², stąd brak konieczności stosowania współczynnika redukcyjnego η_A.
Ściana zapewnia wymaganą nośność.

Sprawdzenie nośności filara w przekroju nad stropem (2-2)

Współczynnik redukcyjny:

$$e_2 = e_1 = 0 + 0{,}45 = 0{,}45cm$$

$$\Phi_2 = 1 - 2\frac{e_2}{t} = 1 - 2\cdot\frac{0{,}45}{24} = 0{,}96$$

Nośność filara w przekroju nad stropem:

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

$$N_{2,Rd} = \Phi_1\, t\, f_d = 0{,}96\cdot 24cm\cdot 0{,}451\,{kN}/{cm^2}\cdot 150cm = 1558{,}66kN$$

$$1226{,}81kN \leq 1558{,}66kN$$

Pole filara ⩾ 0,3 m², stąd brak konieczności stosowania współczynnika redukcyjnego η_A.
Ściana zapewnia wymaganą nośność.

Sprawdzenie nośności filara w przekroju środkowym

$$M_2 - M_1 = 0$$

$$h_{ef} = \rho_2\cdot h = 0{,}75\cdot 2{,}7 = 2{,}03m$$

$$t_{ef} = \rho_t\cdot h = 1{,}0\cdot 0{,}24 = 0{,}24\,cm$$

Warunek smukłości ściany:

$${h_{ef}}/{t_{ef}} = {2{,}03}/{0{,}24} = 8{,}46 < 27$$

Mimośród działania obciążenia:

$$e_m = \frac{M_2 - M_1}{N_m} + e_{init} = 0 + 0{,}45 = 0{,}45cm$$

Mimośród wskutek pełzania:

$\Phi_\infty = 1{,}0$ - końcowy współczynnik pełzania

$$e_k = 0{,}002\cdot\Phi_\infty\cdot{h_{ef}}/{t_{ef}}\cdot\sqrt{t\cdot e_m} = 0{,}002\cdot 1{,}0\cdot 8{,}46\cdot\sqrt{24\cdot 0{,}45} = 0{,}06cm$$

$$e_{mk} = e_k + e_m = 0{,}06 + 0{,}45 = 0{,}51cm < 0{,}05t = 0{,}05\cdot 24 = 1{,}2cm$$

Przyjęto e_{mk} = 1,2 cm.

Współczynnik redukcyjny:

$$A_1 = 1 - 2\frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2\frac{1{,}2}{24} = 0{,}9$$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 27\cdot\frac{e_{mk}}{t}} = \frac{\frac{203}{24} - 2}{23 - 27\cdot\frac{1{,}2}{24}} = 0{,}3$$

$$\Phi_m = A_1\cdot e^{\frac{u^2}{2}} = 0{,}9\cdot e^{\frac{-0{,}30^2}{2}} = 0{,}86$$

Nośność filara w przekroju środkowym:

$$N_{m,Rd} = \Phi_m\, t\, f_d = 0{,}86\cdot 24cm\cdot 0{,}451\,{kN}/{cm^2}\cdot 150cm = 1396{,}30kN$$

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

$$1212{,}54kN \leq 1396{,}30kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność.

6.6. Sprawdzenie ściany ze względu na obciążenie skupione od reakcji z nadproża

Dane geometryczne

Sprawdzenie nośności pod obciążeniem skupionym od reakcji z nadproża przeprowadzono dla filara ściany zewnętrznej

- grubość muru Silka E18 klasy 15 — t = 18 cm
- szerokość oddziaływania stropu — b = 3,0 m
- szerokość okna — x = 0,9 m
- długość oparcia nadproża na ścianie — 0,20 m
- rozpiętość stropu — l = 6,0 m
- grubość stropu — d = 0,15 m
- wysokość kondygnacji w świetle — h = 2,7 m
- liczba kondygnacji powyżej rozpatrywanej — n = 6

Dane materiałowe

- wytrzymałość na ściskanie bloków — f_b = 15 N/mm²
- charakterystyczna wytrzymałość muru — f_k = 6,0 N/mm²

