



SILIKATY

odpowiedzią na współczesne wyzwania budownictwa

Produkcja, właściwości i zastosowanie wyrobów
wapienno-piaskowych

SPIS TREŚCI

WSTĘP	4
1. HISTORIA SILIKATÓW	5
2. PRODUKCJA SILIKATÓW	7
2.1 Surowce do produkcji silikatów	7
2.2 Zakłady produkcyjne	9
2.3 Technologia produkcji	11
3. CHARAKTERYSTYKA WYROBÓW SILIKATOWYCH	14
3.1 Bezpieczeństwo użytkowania	14
3.2 Klasyfikacja elementów murowych silikatowych	15
3.3 Asortyment wyrobów silikatowych	17
4. ZASTOSOWANIE SILIKATÓW W BUDOWNICTWIE	19
4.1 Rodzaje przegród budowlanych	19
4.2 Klasy ekspozycji muru	20
4.3 Cechy silikatowych przegród budowlanych	21
4.3.1 Odporność ogniowa	21
4.3.2 Ochrona przed hałasem	22
4.3.3 Izolacyjność cieplna	26
5. Projektowanie ścian z silikatów	32
5.1 Wytrzymałość na ściskanie	32
5.2 Wytrzymałość muru na ścinanie	34
5.3 Wytrzymałość muru na rozciąganie	35
5.4 Ściana poddana obciążeniom skupionym	36
5.5 Odkształcalność muru	36
5.6 Maksymalne wymiary ścian	37
5.7 Wymiarowanie ścian obciążonych głównie pionowo	38
6. WZNOSZENIE ŚCIAN Z SILIKATÓW	46
6.1 Zaprawy murarskie	46
6.2 Murowanie	47
6.2.1 Połączenia w konstrukcjach silikatowych	48
6.2.2 Zbrojenie murów	50
6.2.3 Bruzdowanie	50
7. Przyszłość silikatów w budownictwie	52
7.1 Systemy wielkoformatowe	53
7.2 Mechanizacja prac na budowie	53
7.3 Rozwój technologii BIM	54
Literatura	56

Szanowni Państwo,

Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe murowanie” powstało w 2012 roku i od początku swojej działalności realizuje misję polegającą na promowaniu nowoczesnych i przyjaznych środowisku rozwiązań technicznych w budownictwie. Naszym celem jest, aby wszyscy uczestnicy procesu budowlanego w sposób świadomy stosowali materiały i rozwiązania wysokiej jakości, spełniające wymagania prawne i normowe, a jednocześnie odpowiadające oczekiwaniom przyszłych użytkowników.

Od kilku lat wydajemy publikację poświęconę silikatom, skupiając się na poszczególnych właściwościach i zastosowaniach tych materiałów. Dotychczas powstały opracowania na temat zastosowania wyrobów wapienno-piaskowych do budowy przegród akustycznych (2016 i 2021), zastosowania silikatów w budownictwie energooszczędnym i pasywnym (2018) oraz zastosowania silikatów w konstrukcji muru skrępowanego (2020).

W tym roku pragniemy przekazać w Państwa ręce przekrojową publikację na temat produkcji, właściwości

i zastosowania silikatów w budownictwie. Wobec zmian zachodzących w branży budowlanej, przybliżymy również zagadnienie przyszłości technologii murowych z zastosowaniem silikatów.

Niniejsza publikacja została opracowana przez członków Stowarzyszenia „Białe murowanie”, którzy na co dzień pracują w przedsiębiorstwach produkujących silikaty, bezpośrednio zajmując się produkcją bloczków wapienno-piaskowych, jak również rozwojem produktów czy też ich promocją. Wiele spośród tych osób posiada nawet kilkudziesięcioletnie doświadczenie w branży. Redakcję merytoryczną publikacji powierzyliśmy dr inż. Idzie Jasińskiej, która od wielu lat prowadzi badania nad procesem produkcji silikatów i jego wpływu na właściwości gotowych wyrobów.

Jesteśmy przekonani, że publikacja „Silikaty odpowiedzią na współczesne wyzwania budownictwa” będzie stanowić dla Państwa wartościowe źródło informacji na temat silikatów. Życzymy miłej lektury!

**Zarząd Stowarzyszenia Producentów Silikatów
„Białe murowanie”**



WSTĘP

Silikaty, zwane również wyrobami wapienno-piaskowymi, znajdują swoje zastosowanie zarówno w budownictwie jednorodzinnym, wielorodzinnym, jak i rolniczym, komercyjnym oraz w obiektach użyteczności publicznej. Do budowy każdego z wymienionych typów obiektów elementy silikatowe są wybierane z uwagi na różne właściwości: wytrzymałość na ściskanie, izolacyjność akustyczną, akumulację ciepłą, odporność na korozję biologiczną, mrozoodporność, ognioodporność czy dokładność wymiarową.

Silikaty są powszechnie stosowanym materiałem wykorzystywanym do wznoszenia budynków mieszkalnych, zarówno tych jednorodzinnych, jak i wielorodzinnych. Szacuje się, że ich udział w rynku materiałów ściennych wynosi około 16,3% (dane GUS za 2021 r.).

W budownictwie energooszczędnym i pasywnym silikaty znajdują zastosowanie ze względu na wysokie właściwości akumulacyjności cieplnej i wytrzymałości na ściskanie. Silikaty to masywne materiały o dużej akumulacyjności cieplnej, np. bloczki silikatowe wolniej się nagrzewają, ale też wolniej oddają ciepło, ta charakterystyka powoduje komfort cieplny we wnętrzach budynków w przeciągu całego roku, a zwłaszcza w porach występowania skrajnych temperatur, tj. w zimie i w lecie. Dzięki akumulacyjności cieplnej utrzymująca się we wnętrzach temperatura jest względnie stała przez długi okres.

W budownictwie jednorodzinnym silikaty znajdują swoje zastosowanie ze względu na wyjątkowe właściwości akumulacyjności cieplnej oraz prostą i odporną na błędy wykonawcze technologię wznoszenia ścian. Silikaty są odporne na uszkodzenia w transporcie, co eliminuje problem nadmiernej ilości gruzu spowodowanej odrzuceniem elementów, które ze względu na uszkodzenia nie nadają się do wmurowania. Istotną cechą silikatów, w kontekście budownictwa jednorodzinnego, jest również możliwość budowania wysokich ścian bez stosowania dodatkowych wzmocnień.

Wyroby silikatowe wykorzystywane są do budowy różnych ścian, od fundamentowych i piwnicznych, poprzez ściany zewnętrzne i wewnętrzne, po szczytowe. Ponadto, wykorzystując odpowiednie kształtki z bloków wapienno-piaskowych, można wykonać kanały wentylacyjne, a asortyment wyrobów łupanych i barwionych chętnie wykorzystywany jest w wykończeniu warstw elewacyjnych zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych.

Z uwagi na wysokie parametry wytrzymałości na ściskanie, a także walory akustyczne silikaty wykorzystywane są również w budownictwie wielorodzinnym i wysokościowym oraz przemysłowym. Stosowane są one w tradycyjnej technologii murowej oraz jako wypełnienie konstrukcji szkieletowej. W przypadku budownictwa wysokościowego najważniejszą właściwością materiałów murowych jest wysoka wytrzymałość. Dla tego typu obiektów producenci są w stanie wykonać bloczki wapienno-piaskowe o zwiększonej wytrzymałości na ściskanie, z przeznaczeniem na realizację konkretnej inwestycji. Znaczenie mają również ognioodporność i akustyka. Bardzo często silikaty wykorzystywane są do wznoszenia przegród ogniowych.

Silikaty wykorzystywane są również do wznoszenia budynków użyteczności publicznej, czyli: budynków administracji publicznej, budynków biurowych, obiektów kulturalnych, oświatowych, opieki zdrowotnej, obiektów handlowych, obiektów sportowych, dworców czy obiektów kultu religijnego, w których istotną kwestią jest zarówno akustyka, jak i korzystny mikroklimat w pomieszczeniach. W tym sektorze budownictwa elementy wapienno-piaskowe znajdują swoje zastosowanie ze względu na dobrą paroprzepuszczalność, dobrą akumulacyjność ciepłą, odporność na korozję biologiczną czy odporność ogniową.

W przypadku obiektów komercyjnych i użyteczności publicznej analizowane parametry fizyczne w dużym stopniu zależą od przeznaczenia obiektu. Dla każdego z nich istotną cechą jest bezpieczeństwo pożarowe, które zapewnia zastosowanie elementów silikatowych. Dodatkowo przy wysokich obiektach lub przy obiektach wieloprzestrzennych, np. centra handlowe, biurowce, dużą zaletą materiału jest wysoka wytrzymałość na ściskanie. Wykorzystanie elementów wapienno-piaskowych w obiektach typu hotele, szpitale, szkoły, sale koncertowe itp. jest uwarunkowane wysoką izolacyjnością akustyczną.

W budownictwie rolniczym, w tym w budynkach inwentarskich, bardzo duże znaczenie mają właściwości silikatów związane z wytrzymałością (możliwość budowania długich i wysokich ścian), odpornością na korozję biologiczną i chemiczną oraz ognioodporność i możliwość budowy wytrzymałych, smukłych ścian.

Ostatnim typem zastosowania silikatów są elementy małej architektury, zwykle do ich budowy wykorzystywane są ozdobne silikaty elewacyjne o różnym zabarwieniu. Wykorzystuje się je do budowy altan ogrodowych, ogrodzeń, ławek itp. O wyborze elementów silikatowych do tworzeniu obiektów tego typu decyduje głównie ich trwałość, tj. mrozoodporność i niska nasiąkliwość materiału. Dzięki tym właściwościom obiekty małej architektury stanowią uzupełnienie krajobrazu, które jest jednocześnie atrakcyjne wizualnie i odporne na oddziaływanie warunków atmosferycznych.

1. HISTORIA SILIKATÓW

ŁUKASZ DROBIEC

Od niepamiętnych czasów ludzie używali kamienia zarówno do wykonywania narzędzi oraz przedmiotów codziennego użytku, ale przede wszystkim jako materiału budowlanego. Początkowo człowiek wykorzystywał naturalne formy skalne, przystosowując je do swoich potrzeb [2]. W miarę upływu czasu, rozwoju i postępu technicznego, uczeni zainspirowani naturalnymi procesami powstawania piaskowca rozpoczęli poszukiwania sposobu wytwarzania wyrobów o strukturze i właściwościach podobnych do tej skały, czyli tzw. „sztucznego kamienia”.

W okresie drugiej rewolucji przemysłowej (druga połowa XIX w. – początek XX w.) podjęto próby stworzenia nowego materiału budowlanego wykorzystującego cechy zaprawy wapiennej. W 1854 r. niemiecki lekarz Anton Bernhardt z Eilenburgu w Saksonii, chcąc stworzyć tani i jednocześnie przyjazny dla zdrowia człowieka materiał budowlany, zastosował ręcznie obsługiwaną drewnianą prasę dźwigniową do wyprodukowania pierwszej utwardzanej powietrzem cegły wapiennej i wykorzystał ją do budowy dwukondygnacyjnego budynku wykonanego z cegły wapienno-piaskowej [3]. W 1860 r. S.V. Peppel w podobny sposób wyprodukował w USA cegły z zaprawy wapiennej [4]. Metodę tę opatentowano w Wielkiej Brytanii w 1866 r. [5]. Powyższe próby były jednak niezadowalające ze względu na zbyt długi czas wiązania zaprawy oraz niewystarczającą wytrzymałość mechaniczną cegieł, co uniemożliwiało ich praktyczne zastosowanie w budownictwie [6].

Ważne znaczenie dla dzisiejszej technologii autoklawizowanych wyrobów wapienno-piaskowych miał brytyjski uczyony G. E. Van Derburg, który opublikował patent na „Cegły wapienno-piaskowe autoklawizowane” oznaczony numerem 2470/1866. Proponowane rozwiązanie polegało na łączeniu piasku i wapna przy użyciu ciśnienia pary wodnej. Przełom w produkcji cegieł wapienno-piaskowych nastąpił jednak w 1880 r., kiedy to niemiecki naukowiec Wilhelm Michaelis opatentował innowacyjną metodę wytwarzania elementów silikatowych („Sposób wytwarzania sztucznego piaskowca”, German Patentschrift nr 14195/1881) [7], polegającą na wykorzystaniu gorącej pary w procesie dojrzewania sprasowanej sztywnej mieszanki piasku i wapna o niskiej zawartości wody [[8][9] [6], [10]]. Zmodyfikował on stosowaną w Szwecji technikę utwardzania mieszaniny szkła wodnego i piasku pod niskim ciśnieniem pary. Współcześnie, mimo licznych udoskonaleń, proces produkcji elementów wapienno-piaskowych nadal bazuje na podstawowych zasadach

opatentowanych przez Michaelisa [7]. Co ciekawe, Wilhelm Michaelis pozwolił na wygaśnięcie ważności patentu, co znacznie przyspieszyło rozwój produktu.

Pod koniec XIX wieku wytworzenie silikatów wymagało ciężkiej pracy fizycznej, z uwagi na brak odpowiednich maszyn, niezbędnych do masowej produkcji przemysłowej. Z tego powodu produkcja elementów wapienno-piaskowych nie była rentowna. Pierwsza z pras hydraulicznych, znacznie zwiększających wydajność, została opracowana w 1894 roku przez firmę Amandus Kahl z Anglii i zainstalowana w zakładzie produkcyjnym Maurermeisters Mechlenburg w Neumünster w Niemczech. W latach 1898 i 1899 uruchomiono kolejne zakłady w Niemczech, a później na całym świecie.

Pierwsza wytwórnia cegieł wapienno-piaskowych na obecnych terenach Polski rozpoczęła działalność w 1903 r. w Pisz (ówczesna nazwa Johannisburg, a pierwotna nazwa zakładu to Masurische Kalksandsteinwerke e.G.m.b.H.) [11].