Obciążenia pionowe nad stropem z pasma o szerokości 3,0 m:

Tabela 6.10. Obciążenia działające na mur pod belką nadproża

	ilość	g_k, q_k [kN/m²]	Pole [m²]	G_k [kN/m]	Q_k [kN/m]
stropodach					
stałe	1	6,93	3,0 · (0,9 / 2 + 0,2)	13,51	
zmienne użytkowe		1,00	3,0 · (0,9 / 2 + 0,2)		1,95
zmienne śniegowe		0,72	3,0 · (0,9 / 2 + 0,2)		1,40
strop monolityczny 15 cm					
stałe	6	5,23	3,0 · (0,9 / 2 + 0,2)	61,19	
zmienne		2,0	3,0 · (0,9 / 2 + 0,2)		23,40
ścianki działowe		0,8	3,0 · (0,9 / 2 + 0,2)		9,36
wieniec					
stałe	7	0,90	0,9 / 2 + 0,2	3,09	
ściany					
stałe	6	2,97	(0,9 / 2 + 0,2) · 2,7 – 1,5 · 0,9/2	19,25	
ściany nad nadprożem (20 cm)					
stałe	1	2,97	0,2 · (0,9 / 2 + 0,2)	0,39	
ciężar nadproża					
stałe	1	25	0,2 · (0,9 / 2 + 0,2)	3,25	
			Suma:	**100,68 kN**	**36,11 kN**

Kombinacje obciążeń

$$N_{Edc} = \max\left\{\begin{matrix}\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1}\cdot\Psi_{0,1}\cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\Psi_{0,i}\cdot N_{Qk,u,i} \\ \sum_{j\geq 1}\xi\cdot\gamma_{G,j}\cdot N_{Gk,u} + \gamma_{Q,1}\cdot N_{Qk,u,1} + \sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\Psi_{0,i}\cdot N_{Qk,u,i}\end{matrix}\right.$$

$$N_{Edc} = \max\left\{\begin{matrix}1{,}35\cdot 100{,}68 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot(23{,}40+9{,}36) + 1{,}5\cdot 0\cdot 1{,}95 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 1{,}40 \\ 0{,}85\cdot 1{,}35\cdot 100{,}68 + 1{,}5\cdot 23{,}40 + 1{,}5\cdot 0{,}7\cdot 9{,}36 + 1{,}5\cdot 0\cdot 1{,}95 + 1{,}5\cdot 0{,}5\cdot 1{,}40\end{matrix}\right\} = \max\left\{\begin{matrix}171{,}37 \\ 161{,}51\end{matrix}\right\} = 171{,}37kN$$

Współczynniki, które dają bardziej niekorzystny efekt oddziaływań

- obciążenie stałe: $\gamma_G = 1{,}35$,
- obciążenie zmienne użytkowe: $\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i} = 1{,}05$.

Sprawdzenie nośności ściany pod obciążeniem skupionym:

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

A_b - powierzchnia obciążenia

A_{ef} - powierzchnia efektywna, wg rys. 5.1

f_d - wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie bloków klasy 20.

$$\beta = \min\left\{\begin{matrix}\left(1+0{,}3\frac{a_1}{h_c}\right)\cdot\left(1{,}5-1{,}1\frac{A_b}{A_{ef}}\right) \\ 1{,}25+\frac{a_1}{2h_c} \\ 1{,}5\end{matrix}\right. = \min\left\{\begin{matrix}\left(1+0{,}3\frac{0}{270}\right)\cdot\left(1{,}5-1{,}1\frac{360}{1763}\right) \\ 1{,}25+\frac{0}{2\cdot 270} \\ 1{,}5\end{matrix}\right. = 1{,}25$$

$$N_{Rdc} = \beta\, A_b\, f_d = 1{,}25\cdot 20cm\cdot 18cm\cdot 0{,}451\,kN/cm^2 = 202{,}95\,kN$$

$$N_{Rdc} \geq N_{Edc}$$

$$171{,}37kN \leq 202{,}95kN$$

Ściana zapewnia wymaganą nośność pod obciążeniem skupionym.