Na początku XX wieku jakość cegieł wapienno-piaskowych ulegała znacznym wahaniom. Istniały pewne różnice w kolorze, dokładności wymiarów oraz właściwościach mechanicznych, zwłaszcza w wytrzymałości na ściskanie. W 1903 roku niemieckie stowarzyszenie „Verein der Kalksandsteinfabriken” postanowiło, że każdy stowarzyszony zakład zobowiązuje się do produkcji wyłącznie cegieł wapienno-piaskowych o minimalnej wytrzymałości na ściskanie 140 kp/cm² (13,7 MPa). Spowodowało to poprawę jakości produkcji i wzrost zainteresowania nowym materiałem. W 1905 roku liczba zakładów w Niemczech zwiększyła się do 209, a roczna produkcja wzrosła z około 300 milionów elementów murowych (co odpowiada ok. 585 000 m³) do nieco ponad miliarda cegieł wapienno-piaskowych (ok. 1 950 000 m³). Należy pamiętać, że ze względu na koszty transportu cegły wapienno-piaskowe były konkurencyjne tylko na ograniczonym obszarze, w którym były wytwarzane (rys. 1.1) [3], dlatego w 1909 roku podjęto decyzję o utworzeniu biur regionalnych i budowie kolejnych zakładów. Już w 1910 roku funkcjonowało 310 zakładów produkcyjnych, które rocznie wytwarzały 1,5 miliarda elementów murowych. Wiele z tych zakładów znajdowało się na dzisiejszym terytorium Polski (rys. 1.2).

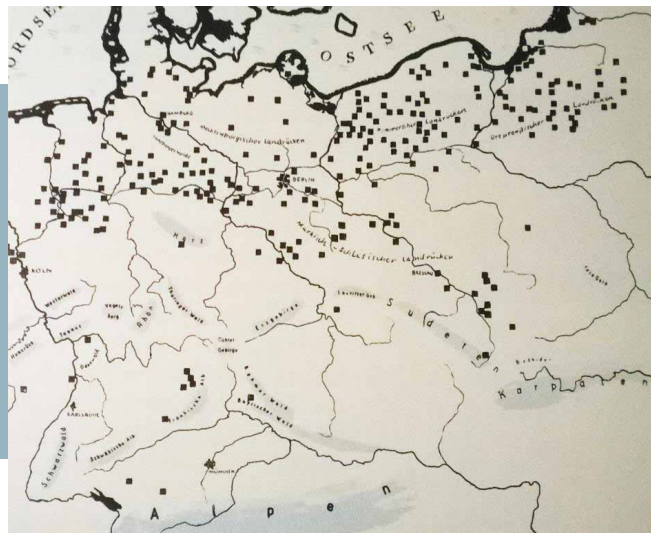
W 1910 r. w Berlinie odbyła się II Wystawa Przemysłu Gliny, Cementu i Wapna. Podczas tej wystawy architekt, profesor Peter Behrens przeprowadził testy ogniowe domu z elementów silikatowych (rys. 1.3). Uzyskane doskonałe wyniki w zakresie odporności na ogień sprawiły, że reputacja cegły wapienno-piaskowej znacznie wzrosła, co przyczyniło się do dalszego rozwoju branży.



Rys. 1.1. Transport elementów wapienno-piaskowych – koniec XIX w. [3]

Rozwój przemysłu silikatowego oraz potrzeba usystematyzowania wymagań dotyczących właściwości tych produktów przyczyniły się w styczniu 1927 roku do wejścia w życie normy DIN 106 [13]. Norma ta zawierała pionierskie wymagania dotyczące dopuszczalnych tolerancji wymiarowych, odporności na mróz oraz przewidywała minimalną wytrzymałość na ściskanie wynoszącą 150 kp/cm², co odpowiada około 14,7 MPa.

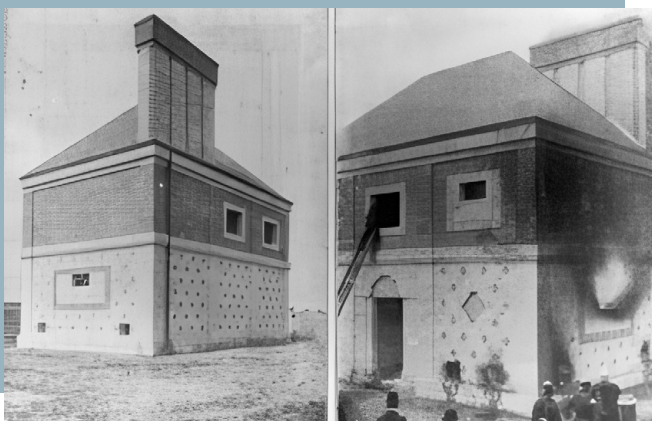
W Polsce pierwszą krajową normą, stawiającą wymagania wobec produkcji elementów wapienno-piaskowych, była wprowadzona w lipcu 1951 roku norma PN-B-12003 [14]. Norma ta wprowadziła trzy klasy wytrzymałości 80, 120 i 150, oraz trzy gatunki wykonania, określając nasiąkliwość $\leq 15\%$ dla klasy 150 i $\leq 20\%$ dla pozostałych klas. Norma PN-B-12003 była aktualizowana w latach 1955, 1961, 1966, 1970, 1975,



Rys. 1.2. Lokalizacja zakładów produkcyjnych w dwudziestoleciu międzywojennym [12]

a w 1998 roku została zastąpiona przez PN-B-12066 [15]. Wraz z wprowadzeniem Norm Europejskich, tzw. Eurokodów, obowiązująca stała się norma PN-EN 771-2 [16].

Chęć upowszechniania, promocji i rozwoju silikatów przyczyniła się do założenia w 1989 roku Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Silikatów ECSPA (European Calcium Silicate Producers Association). Związek ten ma na celu przede wszystkim promowanie i wspieranie działalności badawczo-rozwojowej na rzecz wyrobów wapienno-piaskowych. Stowarzyszenie jest uczestnikiem konsultacji i ma swój wkład w opracowywaniu europejskich norm budowlanych dotyczących zakresu konstrukcji murowych. W Polsce, na szczeblu krajowym cele te są obecnie realizowane przez Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe Murowanie”.



Rys. 1.3. Badania odporności ogniowej budynku podczas targów w Berlinie – 1910 r. Z lewej budynek przed pożarem, z prawej w trakcie badania [3]

2. PRODUKCJA SILIKATÓW

PIOTR SUCHTA, JÓZEF MACECH

2.1 Surowce do produkcji silikatów

Zgodnie z zapisami zharmonizowanej normy PN-EN 771-2 [15] „Elementy murowe silikatowe produkuje się przeważnie z mieszaniny surowców wapiennych i naturalnych krzemionkowych (piasku, mielonego lub niemielonego żwiru lub kamienia, lub ich mieszaniny) stwardniałych pod wysokim ciśnieniem pary”.

Tabela. 2.1. Surowce do produkcji silikatów

Surowce podstawowe	wapno palone (CaO)
	piasek drobny (SiO_2) o frakcji 0 - 0,5 mm
	piasek (SiO_2) o frakcji 0 - 2,0 mm
	żwir (SiO_2) o frakcji 2,0-4,0 mm, 4,0 - 8,0 mm
	woda
Surowce opcjonalne	dodatki krzemionki aktywnej (SiO_2) o frakcji 0 - 0,5 mm
	dodatki innych skał zawierających SiO_2 , t.j.: chalcedonit (pow. 90% SiO_2), bazalt (ok. 50% SiO_2)
	dodatek wapienia (CaCO_3)

Większość zakładów produkujących silikaty bazuje na trzech surowcach: wapnie palonym, piasku z lokalnej kopalni, który po oczyszczeniu (przesianiu przez sita mechaniczne) jest używany bezpośrednio do produkcji, oraz wody. Stosowanie pozostałych spośród wymienionych w tabeli 2.1 surowców ma znaczenie uzupełniające oraz wpływające na zmianę właściwości produkowanych silikatów. Przykładowo, dodatek wapienia (zazwyczaj w postaci mączki wapiennej) poprawia szczelność tworzywa silikatowego, obniża jego nasiąkliwość i polepsza mrozoodporność. Dodatkowo wpływa nieznacznie na wzrost wytrzymałości wyrobów silikatowych na ściskanie. Dodatek krzemionki aktywnej i chalcedonitu poprawia wytrzymałość wyrobu na ściskanie lub może stanowić częściowy substytut spoiwa wapiennego. Dodatek żwiru lub innych kruszyw stosuje się przy produkcji silikatów o podwyższonych wymaganiach mechanicznych i akustycznych. Ma on istotne znaczenie dla lepszego upakowania ziaren, co z kolei wpływa na poprawę wytrzymałości na ściskanie oraz wzrost gęstości gotowych wyrobów silikatowych. Wyższa gęstość wyrobu przekłada się bezpośrednio na wzrost izolacyjności akustycznej wyrobów silikatowych.

Surowce wchodzące w skład mieszanki wapienno-piaskowej, wykorzystywanej do produkcji wyrobów silikatowych, mają wpływ na każdy etap produkcji: od mieszania składników, poprzez formowanie surówki na prasach, proces autoklawizacji, aż po uzyskanie odpowiednich właściwości użytkowych wyrobu. Wapno palone, po uwodnieniu, pełni rolę materiału wiążącego. Wpływa ono na warunki formowania bloczków w prasach i wraz z ciśnieniem prasowania nadaje ukształtowanym bloczkom początkową wytrzymałość umożliwiając ich ustawienie w stosy oraz transport do autoklawów. Zatem dobór jakości surowców wpływa nie tylko na własności końcowe silikatów, ale również na rozwiązanie wielu problemów występujących podczas całego procesu produkcyjnego, od mieszania po autoklawizację

Wapno

Wapno mielone palone jest surowcem naturalnego pochodzenia, stosowanym w produkcji wyrobów silikatowych. Wapno palone uzyskuje się ze skał osadowych, zwanych wapieniami, które powstawały na dnie mórz z nagromadzonych skorupki i szkieletów organizmów, pod wpływem panujących tam ciśnień oraz procesów chemicznych. Główną częścią składową tych skał wapiennych są węglan wapnia z domieszką węglanu magnezu. W procesie produkcji wapna palonego, w wyniku działania wysokich temperatur (900-1300 °C), następuje rozkład węglanu wapnia CaCO_3 na tlenek wapnia CaO oraz dwutlenek węgla CO_2 . Od jakości użytej skały, równomierności prowadzonego procesu wypalania i usuwania w porę dwutlenku węgla zależy jakość uzyskanego wapna palonego. Jakość używanego wapna palonego i stabilność jego cech, takich jak stopień zmielenia, reaktywność, stałość objętości i zawartość czystego CaO w produkcie, mają bezpośredni wpływ na stosowaną technologię produkcji i uzyskiwaną jakość wyrobów.

Podstawowe parametry charakteryzujące rodzaj wapna przydatnego do produkcji masy wapienno-piaskowej określa norma PN-EN 459-1 [16], która definiuje standardy jakości wapna. Zgodnie z tą normą wapno wykorzystywane do wyrobów wapienno-piaskowych jest wapnem otrzymywanym z wapieni, których podstawowym składnikiem jest CaCO_3 . Oprócz składu chemicznego, ważne jest również jego uziarnienie. Wapno palone używa się w postaci drobno zmielonej, a miarą stopnia zmielenia jest pozostałość na sicie 0,09 mm oraz 0,2 mm.

Mając na uwadze właściwości wapna palonego mielonego, należy zwrócić uwagę na sposób jego gaszenia (reaktywności) w trakcie procesu produkcji silikatów. Parametrem charakterystycznym jest tutaj czas, w jakim wapno palone ulegnie uwodnieniu w warunkach normowych do uzyskania temperatury 60°C (t_{60}), gdyż ze względu na układ maszyn sporządzający mieszankę wapienno-piaskową praktycznie w każdym zakładzie może występować inne zapotrzebowanie na wapno palone w aspekcie czasu jego gaszenia. Zakłady wytwarzające wapno palone modyfikują tę właściwość, produkując wapno wysokoreaktywne, średnioreaktywne czy niskoreaktywne. Zdarza się, że, optymalizując proces technologiczny, stosuje się mieszankę dwu rodzajów wapna palonego. Podstawowe wymagania dotyczące właściwości fizycznych i chemicznych wapna palonego mielonego używanego do produkcji silikatów przedstawia tabela 2.2.

Tabela 2.2. Właściwości fizyczne i chemiczne wapna palonego do produkcji silikatów.

Parametry wapna		
Zawartość składników	CaO + MgO	≥ 80 %
	MgO	≤ 2 %
	CO ₂	≤ 5 %
	SO ₃	≤ 0,5 %
Stopień rozdrobnienia	Pozostałość na sicie 0,09 mm	≤ 7 %
	Pozostałość na sicie 0,2 mm	≤ 2 %
Reaktywność t_{60}		< 5 min.

Skład chemiczny wapna użytego do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych jest bardzo ważny, gdyż zawartość niektórych związków w procesie technologicznym jest niepożądana. Wapno powinno zawierać jak najmniejsze ilości tlenu magnezu (MgO), gdyż jego obecność powoduje opóźnienie procesu hydratacji podczas gaszenia wapna.

Piasek

Najczęściej stosowanymi w polskim przemyśle są piaski czwartorzędowe, które ze względu na genezę dzielą się na: piaski polodowcowe, piaski rzeczno-lodowcowe, piaski rzeczne i wydmy. Piaski polodowcowe, z uwagi na dużą zmienność uziarnienia i znaczne domieszki ilaste na ogół nie znajdują zastosowania w produkcji silikatów. Pozostałe rodzaje piasków są stosowane w produkcji silikatów, z tym, że charakteryzują się różnymi właściwościami, dość istotnymi z punktu widzenia technologii. Piaski rzeczno-lodowcowe i rzeczne są dobrym surowcem z uwagi na kształt ziaren (ostrokrawędziste) i miąższość złóż z zastrzeżeniem, że piaski rzeczne są często przewarstwione łożami. Piaski wydmy posiadają z kolei bardzo wysoką zawartość krzemionki

oraz małą zawartość substancji obcych. Natomiast silnie obtoczone ziarna piasków wydmy nie sprzyjają jakości wyrobów gotowych. Piaski wydmy są zazwyczaj monofrakcyjne, co pogarsza właściwości reologiczne surowej mieszanki wapienno-piaskowej, jak też ma negatywny wpływ na właściwości wyrobu gotowego.