6.7. Analiza statyczno-wytrzymałościowa żelbetowej belki nadprożowej wykonanej w kształtkach Ytong U traktowanych jako deskowanie tracone

Przeprowadza się obliczenie maksymalnej wartości liniowego obciążenia obliczeniowego działającego na belkę żelbetową nad otworem okiennym o rozpiętości 2,0 m wykonaną w kształtkach Ytong U17,5 (ściana wykonana z bloków Silka E18) o wysokości 20,0 cm i szerokości 18 cm. Przyjęto wstępnie zbrojenie belki: zbrojenie dolne 2Ø12, zbrojenie górne 2Ø10.

Dane geometryczne

- wysokość belki żelbetowej — h = 15,0 cm
- szerokość belki żelbetowej — b = 7,5 cm
- szerokość przekrywanego otworu — l = 2,0 m
- szerokość podparcia — t = 0,25 m
- długość obliczeniowa belki żelbetowej — l_{eff} = l + min(h/2;t/2)*2 = 2,0 m + min(0,075;0,125)*2 =2,15 m
- powierzchnia zbrojenia górnego (2Ø10) — A_{s2} = 1,57 cm²
- powierzchnia zbrojenia dolnego (2Ø12) — A_{s1} = 2,26 cm²
- powierzchnia przekroju strzemiona — A_{sw} = 0,32 cm²
- otulenie górne zbrojenia — a_2 = 2,0 cm
- otulenie dolne zbrojenia — a_1 = 2,0 cm
- wysokość użyteczna przekroju — d = h – a1 = 15,0 – 2,0 = 13,0 cm
- grubość muru — t = 0,18m

Dane materiałowe

- beton — C20/25
- stal na zbrojenie główne — A III (34GS)
- stal na zbrojenie strzemion — A 0
- wytrzymałość obliczeniowa stali A III na rozciąganie — f_{yd} = 355/1,15=308,70 N/mm²
- wytrzymałość obliczeniowa stali A 0 na rozciąganie — f_{ywd1} = 240/1,15=208,70 N/mm²
- wytrzymałość obliczeniowa żelbetu na ściskanie — f_{cd} = 14,28 N/mm²
- wytrzymałość obliczeniowa żelbetu na rozciąganie — f_{ctd} = 1,5/1,4 = 1,07 N/mm²
- wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie — f_{ck} = 20,0 N/mm²

Sprawdzenie Stanu Granicznego Nośności - zginanie:
Zasięg strefy ściskanej:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{f_{cd} \cdot b} = \frac{308,70 \cdot 2,26}{14,28 \cdot 7,50} = 6,51cm$$

Nośność przekroju na zginanie:

$$M_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} \cdot (d - 0,5 \cdot x_{eff}) = 1,428 \cdot 7,5 \cdot 6,51 \cdot (13 - 0,5 \cdot 6,51) = 679,44kNcm = 6,79kNm$$

Przyjęto, że belka nadproża pracuje jako belka swobodnie podparta.

$$M_{Sd} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} \rightarrow q_d = \frac{8 \cdot M_{Sd}}{l^2}$$

Maksymalne obliczeniowe obciążenie liniowe:

$$q_d = \frac{8 \cdot M_{Sd}}{l_{eff}^{\ 2}} = 11,75kN/m$$

Sprawdzenie Stanu Granicznego Nośności - ścinanie:
Do wymiarowania zbrojenia ścinanego przyjęto maksymalne obliczeniowe obciążenie liniowe.
Maksymalna siła poprzeczna:

$$V_{Sd} = q_d \cdot l_{eff} \cdot 0,5 = 11,75 \cdot 2,15 \cdot 0,5 = 12,63kN$$

Nośność obliczeniowa na ścinanie betonu nie zbrojonego poprzecznie na ścinanie:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 2,24 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{1,4} = 0,129$$