Głównym składnikiem piasków kwarcowych stosowanych w produkcji wyrobów silikatowych jest krzemionka SiO₂. Im większa jest jej zawartość w piasku, tym bardziej pozytywnie wpływa na jakość produkowanych wyrobów. W najlepszych piaskach pod względem składu tlenkowego zawartość krzemionki SiO₂ dochodzi nawet do 98%. Piaski kwarcowe oprócz krzemionki zawierają wiele innych domieszek mineralnych, które nie pozostają obojętne na jakość produkowanych wyrobów wapienno-piaskowych. Do najczęściej występujących domieszek mineralnych w piaskach kwarcowych należy zaliczyć:

- **skalenie:** skalenie sodowe i skalenie potasowe
- **miki:** muskowity
- **minerały zawierające żelazo:** limonity, piryty, hematyty
- **Minerały węglanowe** –kalcyt CaCO₃ dolomit CaMg[CO₃]₂
- **domieszki organiczne** – (części zbutwiałych roślin, korzeni, torf)

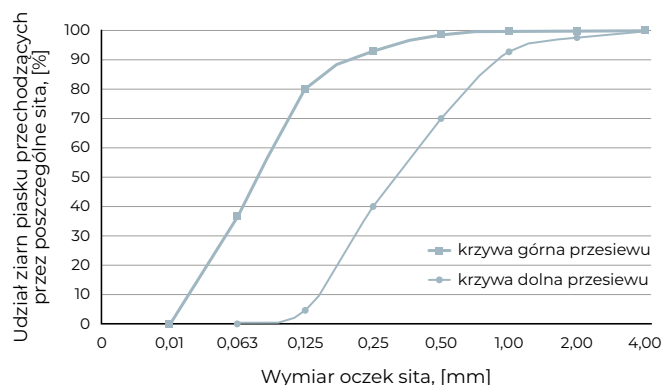
Wszystkie domieszki mineralne, które wskazano powyżej, po przekroczeniu pewnych wartości negatywnie wpływają na reakcje powstające w procesie autoklawizacji. Utrudniają powstawanie faz CSH - uwodnionych krzemianów, co w konsekwencji wpływa na jakość i uzyskiwaną wytrzymałość na ściskanie wyrobu gotowego. Dopuszczalne wartości udziału składu tlenkowego dla piasków stosowanych do produkcji silikatów przedstawia tabela 2.3

Tabela 2.3. Wymagania stawiane piaskom stosowanych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych.

Udział tlenków	Wartość graniczna
krzemu (SiO ₂)	≥ 80 %
alkaliów (Na ₂ O+K ₂ O)	≤ 0,5 %
glinu (Al ₂ O ₃)	≤ 5,0 %
żelaza (Fe ₂ O ₃)	≤ 1,5 %
magnezu (MgO)	≤ 3,0 %

Stosując piasek oraz inne kruszywa do produkcji silikatów należy tak projektować skład ziarnowy, aby uzyskać ciągłą krzywą uziarnienia, w której nie dominuje żadna z frakcji ziarnowej. Zapewnia to dobre zagęszczenie masy silikatowej, a w efekcie dobrą wytrzymałość, mrozoodporność, ognioodporność oraz niską nasiąkliwość. Powyższą regułę stosuje każdy zakład produkujący silikaty, korzystający z pobliskiej kopalni piasku, doświadczalnie optymalizując

krzywą uziarnienia stosowanego kruszywa. Na podstawie wieloletnich doświadczeń własnych, technolog lub kierownik produkcji opracowuje tzw. dolną i górną krzywą uziarnienia. Obszar zawarty pomiędzy tymi liniami jest właściwym polem wymagań do stosowania w produkcji. Przykładowe graniczne krzywe uziarnienia piasków kwarcowych przeznaczonych do produkcji wyrobów silikatowych uzyskane na podstawie badań laboratoryjnych przedstawiono na wykresie (rys. 2.1)



Rys. 2.1. Graniczne krzywe uziarnienia piasków kwarcowych przeznaczonych do produkcji wyrobów silikatowych

Piaski często zawierają domieszki ilaste. Ich równomierne rozprowadzenie w masie przyczynia się do polepszenia właściwości mechanicznych gotowych wyrobów, ale zbyt duża ilość może mieć niepożądany skutek, powodujący pogorszenie tych właściwości. Dlatego też ich ilości w masie składników podlegają ograniczeniom [17].

Substancje obce występujące w piaskach dzieli się na korzystne, obojętne i szkodliwe dla jakości produktów silikatowych. Doboru piasków pod kątem ich przydatności do produkcji dokonuje się, biorąc pod uwagę skład mineralogiczny, zawartość domieszek, skład chemiczny i układ granulometryczny ziaren.

2.2 Zakłady produkcyjne

Zakłady produkujące elementy murowe silikatowe są lokalizowane w pobliżu miejsc pozyskiwania głównych surowców (kopalni piasku) oraz w pobliżu dużych rynków zbytu. Taka lokalizacja zmniejsza zarówno koszty ekonomiczne, jak i wpływ środowiskowy związany z transportem oraz zużyciem energii.

Pierwsze prasy do produkcji silikatów (rys. 2.2) charakteryzowały się jednostronnym prasowaniem. Taki sposób formowania nie był rozwiązaniem optymalnym, z uwagi na nierównomierne zagęszczenie mieszanki w formie – bliżej stempla prasującego występowało większe zagęszczenie mieszanki, które malało wraz z odległością od stempla. W okresie powojennym produkcja cegieł

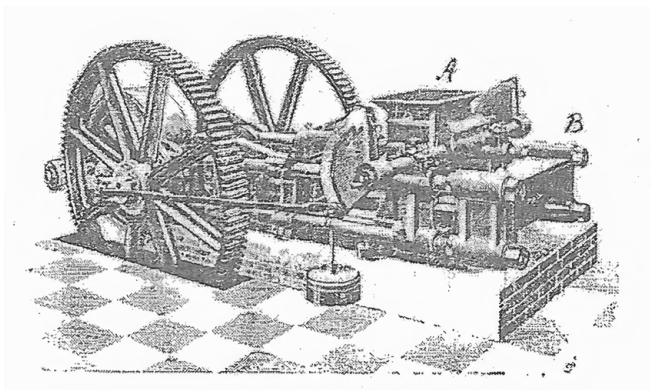
Nieprawidłowy skład ziarnowy mieszanki wyjściowej powoduje zmianę właściwości fizycznych i mechanicznych wyrobów, jak również widoczne zmiany na powierzchni silikatów. Objawem zbyt dużej ilości ziaren poniżej 0,5 mm jest bardzo gładka, lśniąca i błyszcząca powierzchnia wyrobów, a także obniżona końcowa wytrzymałość na ściskanie, zmniejszona mrozoodporność oraz zwiększona nasiąkliwość wyrobów silikatowych. Z kolei zbyt mały udział ziaren poniżej 0,5 mm przejawia się szorstką i ziarnistą powierzchnią wyrobów, co również wpływa na obniżenie końcowej wytrzymałości na ściskanie, zmniejszenie mrozoodporności i zwiększenie nasiąkliwości wyrobów. Dodatkowo pojawiają się trudności w formowaniu – surowa masa rozpada się podczas układania na wózki. Zbyt duży udział kruszywa powyżej 2 mm powoduje, że powierzchnia wyrobów staje się szorstka i ziarnista, na ściankach wyrobów widać pojedyncze ziarna kruszywa, a w ich pobliżu mogą pojawiać się pustki, raki i wykuszyny. Wyroby te również cechuje obniżona końcowa wytrzymałość na ściskanie, zmniejszona mrozoodporność oraz zwiększona nasiąkliwość.

Woda

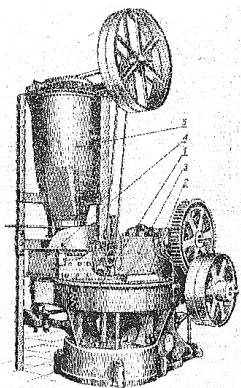
Woda używana do produkcji wyrobów silikatowych pochodzi ze zbiorników powierzchniowych, takich jak rzeki i jeziora, oraz ze zbiorników podziemnych (studnie głębinowe). Woda wykorzystywana do przygotowania masy wapienno-piaskowej nie powinna zawierać substancji wpływających niekorzystnie na barwę gotowych wyrobów. Nie powinna też zawierać zwiększonych ilości soli rozpuszczalnych, powinna być wolna od kwasów, które przez wiązanie wapna mogłyby wpłynąć redukcyjnie na aktywność mieszanki, a nie powinna także zawierać substancji organicznych, mogących wpływać negatywnie na wyrób i urządzenia w procesie technologicznym.

wapienno-piaskowych opierała się na prasach obrotowych produkcji NRD (rys. 2.3) lub produkcji krajowej PXC/250 (rys. 2.4) z ręcznym odbiorem cegieł ze stołu prasy i układaniem na wózkach.

Polska posiada stosunkowo korzystne warunki surowcowe do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych, czyli zasoby piasku kwarcowego i wapna. Dynamiczny rozwój produkcji silikatów rozpoczął się w Polsce na przełomie lat 60. i 70. XX wieku. W tym okresie wybudowano w Polsce około 30 zakładów silikatowych o łącznej zdolności produkcyjnej ok. 1,2 mld jednostek ceglanych w skali roku, co odpowiada produkcji ok. 2400 tys. m³ tych wyrobów. W 1962 roku w Teodorach k. Łasku powstał pierwszy w Polsce zakład silikatowy wyposażony w automatyczną prasę mechaniczną



Rys. 2.2. Prasa tłokowa wykorzystywana do produkcji silikatów: prasa tłokowa (początki produkcji wyrobów wapienno-piaskowych)



Rys. 2.3. Prasa dźwigowa ze stołem obrotowym systemu Komnick (1 – stół prasy, 2 – gniazdo do zasypywania masy, 3 – płyta oporowa, 4 – mieszadło przedprasowe (zasilacz), 5 – zbiornik)



Rys. 2.4. Prasa ze stołem obrotowym 16-stemplowym PXC/250 z automatycznym odbiorem cegieł ze stołu prasy na przenośnik, fot. H+H Polska

firmy Atlas-Werke. Prasa umożliwiała produkcję nie tylko cegły tradycyjnej (pojedynczej normalnego formatu, o wymiarach 250×120×65 mm), ale również kształtek o większych wymiarach, tj. dwuceglowe drążone (wym. 250×120×138 mm), trójceglowe drążone – bloczki (wym. 250×120×220 mm), a nawet bloczki o wymiarach 250×250×220 mm. Polska wykupiła licencję od firmy Atlas-Werke i z powodzeniem produkowała nowoczesne wówczas prasy na rynek krajowy i zagraniczny. Prasy Atlas są nadal wykorzystywane do produkcji silikatów. Obecnie linie produkcyjne korzystają również z pras hydraulicznych różnych producentów. Warto podkreślić, że ewolucja technik prasowania wyrobów silikatowych miała znaczący wpływ na rozwój tych produktów, ich właściwości oraz postrzeganie przez klientów.

Na początku 1990 roku funkcjonowało w Polsce ok. 40 wytwórni wyrobów wapienno-piaskowych (rys. 2.5).



Rys. 2.5. Wytwórnie wyrobów wapienno-piaskowych w Polsce – 1990 rok

Lata 90. XX wieku, po zmianach ustrojowych, zastały zakłady silikatowe jako przedsiębiorstwa państwowe, na ogół jednozakładowe, w stosunkowo słabej kondycji finansowej. Przeciętne zatrudnienie w takim przedsiębiorstwie wynosiło od 120 do 150 osób. Zmieniające się otoczenie i załamanie dotychczasowych rynków zbytu (rynek wiejski), spowodowały szereg upadłości bądź przekształceń własnościowych. W latach 90. XX wieku produkcja sukcesywnie spadała, by w 2000 roku osiągnąć poziom zaledwie 800 tys. m³, podczas gdy w Niemczech wynosiła ona wówczas ok. 6758 tys. m³, a w Holandii ok. 1725 tys. m³.

Początek XXI wieku, przystąpienie Polski do Unii Europejskiej, które nastąpiło w 2004 r., oraz towarzyszące temu zbliżenie przepisów prawa do obowiązującego

w krajach Wspólnoty, w tym prawa budowlanego, otworzyło przed zakładami produkującymi silikaty korzystne perspektywy. Wprowadzenie wymagań podstawowych dla obiektów budowlanych, czyniąc je wszystkie równie ważnymi, podniosło znaczenie właściwości przynależnych silikatom, tj. bezpieczeństwa pożarowego, a szczególnie ochrony przed hałasem. Do dziś ściany międzymieszkaniowe wykonane z silikatów znajdują uznanie w budownictwie wielorodzinnym i deweloperskim. Powyższe otworzyło nowe rynki zbytu dla silikatów, które są systematycznie rozwijane, a produkty doskonalone dzięki nowym inwestycjom w technologię i maszyny nowej generacji. W tym też okresie nastąpiła również konsolidacja branży. Powstały dwie grupy producentów skupiających po 7 zakładów produkcyjnych oraz kilka zakładów działających jako jednozakładowe spółki bądź osoby fizyczne. Przez 20 lat XXI wieku wybudowano osiem zupełnie nowych zakładów silikatowych, a kolejne są w budowie bądź ich budowa jest planowana (rys. 2.6).



Rys. 2.6. Zakłady silikatowe w Polsce – 2024 rok

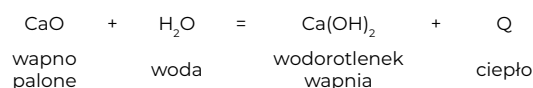
2.3 Technologia produkcji

Produkcja silikatowych elementów murowych wyróżnia się stosunkowo niskim zużyciem energii elektrycznej oraz cieplnej. Nie ma w niej energochłonnych procesów, takich jak mielenie czy suszenie. Zużycie energii elektrycznej koncentruje się głównie na przemieszczaniu materiałów w procesie technologicznym, mieszaniu piasku i wapna w wilgotnej konsystencji oraz krótkotrwałym prasowaniu elementów. Natomiast energia cieplna jest wykorzystywana do hartowania wyrobów. Niezbyt wysokie temperatury procesu (ok. 200°C), utrzymywane przez kilka do kilkunastu godzin, powodują umiarkowanie niskie zużycie energii cieplnej w porównaniu z innymi technologiami, zwłaszcza tymi związanymi z wypalaniem wyrobów.

Do wykonania mieszanki wapienno-piaskowej wykorzystywane są surowce spełniające kryteria jakościowe. Na tym etapie konieczna jest wiedza na temat planowanego asortymentu wyrobów (bloczki pełne czy drążone), a także klasy wytrzymałości i gęstości. Powyższe informacje stanowią podstawę do przygotowania właściwej mieszanki, czyli dobrania odpowiedniego stosunku ilościowego surowców. Prawidłowo dobrane surowce, zarówno pod względem ilości, jak i jakości, są następnie mieszane w mieszadłach dwuwiałowych lub planetarnych.