$$\rho_L = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{2,26}{7,5 \cdot 13} = 0,023$$

$$V_{Rd1} = C_{Rd1} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d = 0,129 \cdot 2 \cdot (2,23 \cdot 20)^{\frac{1}{3}} \cdot 0,075 \cdot 0,13 = 8,92kN$$

$$V_{Rd} = 12,63kN \geq V_{Sd} = 8,92kN$$

Niezbędne jest zbrojenie belki na ścinanie. Przyjęto zbrojenie strzemionami Ø4,5 co 50 cm.
Pole przekroju strzemion A_{sw1} = 0,32 cm^2.
Nośność obliczeniowa na ścinanie ze względu na ściskanie betonu przy zginaniu:

$$\upsilon = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250MPa) = 0,6 \cdot (1 - 20,0 / 250MPa) = 0,552$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 13 = 11,7cm$$

$$C = \alpha_{cw} \cdot \upsilon \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z = 1,0 \cdot 0,552 \cdot 1,428 \cdot 7,5 \cdot 11,7 = 69,17kN$$

$$\cot\Theta = 1$$

Nośność obliczeniowa na ścinanie ze względu na rozciąganie poprzecznego zbrojenia na ścinanie:

$$s_1 = 50mm$$

$$V_{Rd3} = A_{sw1} \cdot (\frac{f_{ywd1}}{s_1}) \cdot z \cdot \cot\Theta = 0,32 \cdot (\frac{208,7}{0,5}) \cdot 11,7 \cdot 1 = 15,63kN$$

$$V_{Sd} = 0,5 \cdot q_d \cdot l \rightarrow q_d = \frac{2 \cdot V_{Sd}}{l}$$

Maksymalne obliczeniowe obciążenie liniowe:

$$q_d = \frac{2 \cdot V_{Rd3}}{l} = \frac{2 \cdot 15,63}{2,15} = 14,54kN/m$$

Notatki

7. Dane tabelaryczne

Tabela 7.1. Dane techniczne bloków Silka E

Opis elementu	Szerokość [mm]	Długość x wysokość [mm]	Zużycie bloków [szt./m²]	Zużycie zaprawy[1] [kg/m²]		Wytrzymałość na ściskanie [N/mm²]	Górna granica gęstości[2] [kg/m³]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(mK)]	Opór cieplny R [m²K/W]	Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m²K)]	Minimalna odporność ogniowa	Izolacyjność akustyczna [dB]		
												R_{A1}	R_{A2}	R_w
Silka E8 klasy 15	80	333 x 199	15	1,1		15	1500	0,51	0,16	3,06	EI 60	45	42	45
Silka E12 klasy 15	120		15	1,6		15	1500	0,50	0,24	2,44	REI 90 / EI 120	47	44	48
Silka E15 klasy 15	150		15	2,0		15	1500	0,50	0,30	2,13	REI 180 / EI 180	49	45	50
Silka E18 klasy 15	180		15	2,4		15	1500	0,51	0,35	1,91	REI 240 / EI 240	50	47	52
Silka E18 klasy 20						20								
Silka E24 klasy 15	240		15	3,2		15	1600	0,55	0,44	1,65	REI 240 / EI 240	54	51	56
Silka E24 klasy 20						20								
Silka E12A klasy 20	120	333 x 199	15	1,6		20	2000	1,05	0,11	3,51	REI 90/EI 120	48	45	49
Silka E18A+ klasy 20	180	333 x 199	15	2,4		20	2000	1,05	0,17	2,93	REI 240 / EI 240	55[4]	51[4]	56[4]
Silka E18A klasy 20	180	333 x 199	15	2,4		20	1800	0,81	0,22	2,55	REI 240 / EI 240	54	50	55
Silka E18A klasy 25						25								
Silka E18S klasy 20	180	333 x 199	15	2,4		20	1800	0,64	0,28	2,22	REI 240 / EI 240	52	47	53
Silka E18S klasy 25						25								
Silka E24S klasy 20	240		15	3,2		20		0,65	0,37	1,85	REI 240 / EI 240	57[5]	54[5]	59[5]
Silka E24S klasy 25						25								
Silka 1NF klasy 15	120	250 x 65	51,3	20,0[3]		15	1800	0,81	0,15	3,14	REI 90 / EI 120	49[5]	46[5]	50[5]