Każdy zakład stosuje własne receptury, dobrane optymalnie do stosowanych surowców oraz istniejących technicznych warunków wytwarzania. Najczęściej spotykane w praktyce proporcje to 90% piasku i 7% wapna palonego oraz 3% wody.

Podczas mieszania surowców rozpoczyna się chemiczny proces gaszenia wapna palonego, który jest reakcją egzotermiczną (towarzyszy jej wydzielanie ciepła).

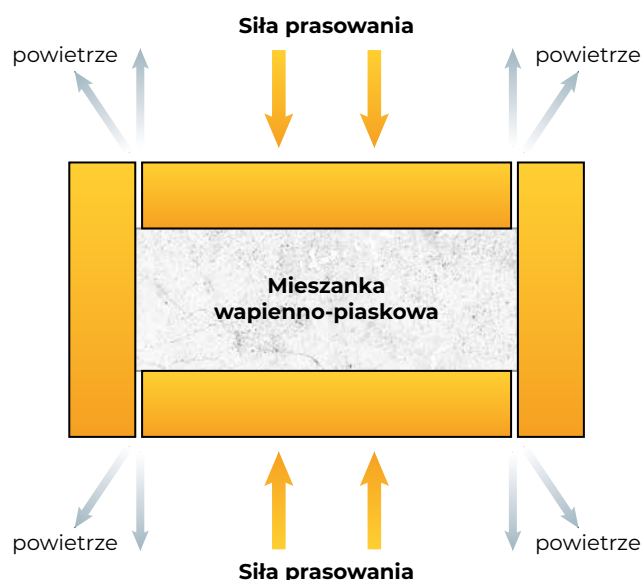


W procesie tym niezwykle ważna jest ilość dozowanej wody, która musi zapewnić pełne przereagowanie wapna oraz odpowiednią wilgotność całej mieszanki. Właściwa wilgotność mieszanki warunkuje również jej zdolność do formowania. Ilość wody należy również dostosować do długości i czasu transportu od mieszadła do reaktora oraz warunków środowiskowych (np. okres zimowy lub letni), które mają wpływ na ilość odparowanej wody podczas transportu. Prawidłowo wymieszana mieszanka wapienno-piaskowa układem przenośników trafia do reaktora, gdzie przebiega proces sezonowania.

Reaktor jest to urządzenie w kształcie silosu, w którym dobiega końca proces gaszenia wapna i ujednolodzenia wilgotności mieszanki. Z uwagi na fakt, że wapno podczas gaszenia zwiększa swoją objętość nawet od 3 do 3,5-krotnie, proces gaszenia musi w pełni zakończyć się w reaktorze przed fazą formowania, gdyż w przeciwnym razie nastąpi uszkodzenie wyrobu, a na produkcji pojawią się liczne rysy. Jak już wspomniano, procesowi gaszenia wapna palonego towarzyszy wydzielanie się dużej ilości ciepła, dlatego temperatura mieszanki w reaktorze może osiągać nawet 80°C. Na tym etapie procesu produkcji należy skontrolować wilgotność mieszanki i zawartość CaO aktywnego w mieszance. Kiedy mieszanka wapienno-piaskowa została

odpowiednio wymieszana oraz wszystkie niezbędne reakcje chemiczne zaszły w reaktorze, mieszanka rusza do kolejnego etapu produkcji. Trafia do mieszadła dwuwałowego, gdzie następuje ostateczne mieszanie i dowilżenie masy wapienno-piaskowej w celu uzyskania optymalnych warunków formujących. Następnie tak przygotowana mieszanka trafia do kosza zasypowego prasy, a dalej do specjalnej formy umieszczonej w prasie formującej, gdzie pod wpływem dużych sił ściskających ulega prasowaniu do zadanych wymiarów

Formowanie wyrobów silikatowych następuje pod wpływem siły prasującej mieszankę, w formach determinujących kształt i wymiar gotowych produktów. Prasowanie, czyli inaczej zagęszczanie, polega na możliwie największym zbliżeniu cząstek luźnej mieszanki i usunięciu powietrza z pustych przestrzeni (rys. 2.7).



Rys. 2.7. Schemat prasowania mieszanki wapienno-piaskowej

Prasowanie jest niezwykle istotnym elementem procesu produkcji wyrobów silikatowych, gdyż w tym momencie powstaje wyrób o określonych kształtach, wymiarach i właściwościach. Na przebieg procesu prasowania mają wpływ opory tarcia między ziarnami piasku, ich kształt oraz wilgotność mieszanki i zawartość CaO aktywnego w mieszance. Odpowiednio dobrana wilgotność mieszanki, która zależna jest od zawartości CaO aktywnego w mieszance, ułatwia wzajemne przemieszczanie się ziaren piasku, tym samym wpływa korzystnie na warunki formowania bloczków. Na zwiększenie stopnia zagęszczenia mieszanki korzystnie wpływa czas trwania nacisku, tzn. czas prasowania. Niewątpliwie, stopień zagęszczenia przekłada się wprost na wytrzymałość wyrobów na ściskanie, parametru niezwykle ważnego dla wyrobów silikatowych, a wytrzymałość na ściskanie wyrobów gotowych rośnie wraz ze wzrostem ciśnienia prasowania, oczywiście w pewnych granicach.

Współczesne prasy do produkcji silikatów (rys. 2.8) charakteryzują się prasowaniem dwustronnym, tj. równoległym działaniem sił o przeciwnym zwrocie, co daje równomierne zagęszczenie mieszanki, a co za tym idzie – te same właściwości mechaniczne wyrobów w objętości całego wyrobu. Ponadto są to w pełni zautomatyzowane maszyny prasująco-odbierająco-układające wyroby surowe na wózkach hartowniczych. Prasa nadzoruje cały proces pod kątem stałości ciśnienia prasowania i dokładności wymiarowej wyrobów w przedziale $\pm 1,0$ mm. Wyroby odbiegające od zadanych parametrów zostają przez prasę odrzucone do ponownego formowania mieszanki. Aktualnie w Europie używane są głównie prasy hydrauliczne sterowane najnowszą elektroniką, gwarantującą klientowi powtarzalne wyroby o stabilnych parametrach. Prasowanie, nadając wyrobowi kształt i wymiary, nie kończy procesu produkcji, gdyż na tym etapie bloczek wymaga nadania produktowi ostatecznych cech mechanicznych. Tak przygotowane produkty są transportowane do autoklawów, czyli poziomo usytuowanych walczaków. W autoklawach - po zamknięciu, następuje proces obróbki hydrotermalnej, polegający na działaniu nasyconą parą wodną o określonym ciśnieniu i temperaturze w określonym czasie.

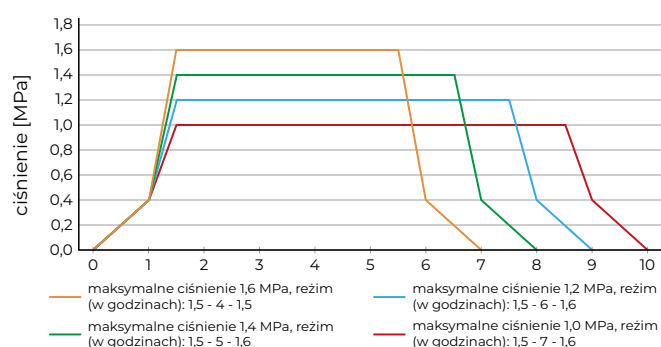


Rys. 2.8. Współczesna prasa hydrauliczna, fot. H+H Polska

Według Michaelisa, wynalazcy wyrobów silikatowych, w procesie autoklawizacji na powierzchni ziaren piasku, w wyniku zachodzących reakcji chemicznych powstają produkty hydratacji, nadające wyrobom znaczne wytrzymałości mechaniczne. Stanowią one fazy krystaliczne uwodnionych krzemianów wapnia. Najbardziej znaczącymi w strukturze materiałów jest faza krystaliczna zwana tobermorytem oraz fazy CSH I i CSH II:



Zarówno skład chemiczny, jak i struktura utworzonych faz, zależą od mieszanki wapienno-piaskowej, temperatury, ciśnienia oraz czasu trwania procesu autoklawizacji. Optymalnymi warunkami dla powstawania uwodnionych krzemianów wapnia o strukturze tobermorytu jest temperatura powyżej 175°C. Przebieg procesu autoklawizacji, tzn. zależności ciśnienia i temperatury oraz czas trwania procesu, każdy producent dobiera optymalnie do posiadanych możliwości technicznych, jakości użytych surowców, gęstości autoklawizowanych produktów i planowanych właściwości wyrobów. Podczas procesu autoklawizacji należy kontrolować ciśnienie, temperaturę i czas trwania poszczególnych etapów tego procesu (rys. 2.9).



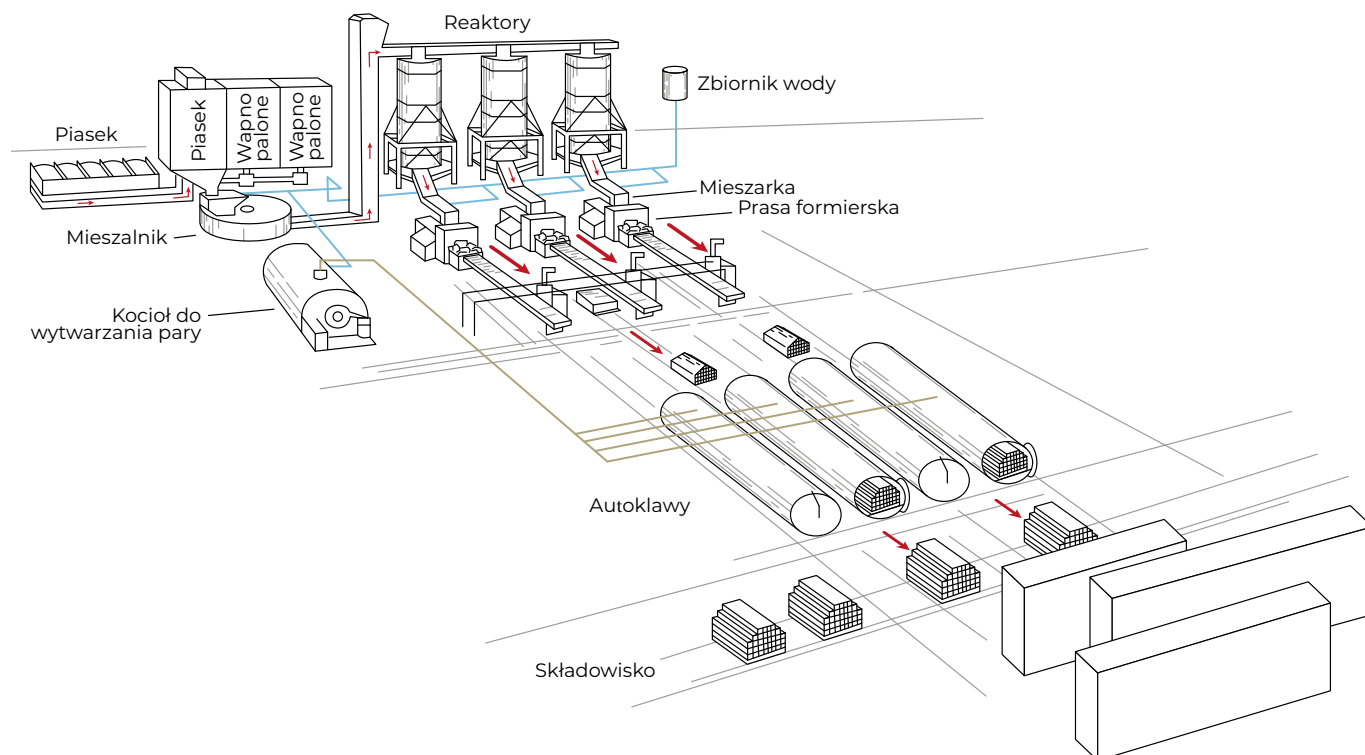
Rys. 2.9. Zależność rozkładu maksymalnych ciśnień w autoklawie względem czasu niezbędnego do przeprowadzenia procesu autoklawizacji w produkcji silikatów

Istotnym czynnikiem procesu autoklawizacji jest również umiejętne podnoszenie ciśnienia i temperatury, usuwanie powietrza resztkowego i kondensatu z autoklawu. Niepełne usunięcie powietrza i kondensatu z autoklawu powoduje obniżenie temperatury we wnętrzu autoklawu, co skutkuje wolniejszym i niepełnym przebiegiem procesu twardnienia mieszanki wapienno-piaskowej, a tym samym niższą wytrzymałością na ściskanie gotowego wyrobu.

W końcowej fazie autoklawizacji należy pamiętać, że zbyt szybkie odprowadzanie pary z autoklawu może prowadzić do gwałtownego odparowania wody z wyrobu, co skutkuje powstawaniem naprężeń, a w konsekwencji – rys na produkcie.

Pomimo, że wyrób wychodzący z autoklawu osiąga już swoją wytrzymałość znormalizowaną, w dalszym ciągu zachodzą procesy wiązania pozostałości wapna z dwutlenkiem węgla z powietrza. W wyniku tego powstaje węglan wapniowy, który jeszcze mocniej wiąże ziarna piasku. Ma to szczególnie pozytywny aspekt dla zmniejszania śladu węglowego. Najnowsze badania potwierdzają pochłanianie dwutlenku węgla do 50 lat od momentu produkcji [57].

Kończącym elementem procesu wytwarzania wyrobów silikatowych jest kontrola wszystkich parametrów wyrobów pod kątem ich zgodności z wartościami deklarowanymi. Wyroby zakwalifikowane jako zgodne z deklarowanymi właściwościami poddaje się ewentualnemu sortowaniu, pakowaniu i magazynowaniu. Ostatecznie wyrób zapakowany i posiadający deklarację właściwości użytkowych, trafia do klienta (rys. 2.10).



Rys. 2.10. Współczesny zakład produkcji silikatów

3. CHARAKTERYSTYKA WYROBÓW SILIKATOWYCH

3.1 Bezpieczeństwo użytkowania

Mirella Magdziarz-Żak, Marek Królikowski, Józef Macech

Zgodnie z prawem europejskim, a za nim z prawem krajowym, obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i zbudowane w taki sposób, aby zapewniały mieszkańcom lub użytkownikom korzystanie z nich zgodnie z zamierzonym zastosowaniem, z uwzględnieniem zdrowia i bezpieczeństwa przez cały cykl życia obiektu.

W Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 roku, ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającym dyrektywę Rady 89/106/EWG, określono wymagania wobec budynków, wskazując, że „Obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby nie stwarzały niedopuszczalnego ryzyka wypadków lub szkód w użytkowaniu lub w eksploatacji, takich jak: poślizgnięcia, upadki, zderzenia, oparzenia, porażenia prądem elektrycznym i obrażenia w wyniku eksplozji lub włamania. W szczególności obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane z uwzględnieniem ich dostępności dla osób niepełnosprawnych i ich użytkowania przez takie osoby” [19]. Podstawowymi aktami prawnymi obowiązującymi w Polsce, które regulują kwestie bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektów, są rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [20], oraz ustawa Prawo budowlane [21], wraz z aktami wykonawczymi wynikającymi z ich zapisów.

Przepisy i wymagania związane z higieną i zdrowiem zawarte są w dziale VIII rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [21]. Biorąc pod uwagę wymagania w zakresie bezpieczeństwa i dostępności obiektów, materiały do wznoszenia ścian mają największe znaczenie w zakresie bezpieczeństwa obiektów, gdzie istotne są takie właściwości, jak wytrzymałość na ściskanie i odporność ogniowa. W obu tych aspektach silikaty osiągają wysokie, ponadprzeciętne właściwości. Nadają się do wznoszenia bezpiecznych wysokich ścian zewnętrznych i wewnętrznych, jak również specjalistycznych przegród przeciwogniowych. Budynki w ciągu ich całego cyklu życia nie mogą też wywierać nadmiernego wpływu na jakość środowiska ani na klimat, w szczególności w wyniku:

- wydzielania toksycznych gazów,
- emisji niebezpiecznych substancji, lotnych związków organicznych, gazów cieplarnianych lub niebezpiecznych cząstek do powietrza wewnątrz i na zewnątrz obiektu budowlanego,
- emisji niebezpiecznego promieniowania,
- uwalniania niebezpiecznych substancji do wody gruntowej, wód morskich, wód powierzchniowych lub gleby,
- uwalniania do wody pitnej niebezpiecznych substancji lub substancji, które w inny sposób negatywnie wpływają na wodę pitną,
- niewłaściwego odprowadzania ścieków, emisji gazów spalinowych lub niewłaściwego usuwania odpadów stałych i płynnych,
- wilgoci w częściach obiektów budowlanych lub na powierzchniach w obrębie tych obiektów.

Nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach mury wykonane z wyrobów silikatowych nie wydzielają żadnych szkodliwych substancji wpływających na poziom dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia. Silikaty są również materiałem o jednym z najniższych poziomów promieniowania naturalnego, wielokrotnie niższym od dopuszczalnych wartości określonych w przepisach dotyczących granicznych wartości stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych [2]. Dla silikatów, zarówno dla surowców, jak i wyrobów gotowych, wielkości te osiągają wartości ok. 10-krotnie niższe niż dopuszczalne normy europejskie, podawane za pomocą dwóch oznaczanych laboratoryjnie wskaźników – f_1 i f_2 (tabela 3.1). Wskaźnik f_1 daje informację o narażeniu całego ciała promieniowaniem gamma przez radionuklidy pochodzenia geologicznego występujące w materiale, tj. potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-232, natomiast wskaźnik f_2 informuje o stopniu narażenia nabłonka płuc na skutki promieniowania alfa radonu Rn-222 i jego pochodnych [23].

Tabela 3.1. Wskaźniki aktywności f_1 i f_2 dla elementów murowych silikatowych

Wskaźnik	Wartość graniczna dla materiałów budowlanych	Wskaźnik aktywności elementów murowych silikatowych
f_1	$\leq 1,2$	0,1-0,2
f_2	$\leq 240 \text{ Bq/kg}$	18-24 Bq/kg

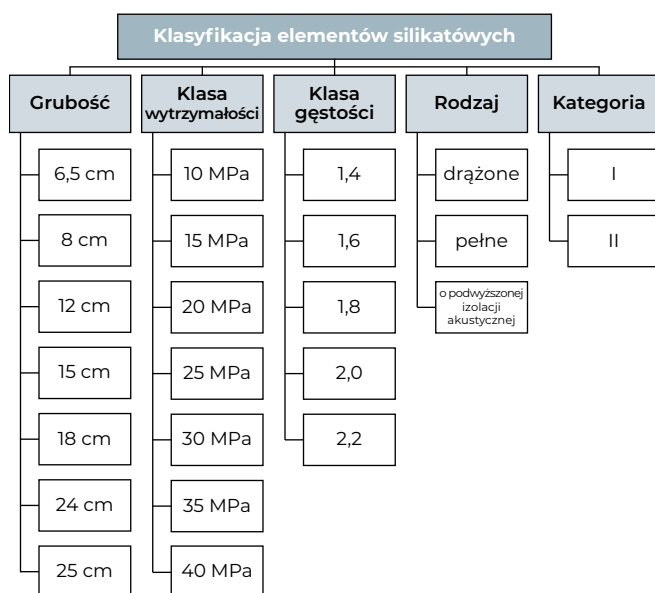
W przypadku wystąpienia awarii prowadzących do nagromadzenia się w budynku dużych ilości wody i wilgoci silikaty są odporne na zagrzybienie i inne formy biodegradacji, zapewniając tym samym dobry mikroklimat pomieszczeń. Nawet jeżeli na pyłe i brudzie osadzającym się na ich powierzchni będą się rozwijały różnego rodzaju

mikroorganizmy niebezpieczne dla zdrowia ludzi (np. grzyby strzępkowe czyli pleśń), nie jest możliwe ich wnikanie w strukturę silikatów z uwagi na ich silny odczyn zasadowy. Z tego względu silikaty są również doskonałym materiałem do wykonania murów pomieszczeń o podwyższonej wilgotności tj. łazienek, pralni czy kuchni [22].

3.2 Klasyfikacja elementów murowych silikatowych

Wojciech Rogala

Elementy murowe silikatowe z uwagi na warunki projektowe są klasyfikowane ze względu na grubość, klasę wytrzymałości, klasę gęstości, rodzaj i kategorię (rys. 3.1).



Rys. 3.1. Klasyfikacja elementów murowych

Grubość

Zgodnie z Eurokodem 6 [24], elementy konstrukcyjne budynków powinny spełniać określone wymagania dotyczące grubości. Do elementów konstrukcyjnych można zaklasyfikować wyroby o grubości min. 10 cm. Ściany usztywniające, stanowiące kluczową rolę w utrzymaniu właściwej stabilności konstrukcji, powinny charakteryzować się grubością nie mniejszą niż 18 cm.

Ściany konstrukcyjne, które przenoszą obciążenia budynku, najczęściej wznoszone są z elementów o grubości 24 cm. W odróżnieniu od wielu krajów europejskich, w Polsce ściany konstrukcyjne z elementów 15 cm lub 12 cm stanowią rzadkość. Ściany o grubości 18 cm zyskują coraz większą popularność, szczególnie jako ściany wypełniające.

Przestrzeń wewnętrzna obiektu wydzielana jest najczęściej przegrodami nienośnymi, tzw. ścianami działowymi. Ściany te są wznoszone zwykle z elementów o grubości 8 lub 12 cm.

Klasa wytrzymałości

Mury wznoszone z bloków silikatowych, z uwagi na wysoką wytrzymałość na ściskanie i stosunkowo niedużą liczbę drążeń, zaliczane są do najbardziej wytrzymałych. Wśród nich największą popularnością cieszą się elementy murowe klasy 15 MPa, odpowiadające znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie 15 MPa w stanie powietrzno-suchym, tj. wytrzymałości sprowadzonej do wytrzymałości graniastosłupa 100x100x100. Elementy murowe charakteryzujące się wyższą klasą wytrzymałości na ściskanie stosowane są rzadko, zwykle jako elementy do budowy ścian dolnych kondygnacji budynków wyższych niż pięć kondygnacji.

Podczas projektowania konstrukcji należy jednak pamiętać, że wytrzymałość murów wzniesionych z danego rodzaju materiału znacznie różni się od wytrzymałości deklarowanej dla pojedynczego elementu murowego. Dlatego też nie można porównywać elementów silikatowych danej klasy z innymi elementami murowymi o tej samej klasie wytrzymałości. Decydujące znaczenie w doborze zastosowanego materiału konstrukcyjnego ma zatem wytrzymałość na ściskanie muru, a ta w przypadku elementów silikatowych jest znacznie wyższa, niż np. wytrzymałość na ściskanie murów wykonanych z elementów ceramicznych tej samej klasy wytrzymałości.

Klasa gęstości

Jednym z etapów produkcji elementów murowych silikatowych jest prasowanie. Z tego względu elementy murowe, pomimo drążeń, charakteryzują się wysoką gęstością. Zgodnie z normą PN-EN 771-2 [25], klasa gęstości brutto w stanie suchym elementów silikatowych odpowiada górnej granicy ich gęstości, tj.

- Klasa 1,4 – gęstość od 1210 do 1400 kg/m³
- Klasa 1,6 – gęstość od 1410 do 1600 kg/m³
- Klasa 1,8 – gęstość od 1610 do 1800 kg/m³
- Klasa 2,0 – gęstość od 1810 do 2000 kg/m³
- Klasa 2,2 – gęstość od 2010 do 2200 kg/m³

Standardowe elementy drążone charakteryzują się gęstością brutto w stanie suchym od 1350 do 1450 kg/m³. Elementy

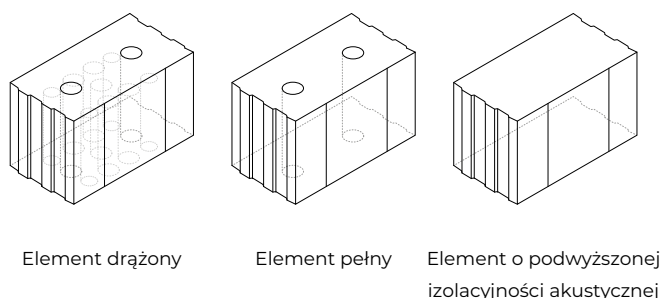
pełne zwykle charakteryzują się gęstością w zakresie 1650-1800 kg/m³, a elementy o podwyższonej izolacyjności akustycznej – gęstością powyżej 1750 kg/m³. Zawartość wilgoci w elementach murowych, które trafiają na budowę zwykle nie przekracza 2%. Z tego względu jako ciężar charakterystyczny przyjmowana jest górna granica gęstości w stanie suchym.

W Europie znane są także elementy murowe silikatowe przewidziane do zastosowań jako elementy chroniące przed promieniowaniem RTG, których gęstość dochodzi nawet do 2600 kg/m³.

Rodzaj

Wśród elementów murowych silikatowych, z uwagi na kształt i budowę wyróżnia się (rys. 3.2):

- elementy drążone, posiadają drążenia oraz otwory przelotowe oraz, opcjonalnie, wnęki chwytowe
- elementy pełne, posiadają otwory przelotowe oraz, opcjonalnie, wnęki chwytowe
- elementy o podwyższonej izolacyjności akustycznej, pozbawione są otworów i wnęk chwytowych.



Rys. 3.2. Rodzaje elementów murowych silikatowych

Większość elementów murowych silikatowych produkowanych w Polsce posiada profilowane powierzchnie boczne na pióro-wpust. Formalny podział określony w PN-EN 1996-1-1 [24] obejmuje dwie grupy elementów murowych. Elementy murowe grupy 1 charakteryzują się łączną objętością drążeni do 25%. Elementy murowe grupy 2 posiadają drążenia o łącznej objętości od 25% do 55%. Krajowa produkcja obejmuje głównie elementy grupy 1, ponieważ dla takich elementów można przyjąć bardziej korzystny współczynnik K przy wyznaczaniu wytrzymałości muru na ściskanie. Dodatkowo Normą PN-EN 1996-1-2 [26] wyróżnia grupę 1S, w której klasyfikowane są elementy o objętości drążeni do 5%. Dla tych elementów możliwe jest przyjęcie wyższej klasy odporności ogniowej. W grupie 1S znajdują się elementy pełne i o podwyższonej izolacyjności akustycznej.

Kategoria elementów murowych

Silikaty, zgodnie z normą PN-EN 771-2 [25], należą do elementów murowych kategorii I. Oznacza to, że są to elementy, w których prawdopodobieństwo wystąpienia mniejszej wytrzymałości na ściskanie niż deklarowana nie przekracza 5%. Jednocześnie żadne z badanych elementów nie może charakteryzować się wytrzymałością poniżej 80% wartości deklarowanej. Dla elementów murowych kategorii I wymagany jest nadzór nad produkcją zewnętrznej jednostki certyfikującej. Jeśli dostarczony element charakteryzuje się kategorią I, to zgodnie z krajowym systemem oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych [27], dopuszczony jest on do obrotu w systemie 2+, co znajduje odzwierciedlenie w deklaracji właściwości użytkowych wyrobu. Podczas projektowania elementów murowych kategorii I możliwe jest zastosowanie mniejszego współczynnika bezpieczeństwa, przy wyznaczaniu obliczeniowej wytrzymałości muru na ściskanie

Tabela 3.2. Charakterystyka elementów murowych silikatowych z uwzględnieniem podziału na grupę 1, grupę 2 oraz grupę 1S

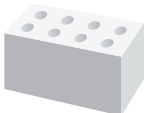
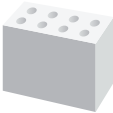
Grupa	Łączna objętość wszystkich otworów elementu murowego	Maksymalna objętość pojedynczego otworu w stosunku do objętości elementu murowego	Rodzaj elementów produkowanych w danej grupie
Grupa 1S	do 5%	do 5%	elementy pełne, elementy o podwyższonej izolacyjności akustycznej
Grupa 1	do 25%	do 12,5%	elementy drążone, elementy pełne
Grupa 2	od 25% do 55%	do 15%, otwory chwytowe łącznie do 30%	elementy drążone

3.3 Asortyment wyrobów silikatowych

Piotr Suchta

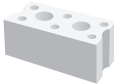
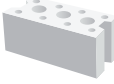
Kształt i wielkość wyrobów silikatowych są bezpośrednio związane z możliwościami technicznymi maszyn prasujących. Początkowo produkcja obejmowała elementy o wymiarach 250×120×65 mm, tzw. cegły pełne. Jak wspomniano już w podrozdziale 2.2, do lat 70. XX wieku prasy obrotowe mogły produkować głównie cegły o powyższych wymiarach, a sporadycznie również cegły o wymiarach 250×120×138 mm. Odbiór cegieł z prasy oraz ich układanie na wózkach odbywały się ręcznie. Wprowadzenie do zakładów nowych pras mechanicznych typu Atlas umożliwiło formowanie wyrobów o większych rozmiarach (250×120×220 mm), zwanych bloczkami, a sporadycznie także bloczków o wymiarach (250×250×220 mm). Wymiary i kształty elementów z asortymentu wyrobów silikatowych wraz z ich przeznaczeniem przedstawiono w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Asortyment podstawowych wyrobów silikatowych w XX w.