[1] zaprawa do cienkich spoin Ytong-Silka
[2] rzeczywista gęstość wyrobów Silka zależy od zakładu produkcyjnego, szczegółowe dane dostępne są w deklaracjach właściwości użytkowych
[3] zaprawa zwykła
[4] wartość przy wypełnionych spoinach pionowych
[5] wartość szacowana

Tabela 7.2. Dane techniczne bloków Silka Tempo i elementów uzupełniających

Opis elementu	Szerokość [mm]	Wysokość [mm]	Długość [mm]	Zużycie bloków [szt./m²]	Zużycie zaprawy[1] [kg/m²]		Wytrzymałość na ściskanie [N/mm²]	Górna granica gęstości[2] [kg/m³]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(mK)]	Opór cieplny R [m²K/W]	Współczynnik przenikania ciepła U [W/(m²K)]	Minimalna odporność ogniowa	Izolacyjność akustyczna [dB]		
													R_{A1}	R_{A2}	R_w
Silka Tempo 15	150	600	498	3,3	0,7		20	2000	1,05	0,14	3,20	REI 120 / EI 180	53[3]	49[3]	56[3]
Silka Tempo 15 ¾			373	4,4	0,7										
Silka Tempo 15 ½			248	6,7	0,7										
Silka Tempo 24	240	600	498	3,3	1,1		20	1800	0,81	0,30	2,14	REI 240 / EI 240	57[3]	54[3]	59[3]
Silka Tempo 24 ¾			373	4,4	1,1			2000	1,05	0,23	2,51				
Silka Tempo 24 ½			248	6,7	1,1										
Silka EQ10/24	240	98	333	30,0	6,4		20	1800	0,65	0,37	1,85	REI 240 / EI 240	-	-	-
Silka EQ12,5/24		124		24,0	5,1										
Silka EQ17,5/24		174		17,1	3,6										
Silka EQ10/18	180	98	333	3,1	2,3		20	1800	0,64	0,28	2,22	REI 180 / EI 240	-	-	-
Silka EQ10/15	150	100	498	20,0	4,0		20	2000	1,05	0,14	3,20	REI 120 / EI 180	-	-	-
Silka EQ12,5/15		125		16,0	3,2										
Silka EQ17,5/15		175		11,4	2,2										

[1] zaprawa do cienkich spoin Ytong-Silka
[2] rzeczywista gęstość wyrobów Silka zależy od zakładu produkcyjnego, szczegółowe dane dostępne są w deklaracjach właściwości użytkowych
[3] wartość szacowana

Tabela 7.3. Elementy uzupełniające

Opis artykułu	Szerokość [mm]	Długość x wysokość [mm]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm²]	Górna granica gęstości[1] [kg/m³]	Współ. przewodzenia ciepła λ [W/(mK)]
Silka ½ E18 klasy 15	180	166 x 199	15	1800	0,65
Silka ½ E18 klasy 20			20		
Silka ½ E24 klasy 15	240		15		0,66
Silka ½ E24 klasy 20			20		
Silka EQ10/15 klasy 20	150	498 x 100	20	2000	1,05
Silka EQ12,5/15 klasy 20		498 x 125			
Silka EQ17,5/15 klasy 20		498 x 150			
Silka EQ10/18 klasy 20	180	333 x 98		1800	0,64
Silka EQ10/24 klasy 20	240	333 x 98			0,65
Silka EQ12,5/24 klasy 20		333 x 124			0,65
Silka EQ17,5/24 klasy 20		333 x 174			0,65
Silka EW klasy 15	240	240 x 199	15	-	-