Zastosowanie	Kształt i wymiar
ściany elewacyjne, osłonowe i konstrukcyjne	 250×120×65 mm
elewacje, ściany osłonowe, konstrukcyjne i działowe	 250×120×138 mm
mury konstrukcyjne, ściany działowe	 250×120×220 mm
mury konstrukcyjne (ściany nośne i fundamenty)	 250×250×220 mm

Na przełomie XX i XXI wieku na rynku wyrobów silikatowych pojawiły się nowe produkty, których celem było poszerzenie oferty asortymentowej oraz wzbudzenie zainteresowania klientów nowymi typami silikatów. Były to bloki o wymiarach 500×180×220 mm i 500×250×220 mm, a także kształtki wentylacyjne oraz kształtki szalunkowe do nadproży typu U (tabela 3.4). Bloki o wymiarach 500×180×220 mm i 500×250×220 mm początkowo zdobyły uznanie klientów, a ich udział w produkcji sięgał nawet kilkunastu procent. Jednak wraz ze zmianą norm dotyczących ręcznego dźwigania i transportu ładunków, zainteresowanie tymi wyrobami stopniowo malało, doprowadzając do ich wycofania.

Tabela 3.4. Asortyment wyrobów silikatowych wprowadzony na przełomie XX i XXI w.

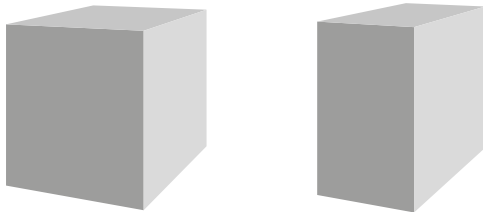
Zastosowanie	Kształt i wymiar
mury konstrukcyjne (ściany nośne i fundamenty)	 500×180×220 mm
mury konstrukcyjne (ściany nośne i fundamenty)	 500×250×220 mm
przewody wentylacyjne, obudowa instalacji	 250×250×220 mm
nadproża, osłony instalacji	 220×250×220 mm

Początek XXI wieku zaowocował pojawieniem się w Polsce pras hydraulicznych oraz modernizacją pras Atlas, co umożliwiło wytwarzanie produktów o tolerancji wysokości wyrobu +/- 1,0 mm. Pozwoliło to na wprowadzenie nowej gamy produktów przystosowanych do murowania na spoinę cienkowarstwową (klejenie) bez spoiny pionowej, tj. na pióro – wpust, tzw. suchy styk. Do produkcji weszły również wyroby pełne o wyższych wytrzymałościach na ściskanie oraz lepszych parametrach akustycznych (tabela 3.5).

Tabela 3.5. Przykładowy asortyment wyrobów silikatowych, produkowanych obecnie.

Zastosowanie	Kształt i wymiar
ściany działowe, osłonowe	 250×80×220 mm
mury konstrukcyjne, ściany działowe, osłonowe	 250×120×220 mm
mury konstrukcyjne	 250×180×220 mm
mury konstrukcyjne	 250×150×220 mm
mury konstrukcyjne, ściany międzymieszkaniowe	 250×240×220 mm
mury konstrukcyjne (ściany nośne i fundamenty)	 250×180×220 mm
mury konstrukcyjne (ściany nośne i fundamenty)	 250×240×220 mm

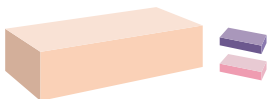
Producenci, dążąc do spełnienia normowych wymagań izolacyjności akustycznej dla przegród międzymieszkaniowych, szczególnie w budownictwie wielorodzinnym, wypracowali nowe wyroby o podwyższonej izolacyjności akustycznej (oznaczane zazwyczaj literą A). Wyroby te są produkowane z domieszką kruszywa dolomitowego lub bazaltowego i uzyskują bardzo wysoki parametr gęstości w stanie suchym, tj. do 2200 kg/m³ (Rys. 3.3) .



Rys. 3.3. Wyroby silikatowe o podwyższonej izolacyjności akustycznej

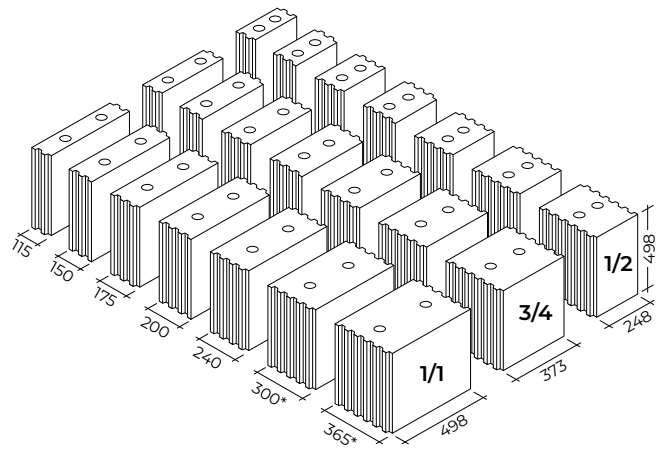
Silikaty z uwagi na dużą trwałość, tj. odporność na zamrażanie i odmrażanie, znajdują zastosowanie również w wykończeniu elewacji ścian wewnętrznych i zewnętrznych oraz elementach małej architektury, gdzie nie przewiduje się dodatkowych zabezpieczeń muru. W tym zakresie szczególnym zainteresowaniem cieszą się wyroby łupane imitujące naturalny piaskowiec, jak również wyroby łupane barwione. (tabela 3.6).

Tabela 3.6. Asortyment łupanych i barwionych wyrobów silikatowych

Zastosowanie	Kształt i wymiar
elewacja wewnętrzna i zewnętrzna ścian i cokołów	 250×120×65 mm
elewacja wewnętrzna i zewnętrzna ścian i cokołów	 250×90×65 mm

Przyszłość w produkcji silikatów wyznaczają nowe generacje pras hydraulicznych, na których jest możliwe wytwarzanie wielkoformatowych wyrobów o wymiarach sekwencyjnych (rys. 3.4). Skoordynowane elementy standardowe pozwalają na tworzenie łańcuchów wymiarowych i grubości ścian, w pełni zaspokajając potrzeby zarówno inwestorów, projektantów, jak i wykonawców. System ten dodatkowo pozwala na łatwiejsze i bardziej precyzyjne łączenie elementów podczas budowy. Z uwagi na ciężar pojedynczych elementów w technologii wznoszenia ścian przy użyciu tego typu elementów wykorzystywane są tzw. miniżurawie z dostosowanymi chwytakami.

Zastosowanie wielkoformatowych wyrobów silikatowych wpływa na poprawę wydajności, ekonomii i zmniejszenie obciążenia fizycznego pracowników podczas wznoszenia ścian. Pracownik nakłada zaprawę cienkowarstwową za pomocą specjalnej skrzynki do zapraw i, za pomocą obsługi, miniżuraw z dopasowanymi chwytakami precyzyjnie ustawia kolejne elementy. W ten sposób fizyczne obciążenie pracownika pozostaje na niskim poziomie i pozwala osiągnąć wysoką wydajność murowania.



Rys. 3.4. Przykład wielkoformatowych wyrobów silikatowych o wymiarach sekwencyjnych [28]

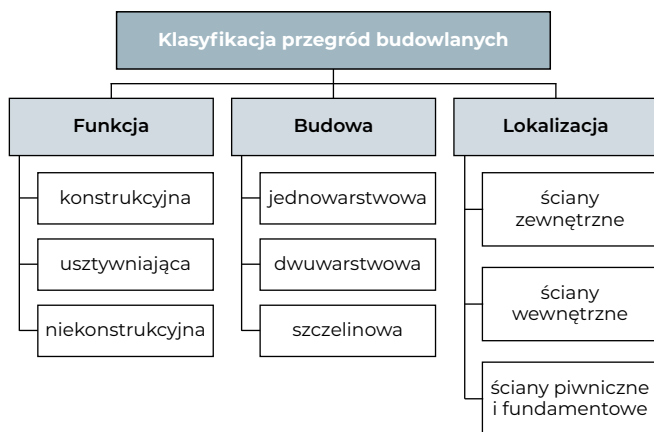
4. ZASTOSOWANIE SILIKATÓW W BUDOWNICTWIE

4.1 Rodzaje przegród budowlanych

Wojciech Rogala, Mirella Magdziarz-Żak, Marek Królikowski

Silikaty mają bardzo szerokie zastosowanie. Ze względu na swoje właściwości i różnorodność produkowanych elementów można zastosować je we wszystkich rodzajach ścian, uwzględniając wszystkie rodzaje i typy budownictwa. Materiały wapienno-piaskowe są wykorzystywane zarówno do wnoszenia przegród w budownictwie mieszkaniowym, w budynkach użyteczności publicznej, jak i w budownictwie specjalistycznym.

Z silikatów można wznosić ściany jednowarstwowe bez docieplenia i z dociepleniem, ściany dwuwarstwowe oraz szczelinowe (trójwarstwowe). Ze względu na przeznaczenie przegród z silikatów można budować ściany konstrukcyjne i wypełniające. Z tego względu przegrody budowlane wznoszone z elementów silikatowych można podzielić z uwagi na funkcję, budowę oraz lokalizację (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Klasyfikacja przegród budowlanych

1. Klasyfikacja ścian z uwagi na funkcję

Ściana konstrukcyjna to przegroda, która oprócz własnego ciężaru jest również zaprojektowana do przenoszenia dodatkowych obciążeń, takich jak ciężar stropu, konstrukcji dachu czy siły zewnętrzne działające na budynek. Nazywana jest często ścianą nośną. Ściany konstrukcyjne mogą pełnić funkcję przegród wewnętrznych lub zewnętrznych.

Ściana usztywniająca jest istotnym elementem w konstrukcji budynków. Jej główną funkcją jest zapewnienie stabilności i sztywności całej konstrukcji. Zazwyczaj umieszczana jest prostopadle do innych ścian konstrukcyjnych, działając jako podpora w przejmowaniu sił poziomych, które mogą działać na budynek. To, że ściana usztywniająca może być również ścianą konstrukcyjną, oznacza, że pełni podwójną rolę – zarówno jako element nośny, jak i stabilizujący. Ściana usztywniająca może być jednocześnie ścianą konstrukcyjną. Minimalna grubość takiej ściany wynosi 18 cm.

Ściana niekonstrukcyjna to ściana, która przenosi jedynie ciężar własny. Można ją usunąć bez szkody dla nośności konstrukcji całego budynku.

2. Klasyfikacja ścian z uwagi na budowę

Ściana jednowarstwowa jest to przegroda składająca się z pojedynczej warstwy materiału budowlanego, bez ciągłej spoiny lub szczeliny na całej wysokości muru. Ze względu na coraz bardziej restrykcyjne wymagania dotyczące efektywności energetycznej budynków, ściany jednowarstwowe bez warstwy ocieplenia są rzadko stosowane. Z kolei ściany jednowarstwowe z dodatkową warstwą ocieplenia stały się popularnym rozwiązaniem w nowoczesnym budownictwie. Warstwa izolacji termicznej znacząco poprawia właściwości termoizolacyjne ściany jednowarstwowej, i pozwala dostosować opór cieplny ściany do współcześnie stawianych wymagań. Dzięki temu takie ściany mogą efektywnie zapobiegać utracie ciepła wewnątrz budynku, co jest kluczowe w kontekście energooszczędności.

Ściana dwuwarstwowa to przegroda składająca się z dwóch równoległych warstw murów, które są połączone spoiną podłużną, całkowicie wypełnioną zaprawą oraz zespolone za pomocą kotew w sposób zapewniający wspólne przenoszenie obciążeń. Ściany dwuwarstwowe obecnie są projektowane bardzo rzadko. Ich zastosowanie wynika zwykle z konieczności dopasowania grubości muru do istniejącej grubości konstrukcji lub parametrów akustycznych.

Ściana szczelinowa to przegroda składająca się z dwóch równoległych murów, trwale połączonych ze sobą kotwami lub zbrojeniem w spoinach wspornych, z przestrzenią pomiędzy warstwami. Przestrzeń może być niewypełniona, wypełniona materiałem termoizolacyjnym (ściana szczelinowa ze szczeliną wypełnioną materiałem nienośnym), betonem lub zaprawą murarską (ściana szczelinowa z wypełnioną szczeliną).

3. Klasyfikacja ścian z uwagi na lokalizację

Ściany z elementów silikatowych mogą być używane zarówno jako ściany zewnętrzne, wewnętrzne, jak i piwniczne/fundamentowe. **Ściany zewnętrzne** wykonane z elementów silikatowych, poza budynkami nieogrzewanymi, wymagają ocieplenia. Do wznoszenia ścian zewnętrznych zalecane jest stosowanie bloczków silikatowych o grubości: 18, 24 lub 25 cm. Do każdej grubości bloczka projektant dobiera odpowiedni rodzaj i grubość materiałów izolacyjnych.

Wybór materiałów murowych do wzniesienia **wewnętrznych ścian** konstrukcyjnych zależy od planowanej funkcji przegrody i związanej z nią wymagań. Ściany międzylokalowe w budynkach wielorodzinnych powinny odpowiadać wymogom dotyczącym wytrzymałości, ochrony przeciwpożarowej i izolacyjności akustycznej. Przegrody wewnątrz lokalu powinny spełnić przede wszystkim wymagania w zakresie wytrzymałości mechanicznej. Inne właściwości powinny być zapewnione zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami, które są mniej

restrykcyjne niż w przypadku ścian międzylokalowych. Poza wyborem odpowiednich materiałów bardzo istotna jest jakość wykonawstwa, która bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo i komfort użytkowania.