Tabela 7.4. Odporność ogniowa ścian nienośnych z bloczków Ytong wg PN-EN 1996-1-2 (kryterium EI)

Odporność ogniowa ścian z bloków Silka (ściany nienośne)					
Grubość bloków [mm]	**80**	**120**	**150**	**180**	**240**
Grupa 1 i grupa 1S (wszystkie bloki Silka)					
Kryterium EI					
ściany nieotynkowane	EI 30 - EI 60	EI 90 - EI 120	EI 120 - EI 240	EI 180 - EI 240	EI 240
ściany otynkowane	EI 60		EI 180	EI 240	

Tabela 7.5. Odporność ogniowa ścian nośnych z bloczków Silka wg PN-EN 1996-1-2 (kryterium REI)

Odporność ogniowa ścian z bloków Silka (ściany nośne)					
Grubość bloków [mm]	**80**	**120**	**150**	**180**	**240**
Grupa 1 (Silka E8, E12, E15, E18, E24)					
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 0,6					
ściany nieotynkowane	-	REI 90 - REI 120	REI 120	REI 120 - REI 180	REI 240
ściany otynkowane	-	REI 120	REI 240	REI 240	
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 1,0					
ściany nieotynkowane	-	REI 90	REI 90 - REI 120	REI 90 - REI 120	REI 240
ściany otynkowane	-		REI 240	REI 240	
Grupa 1S (Silka E12A , Silka E18A, Silka E18A+, Silka E18S, E24S, Silka EQ, Silka 1/2, Silka Tempo, Silka 1 NFD[1])					
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 0,6					
ściany nieotynkowane	-	REI 90 - REI 120	REI 90 - REI 240	REI 180 - REI 240	REI 240
ściany otynkowane	-		REI 120 - REI 240		
Kryterium REI, poziom wykorzystania nośności α ≤ 1,0					
ściany nieotynkowane	-	REI 90 - REI 120	REI 90 - REI 240	REI 180 - REI 240	REI 240
ściany otynkowane	-		REI 120 - REI 240		

1) Podana odporność ogniowa dotyczy ściany murowanej na grubość 12 cm

Tabela 7.6. Izolacyjność termiczna ścian Silka z ociepleniem Multipor

Warstwa murowa ściany	Współ. przenikania ciepła (bez ocieplenia) U [W/(m²K)]	Grubość warstwy Multipor [cm] (λ_D = 0,043 W/(mK))		
		16	18	20
		Opór cieplny warstwy Multipor [mK/W]		
		3,72	4,19	4,65
		Współczynnik przenikania ciepła ścian z ociepleniem, U [W/(m²K)]		
Silka E15	2,13	0,24	0,21	0,20
Silka E18	1,91	0,24	0,21	0,19
Silka E24	1,65	0,23	0,21	0,19
Silka E18A	2,55	0,24	0,22	0,20
Silka E18A+	2,93	0,25	0,22	0,20
Silka E18S	2,44	0,24	0,22	0,20
Silka E24S	1,83	0,23	0,21	0,19
Silka Tempo 15	3,20	0,25	0,22	0,20
Silka Tempo 24	2,14	0,24	0,21	0,20

Tabela 7.7. Dane techniczne zapraw

Nazwa	Zaprawa do cienkich spoin Ytong-Silka	Zaprawa do cienkich spoin Ytong-Silka zimowa
Wytrzymałość na ściskanie	M10 - 10 N/mm²	M10 - 10 N/mm²
Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_{10,dry}$	⩽ 0,66 W/(mK)	⩽ 0,54 W/(mK)
Opór dyfuzyjny μ	15/35	5/20
Uziarnienie	0–1,2 mm	0–0,8 mm
Minimalna temperatura prowadzenia prac	5°C	-6°C
Minimalna temperatura podczas wiązania	Nie dotyczy	-12°C
Czas urabialności od momentu zmieszania z wodą	2–4 h	1,5 h
Zużycie wody	ok. 6,5 l/worek	ok. 6,3 l wody zmieszanej ze spirytusem technicznym w proporcji 9:1
Wydajność	13,3 kg/m³ – bez wypełniania spoin pionowych	13,3 kg/m³ – bez wypełniania spoin pionowych
	17,7 kg/m³ – z wypełnieniem spoin pionowych	17,7 kg/m³ – z wypełnieniem spoin pionowych
Reakcja na ogień	Klasa A1	Klasa A1
Opakowanie	Worek 25 kg	Worek 25 kg
Czas przechowywania	12 miesięcy	12 miesięcy
Normy produktowe	PN-EN 998-2:2012	PN-EN 998-2:2012

Tabela 7.8. Wytrzymałości charakterystyczne i obliczeniowe na ściskanie murów z bloków Silka

Klasa wytrzymałości [N/mm²]	Średnia znormalizowana wytrzymałość na ściskanie [N/mm²]	Wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie f_k [N/mm²]	Wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie f_d	
			kategoria A [N/mm²]	kategoria B [N/mm²]
15	15,0	6,00	3,53	3,00
20	20,0	7,66	4,50	3,83
25	25,0	9,26	5,44	4,63

Tabela 7.9. Nośność nadproży Ytong YN

2250	Szerokość [mm]	Wysokość [mm]	Długość [mm]	Maks. szer. przekrywan. otworu [mm]	Minimalna długość oparcia [mm]	Maksymalne obciążenie obliczeniowe [kN/m]
YN-130/20	200	249	1300	900	195	23
YN-150/20			1500	1100	195	21
YN-175/20			1750	1350	195	15
YN-200/20			2000	1500	245	13
YN-225/20			2250	2000	245	13
YN-130/24	240	249	1300	900	195	23
YN-150/24			1500	1100	195	22
YN-175/24			1750	1350	195	20
YN-200/24			2000	1500	245	17
YN-225/24			2250	1750	245	14
YN-130/30	300	249	1300	900	195	23
YN-150/30			1500	1100	195	22
YN-175/30			1750	1350	195	23
YN-200/30			2000	1500	245	20
YN-225/30			2250	1750	245	17
YN-130/36,5	365	249	1300	900	195	23
YN-150/36,5			1500	1100	195	22
YN-175/36,5			1750	1350	195	23
YN-200/36,5			2000	1500	245	23
YN-225/36,5			2250	1750	245	20

Tabela 7.10. Nośność nadproży zespolonych z elementów Ytong YF[1)]

Grubość muru [mm]	Długość nadproża [mm]	Maks. szer. przekrywan. otworu [mm]	Dopuszczalne obciążenie charakterystyczne q_k [kN/m] w zależności od wysokości warstwy nadmurowanej h [mm] (z wypełnieniem spoin pionowych)			
			200	400	600	800
115	1300	900	12,9	17,2	17,1	17,0
	1500	1100	9,2	13,7	14,3	14,2
	1750	1250	6,9	11,0	12,4	12,3
	2000	1500	4,7	8,3	10,2	10,4
	2250	1750	3,3	6,4	8,2	9,0
	2500	2000	2,4	5,0	6,7	7,7
	2750	2250	1,7	4,0	5,5	6,5
	3000	2500	-	3,2	4,6	5,5
175	1300	900	19,2	25,5	25,0	24,4
	1500	1100	13,6	20,1	20,6	20,1
	1750	1250	10,1	16,0	17,7	17,2
	2000	1500	6,9	12,0	14,5	14,3
	2250	1750	4,7	9,1	11,4	12,1
	2500	2000	3,2	7,0	9,1	10,2
	2750	2250	2,2	5,3	7,3	8,3
	3000	2500	-	4,1	5,8	6,8

1] Nośność nadproży Ytong YF przy założeniu nadmurowania warstwą bloków Silka kl. 15

Notatki

Marzec 2017

Silka, Ytong i Multipor są zastrzeżonymi znakami handlowymi grupy Xella.

Xella Polska sp. z o.o.

infolinia 801 122 227
www.ytong-silka.pl
www.budowane.pl