Wewnętrzne ściany wypełniające, znane także jako ściany działowe, powinny spełniać przepisowe wymagania dotyczące dźwiękoszczelności i odporności ogniowej. Najczęściej wykonuje się je z bloczków o grubości 8, 12 lub 15 cm. Do wykonania ścian międzylokalowych, z uwagi na wymagania związane z zapewnieniem odpowiedniej izolacyjności akustycznej, wykonuje się ściany o grubości 18, 24, 25 cm.

Ściany z elementów wapienno-piaskowych mogą być stosowane także **poniżej poziomu terenu**. W większości przypadków ściany przewidziane są do stosowania jako elementy zabezpieczone głównie przez zastosowanie hydroizolacji i odpowiedniej izolacji termicznej. Ściany piwniczne i fundamentowe powinny mieć grubość co najmniej 18 cm, stąd też wykonuje się je z bloczków o grubości nie mniejszej niż 18 cm lub typowych silikatowych bloczków fundamentowych.

4.2 Klasy ekspozycji muru

Wojciech Rogala

Możliwość stosowania elementów murowych w zależności od klasy ekspozycji muru określona jest w normie PN-EN 1996-2 [25]. Klasy te określają warunki środowiskowe, na jakie dany element może być narażony podczas użytkowania. Wyróżnione klasy biorą pod uwagę czynniki związane z narażeniem na wilgoć, zamoczenie lub pozostawanie w środowisku suchym, zmiany termiczne związane z cyklicznym zamrażaniem i rozmrażaniem oraz działanie czynników zewnętrznych i

agresywność chemiczną środowiska, w którym dany element murowy się znajduje (Tabela 4.1).

Elementy murowe silikatowe są najczęściej stosowane jako ściany w budynkach wielorodzinnych. Z uwagi na wysoką odporność na korozję chemiczną i biologiczną często też znajdują zastosowanie w obiektach inwentarskich i przemysłowych.

Tabela 4.1. Klasy ekspozycji muru [25]

Klasa	Warunki mikroekspozycji	Możliwość stosowania elementów silikatowych
MX1	W środowisku suchym	Tak
MX2	Narażone na działanie wilgoci lub zamoczenie	Tak
MX2.1	Narażone na działanie wilgoci, nie podlegające cyklicznemu zamrażaniu/rozmarzaniu ani działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów lub agresywnych chemikaliów	
MX2.2	Narażone na silne nawilżanie, nie podlegające cyklicznemu zamrażaniu/rozmarzaniu ani działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów	
MX3	Narażone na działanie wilgoci lub zamoczenie oraz cykliczne zamrażanie/rozmarzanie	Tak, elementy odporne na zamrażanie/rozmarzanie
MX3.1	Narażone na działanie wilgoci lub zamoczenie oraz cykliczne zamrażanie/rozmarzanie, nie podlegające działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów lub agresywnych chemikaliów	
MX3.2	Narażone na silne nawilżanie oraz cykliczne zamrażanie/rozmarzanie, nie podlegające działaniu zewnętrznych czynników o znacznym poziomie siarczanów lub agresywnych chemikaliów	
MX4	Narażone na działanie soli z powietrza, wody morskiej lub soli do odladzania	Tak, po indywidualnej analizie, uwzględniającej stopień narażenia na działanie soli, zawilgocenie i cykliczne zamrażanie/rozmarzanie
MX5	W środowisku chemicznie agresywnym	Możliwe po indywidualnej analizie, uwzględniającej ocenę środowiska i wpływów chemicznych, mając na uwadze stężenie, dopuszczalne ilości i szybkość reakcji

4.3 Cechy silikatowych przegród budowlanych

4.3.1 Odporność ogniowa

Józef Macech

Ważnym zagadnieniem dla budowni inżynierskiej analizowanej pod kątem trwałości w obliczu zagrożenia pożarowego jest odporność ogniowa, zapewniająca bezpieczeństwo obiektów budowlanych lub ich elementów w przypadku wystąpienia pożaru. Zachowanie ścian murowych w warunkach pożarowych zależy od:

- materiału elementów murowych – ceramiki, silikatów, autoklawizowanego betonu komórkowego lub betonu zwykłego albo kruszywowego lekkiego, kamieni sztucznych,
- typu elementu murowego – pełny lub z otworami (rodzaj otworów, udział procentowy uformowanych pustek), grubość ścianek obwodowych i wewnętrznych,
- typu zaprawy: zwykła, do cienkich spoin, lekka,
- stosunku wartości obliczeniowej obciążenia do nośności obliczeniowej ściany,
- smukłości ściany,
- mimośrodowość obciążenia,
- gęstości elementów,
- typu konstrukcji ściany,
- typu i sposobu wykończenia powierzchni.

Odporność ogniowa rozumiana jest jako zdolność do zachowania właściwości użytkowych konstrukcji, czy też elementu budynku, w czasie działania znormalizowanych warunków fizycznych odwzorowujących przebieg pożaru. Miarą odporności ogniowej jest czas podawany w minutach (z użyciem jednej z wartości: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 lub 360) od początku badań do chwili osiągnięcia przez element poddany próbie jednego ze stanów granicznych: nośności, szczelności lub izolacyjności [29].

Nośność ogniowa (R) jest to zdolność elementu konstrukcji do wytrzymania oddziaływania ognia przy określonych oddziaływaniach mechanicznych, na jedną lub więcej powierzchni, przez określony czas, bez utraty właściwości nośnych. Szczelność ogniowa (E) jest zdolnością elementu konstrukcji, który pełni funkcję oddzielającą, do wytrzymania oddziaływania ognia tylko z jednej strony, bez przeniesienia na stronę nienagrzewaną w wyniku przeniknięcia płomieni lub gorących gazów, które mogą spowodować zapalenie albo powierzchni nienagrzewanej, albo jakiegokolwiek materiału będącego w sąsiedztwie tej powierzchni. Z kolei izolacyjność ogniowa (I) jest zdolnością elementu konstrukcji do wytrzymania oddziaływania ognia tylko z jednej strony, bez przeniesienia ognia w wyniku znaczącego przepływu ciepła ze strony nagrzewanej na stronę nienagrzewaną. Przenoszenie powinno być ograniczone tak, aby powierzchnia nienagrzewana ani jakiegokolwiek materiał będący w otoczeniu tej powierzchni nie zapalił się. Element powinien również stanowić barierę dla ciepła, wystarczającą do ochrony ludzi w jego pobliżu.

W ocenie odporności ogniowej brane są pod uwagę również kryteria pomocnicze charakterystyczne dla elementu konstrukcji. Pierwszym z nich jest promieniowanie (W), rozumiane jako zdolność elementu konstrukcji do wytrzymania oddziaływania ognia tylko z jednej strony, tak aby ograniczyć prawdopodobieństwo przeniesienia ognia w wyniku znaczącego wypromieniowania ciepła albo przez element, albo z jego powierzchni nienagrzewanej do sąsiadujących materiałów. Od elementu może być również wymagana ochrona ludzi w pobliżu. Uznaje się, że element, który spełnia kryteria izolacyjności ogniowej I, II lub I2, spełnia również wymagania W przez ten sam okres. Ważnym kryterium pomocniczym jest również odporność na oddziaływanie mechaniczne (M), czyli zdolność elementu konstrukcji do wytrzymania uderzenia, odzwierciedlającego przypadek, gdy zniszczenie konstrukcji innego elementu składowego w pożarze wywołuje uderzenie w odpowiedni element [29]. Innymi kryteriami pomocniczymi są samoczynne zamykanie (C), które dotyczy drzwi i okien, odporność na „pożar sadzy” (G) dotyczący wyrobów kominowych, czy dymoszczelność (S) rozumiana jako zdolność elementu do ograniczenia lub eliminacji przemieszczania się spalin (gazów) lub dymu z jednej strony elementu na drugą. W odniesieniu do okładziny ściennej lub sufitowej oceniana jest również zdolność do zapewnienia przez określony czas, materiałowi znajdującemu się za wykładziną, ochrony przed zapaleniem, zwęgleniem lub innym uszkodzeniem, poprzez określenie zdolności do zabezpieczenia ognioochronnego (K).

Wyroby budowlane, po określeniu klasy ogniowej na podstawie badań i oceny wyników wg norm wspólnych dla wszystkich krajów Unii, powinny być odpowiednio oznaczone na etykiecie. Zgodnie z normą PN-EN 13501-1 w [30] dla wyrobów budowlanych przewidziano siedem podstawowych klas reakcji na ogień: A1, A2, B, C, D, E, F.

Elementy wpływające na klasyfikację ogniową są następujące:

- Najważniejsza jest podstawowa klasa wyrobu, która wskazuje jak (i czy) wyrób przyczynia się do rozwoju pożaru, tzn. jak dużo energii materiał dodaje do ognia.
- Najbezpieczniejszym jest wyrób oznaczony klasą reakcji na ogień A1, a następnie A2 i B. Wyroby znajdujące się w klasach C, D, E oraz F mogą doprowadzać do rozgorzenia, czyli gwałtownego wybuchowego rozprzestrzeniania się ognia, charakteryzującego się skokowym wzrostem temperatury. W związku z tym, ich zastosowanie powinno być, w miarę możliwości, ograniczone.
- Dodatkowe oznaczenie „s” towarzyszące klasie podstawowej, jakie podaje norma [30], oznacza dym (ang. *smoke*). Dym jest przyczyną śmierci 2/3 wszystkich ofiar pożarów, dlatego dobrze jest unikać wszystkich wyrobów wytwarzających intensywny dym, oznaczonych s2 lub s3

- Drugie dodatkowe oznaczenie „d” (ang. *droplets*) przy klasie podstawowej uwzględnia występowanie płonących kropli i/lub odpadów. Powstawanie płonących kropli, czy też odpadów, może prowadzić do przenoszenia pożaru w miejsca odległe od jego źródła.

Załącznik B (normatywny) do normy PN-EN 1996-1-2 [26] zawiera tabelaryczne wartości odporności ogniowej ścian murowanych. Obejmuje on tabele zawierające wartości minimalnych grubości ścian dla spełnienia założeń projektowych, w sytuacjach kombinacji zależności wpływających na ognioodporność muru (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Tabela możliwości kombinacji zagrożeń

A1		
A2-s1,d0	A2-s1,d1	A2-s1,d2
A2-s2,d0	A2-s2,d1	A2-s2,d2
A2-s3,d0	A2-s3,d1	A2-s3,d2
B-s1,d0	B-s1,d1	B-s1,d2
B-s2,d0	B-s2,d1	B-s2,d2
B-s3,d0	B-s3,d1	B-s3,d2
C-s1,d0	C-s1,d1	C-s1,d2
C-s2,d0	C-s2,d1	C-s2,d2
C-s3,d0	C-s3,d1	C-s3,d2
D-s1,d0	D-s1,d1	D-s1,d2
D-s2,d0	D-s2,d1	D-s2,d2
D-s3,d0	D-s3,d1	D-s3,d2
E		
E-d2		
F		

Naturalny skład silikatów sprawia również, że w warunkach wysokich temperatur nie wydzielają one żadnych szkodliwych substancji wpływających na poziom dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia. Z uwagi na brak w ich składzie substancji palnych, zgodnie z Decyzją Komisji Europejskiej 2000/605/WE silikaty klasyfikuje się w najbezpieczniejszej klasie A1 reakcji na ogień (są produktami pochodzenia nieorganicznego i niepalnymi, niewytwarzającymi dymu).

4.3.2 Ochrona przed hałasem

Marek Królikowski

Ochrona przed hałasem jest jednym z siedmiu podstawowych wymagań stawianych budynkom zawartym w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 roku, ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzenia do obrotu wyrobów budowlanych [31]. Wymóg ten jest bezpośrednio zdefiniowany również w krajowych przepisach – ustawa Prawo budowlane [21] oraz rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [20]. Do prawidłowego zaprojektowania budynku pod kątem jak najlepszej ochrony przed hałasem potrzebna jest więc znajomość właściwości akustycznych stosowanych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych ścian.

Potocznie hałas definiuje się jako „dźwięk niepożądany, którego działanie może być uciążliwe lub szkodliwe dla człowieka” [32]. Definicja bardziej doprecyzowana pod kątem analizy zjawisk zachodzących w obiektach budowlanych określa hałas jako wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania ośrodka sprężystego, działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne zmysły oraz elementy organizmu człowieka.

Hałas jest wynikiem pobudzenia drgań powietrza lub materiału. Od dźwięków powietrznych kojarzony jest zwykle z głośnymi rozmowami lub muzyką, natomiast od dźwięków materiałowych – z odgłosem tupania lub wiertarki czy młota pneumatycznego [33].

Normy budowlane określają pięć rodzajów hałasu:

- hałas powietrzny przenikający do pomieszczeń z zewnątrz budynku (zwany także hałasem zewnętrznym);
- hałas wewnętrzny powietrzny wytwarzany przez użytkowników innych pomieszczeń budynku (znany jako hałas bytowy);
- hałas wewnętrzny uderzeniowy, wytwarzany przez użytkowników innych pomieszczeń budynku;
- hałas instalacyjny, wytwarzany przez urządzenia stanowiące techniczne wyposażenie budynku (instalacja wodno-kanalizacyjna, węzły cieplne, wentylacja, szyby dźwigowe);
- hałas pogłosowy, powstający w wyniku odbić fal dźwiękowych od przegród ograniczających dane pomieszczenie.

Wyroby silikatowe stosowane na ściany, najefektywniej uwydatniają swoje właściwości w zakresie hałasu powietrznego wewnętrznego i zewnętrznego.

Istotę zagadnienia ochrony przed hałasem oddaje sformułowanie z rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [20]: „Budynki i urządzenia z nimi związane

powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby poziom hałasu, na który będą narażeni użytkownicy lub ludzie znajdujący się w ich sąsiedztwie, nie stanowił zagrożenia dla ich zdrowia, a także umożliwiał im pracę, odpoczynek i sen w zadowalających warunkach”. Przegrody w budynkach powinny więc być zarówno wykonane z odpowiednich materiałów, jak i we właściwy sposób ze sobą powiązane (np. poprzez sztywne węzły, połączenia strop-ściana).

Podstawowe wymagania w zakresie ochrony przed hałasem i drganiami dotyczące obiektów budowlanych i ich elementów zawarte są w następujących normach:

- PN-B-02151-2:2018-01 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach
- PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych
- PN-B-02171:2017-06 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach
- PN-EN ISO 12354-1:2017-10 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami.
- PN-B-02151-5:2017-10 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 5: Wymagania dotyczące budynków mieszkalnych o podwyższonym standardzie akustycznym oraz zasady ich klasyfikacji.

Izolacyjność akustyczna zależy, przede wszystkim, od parametrów przegrody. Pod pojęciem izolacyjności akustycznej przegrody należy rozumieć odporność na przenikanie dźwięków powietrznych. Parametr ten opisywany jest za pomocą izolacyjności akustycznej właściwej, która stanowi zbiór zmierzonych wartości przy różnych częstotliwościach, zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN ISO 717-1:2013-08 [34]. W praktyce inżynierskiej stosuje się jednolicebne wskaźniki oceny izolacyjności akustycznej, które odpowiadają wartości izolacyjności dla ustalonej częstotliwości 500 Hz stanowiącej wynik uśredniony. Wskaźnik ten jest korygowany w zależności od rodzaju hałasu o widmowe wskaźniki adaptacyjne i stosuje się w stosunku do niego następujący zapis:

$$R_w(C, C_{tr}), [dB]$$

gdzie:

R_w – wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej przegrody wyznaczony w warunkach laboratoryjnych,

C – widmowy wskaźnik adaptacyjny dla średnich i wysokich częstotliwości (np. dla hałasów wewnętrznych bytowych),

C_{tr} – widmowy wskaźnik adaptacyjny przy przewodzie niskich częstotliwości (np. dla hałasów zewnętrznych pochodzących od komunikacji drogowej).

Na podstawie jednolicebowego wskaźnika R_w oraz widmowych wskaźników adaptacyjnych C, C_{tr} wyznacza się wskaźniki oceny izolacyjności akustycznej właściwej:

R_{A1} – wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla przegrody wewnętrznej:

$$R_{A1} = R_w + C, [dB]$$

R_{A2} – wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla przegrody zewnętrznej:

$$R_{A2} = R_w + C_{tr}, [dB]$$

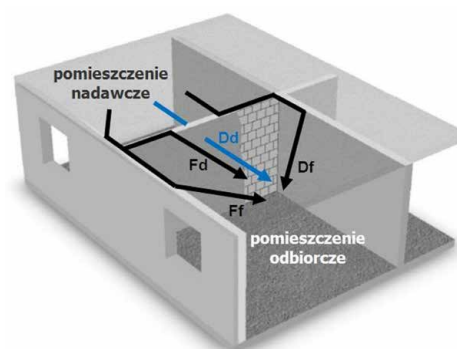
W celu uzyskania projektowych wartości wskaźników, które można porównać z wymaganiami, należy przyjmować dane uzyskane podczas badań laboratoryjnych.

Zgodnie z normą PN-B-02151-3 zaleca się, by przy doborze rodzaju przegród budowlanych na podstawie wskaźników uzyskanych w badaniach wzorców tych przegród, w projektach były przyjmowane wartości tych wskaźników skorygowane o 2 dB. Korekta ta pełni rolę „akustycznego współczynnika bezpieczeństwa” i uwzględnia błędy wykonawcze. Tak uzyskane wyniki są wartościami projektowanymi:

$$R_{A1R} = R_{A1} - 2 [dB]$$

$$R_{A2R} = R_{A2} - 2 [dB]$$

W warunkach rzeczywistych istnieje wiele dróg przenoszenia dźwięku pomiędzy pomieszczeniami. Można wyróżnić przenoszenie bezpośrednie i pośrednie (rys. 4.2).



Rys. 4.2. Drogi przenoszenia dźwięku: Dd – bezpośrednio przez przegrodę dzielącą pomieszczenia, przegroda działowa, Df – pośrednio przez przegrodę działową, węzeł, ścianę boczną, Fd – pośrednio przez ścianę boczną, węzeł, przegrodę działową, Ff – pośrednio przez ścianę boczną, węzeł, ścianę boczną [35]

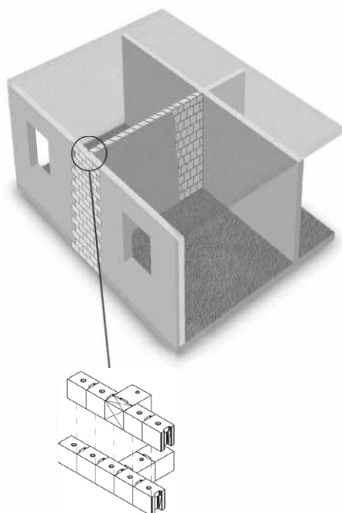
Przenoszenie pośrednie drogą materiałową nazywa się przenoszeniem bocznym – odbywa się głównie przez sąsiadujące ściany i stropy. Z tego względu oprócz korekty wartości laboratoryjnej wprowadzono dodatkowo wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A1} lub R'_{A2} uwzględniający wpływ przenoszenia bocznego K_a .

$$R'_{AI} = R_{AIR} - K_a, [\text{dB}]$$

Ponieważ model obliczeniowy proponowany w normie PN-EN ISO 12354-1 [36] jest złożony, w praktyce stosuje się metodę szacunkową według wzoru zawartego w poradniku ITB [37], zgodnie z którym wartość poprawki K_a zależy od masy sąsiadujących przegród, sposobu ich łączenia (rodzaj węzłów pomiędzy przegrodą działową a bocznymi), długości krawędzi jaką tworzy przegroda działowa z poszczególnymi przegrodami bocznymi.

Wpływ przenoszenia bocznego K_a dobiera się na podstawie tablic dla masywnych ścian wewnętrznych, zamieszczonych w poradniku. Dla danego rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego w tablicach szczegółowo opisano rodzaj ściany zewnętrznej z metodą ocieplenia, ściany bocznej, stropu wraz z ich grubością i długością. Dla większości stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych z zastosowaniem silikatu poprawka K_a wynosi od 1 do 3 dB.

Optymalnym rozwiązaniem jest wykonanie zarówno ściany oddzielającej, jak i zewnętrznej połączonych sztywnym przewiązaniem murarskim (rys. 4.3).



Rys. 4.3. Przewiązanie murarskie [35]

W normie PN-B-02151-3 [38] określono wymagania odnoszące się do izolacyjności akustycznej przegród ze szczegółowym podziałem na:

- budynki wielorodzinne,
- jednorodzinne,
- hotele,
- budynki zakwaterowania turystycznego,
- budynki zamieszkania zbiorowego,
- żłobki i budynki szkolnictwa przedszkolnego,
- szkoły podstawowe i ponadpodstawowe,
- budynki szkół wyższych i placówek badawczych,
- budynki szpitalne i zakładów opieki medycznej,
- budynki biurowe,
- budynki sądów i prokuratur.

Podane wymagania występują w wielu wariantach: dla ściany pełnej i z drzwiami, dla ścian oddzielających pomiędzy klatkami schodowymi, korytarzami i innymi pomieszczeniami itp., aby w jak najpełniejszy sposób opisać występujące w praktyce przypadki. Norma wskazuje również wymaganą izolacyjność akustyczną dla stropów zarówno od dźwięków powietrznych, jak i uderzeniowych. Opisuje również wymagania izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych dla przegród zewnętrznych (tab. 4.3).

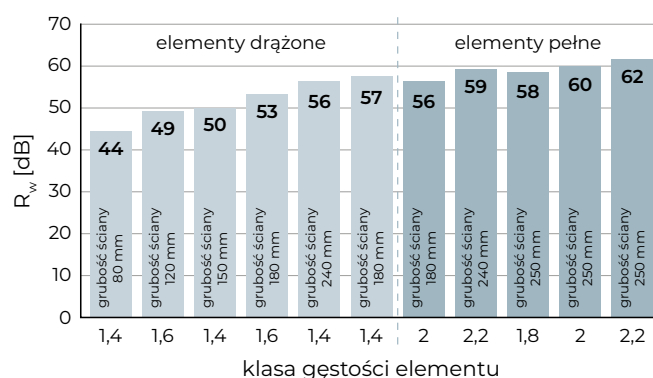
Tabela 4.3. Wymagana izolacyjność akustyczna przegród wewnętrznych – w wybranych przypadkach wg normy PN-B- 02151-3 [38]

Rodzaj przegrody	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika [dB]
2	3	4
Budynki wielorodzinne		
Ściana między mieszkaniami	$R'_{A,I}$	≥ 50
Ściany i drzwi między klatką schodową i/lub korytarzem komunikacji ogólnej		
ściana pełna, bez drzwi	$R'_{A,I}$	≥ 50
ściana z drzwiami, gdy w mieszkaniu znajduje się przedpokój oddzielony drzwiami od pozostałej części mieszkania	$R'_{A,I}$	≥ 30
ściana z drzwiami w sytuacjach innych niż w I.3.2	$R'_{A,I}$	≥ 38
Ściana między mieszkaniem a: garażem, pomieszczeniem technicznym, handlowym, usługowym, salą klubową, kawiarnianą, restauracyjną, w których nie prowadzi się działalności z udziałem muzyki i/lub tańca	$R'_{A,I}^a$	≥ 58
Ściana między mieszkaniem a: salą klubową, kawiarnianą, restauracyjną, w których prowadzi się działalność z udziałem muzyki i/lub tańca	$R'_{A,I}$	≥ 65
Przegrody wewnętrzne w obrębie mieszkania (działowe)		
ściana bez drzwi oddzielająca pokój od pomieszczenia sanitarnego	$R_{A,I,R}$	≥ 38
ściana bez drzwi oddzielająca poszczególne pomieszczenia w mieszkaniu, z wyjątkiem ścian wg 1.7.1	$R_{A,I,R}$	≥ 35
Budynki jednorodzinne		
Ściany między budynkami przy zabudowie bliźniaczej i szeregowej, bez względu na rodzaj pomieszczeń przylegających z obu stron ściany	$R'_{A,I}^a$	≥ 5

Hotele		
Ściana między pokojami hotelowymi oraz między pokojem hotelowym a pomieszczeniem administracyjnym	$R'_{A,I}$	≥ 50
Ściana i drzwi między pokojem hotelowym a obszarem komunikacji ogólnej (korytarze, hole, klatki schodowe)		
ściana bez drzwi oraz część pełna ściany z drzwiami	$R'_{A,I}$	≥ 45
ściana z drzwiami	$R'_{A,I}$	≥ 38
Ściana między pokojem hotelowym a pomieszczeniem ze źródłami zakłóceń akustycznych		
pomieszczeniem handlowym, usługowym	$R'_{A,I}$	≥ 58
salą klubową, kawiarnianą, restauracyjną, w których nie prowadzi się działalności z udziałem muzyki i/lub tańca		
salą klubową, kawiarnianą, restauracyjną, w których prowadzi się działalność z udziałem muzyki i/lub tańca ^d	$R'_{A,I}$	≥ 65
Szkoły podstawowe i ponadpodstawowe		
Ściana między salami lekcyjnymi oraz ściana między pokojami nauczycielskimi	$R'_{A,I}$	≥ 48
Ściana i drzwi między salą lekcyjną a obszarami komunikacji ogólnej (korytarze, hole, klatki schodowe)		
ściana bez drzwi oraz część pełna ściany z drzwiami	$R'_{A,I}$	≥ 48
Budynki szpitalne i zakładów opieki medycznej		
Ściana między salami łóżkowymi w szpitalu		
ściana bez drzwi oraz część pełna ściany z drzwiami	$R'_{A,I}$	≥ 45
Ściana między salą łóżkową a korytarzem lub holem na oddziale szpitalnym		
ściana bez drzwi oraz część pełna ściany z drzwiami	$R'_{A,I}$	≥ 40
Ściana i drzwi między zespołami pomieszczeń operacyjnych w szpitalu a pozostałymi pomieszczeniami w szpitalu		
ściana bez drzwi oraz część pełna ściany z drzwiami	$R'_{A,I}$	≥ 55
Budynki biurowe		
Ściana bez drzwi między pokojami biurowymi oraz ściana między pokojami biurowymi a korytarzem	$R'_{A,I}$	≥ 40 (≥ 35)
Ściana między pokojem do prowadzenia rozmów poufnych (w tym gabinety dyrektorskie) a innymi pomieszczeniami biurowymi lub obszarem komunikacji ogólnej (korytarze, hole, klatki schodowe)		
ściana bez drzwi oraz część pełna ściany z drzwiami	$R'_{A,I}$	≥ 50

Materiały wapienno-piaskowe, dzięki swojej dużej gęstości odznaczają się bardzo dobrą izolacyjnością akustyczną. Z tego względu też są one często wykorzystywane w budownictwie wielomieszkaniowym, jednorodinnym, czy też w budownictwie o podwyższonym standardzie akustycznym. Wyroby te są również odpowiednim materiałem do budowy jednowarstwowych przegród ściennych tzw. masywnych.

Na rysunku 4.4 przedstawiono wskaźniki izolacyjności akustycznej ścian o różnych grubościach, wykonanych z elementów silikatowych o klasach gęstości od 1,4 do 2,2 (zarówno drążonych, jak i pełnych). Wskazane uśrednione wartości zostały uzyskane na podstawie wieloletnich badań akustycznych ścian, prowadzonych przez członków Stowarzyszenia w różnych certyfikowanych jednostkach badawczych.



Rys. 4.4. Izolacyjność akustyczna ścian o różnej grubości w zależności od klasy gęstości elementów silikatowych drążonych i pełnych (na podstawie [39])

4.3.3 Izolacyjność cieplna

Piotr Harassek

Oszczędność energii jest jednym z głównych czynników stosowanych do oceny jakości budynków. Wobec rosnących wymagań prawnych zarówno krajowych, jak i europejskich, odpowiednie projektowanie budynków pod kątem zapotrzebowania na energię jest niezwykle istotne. Elementy murowe silikatowe, pomimo że nie wykazują najwyższych właściwości izolacyjności termicznej, z powodzeniem mogą przyczynić się do oszczędności energii w trakcie użytkowania budynku z uwagi na ich wysoką akumulacyjność ciepłą.

Punktem odniesienia podczas projektowania budynków ze względu na oszczędność energii jest rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (zwane dalej Warunkami Technicznymi) [20]. Najważniejsze wymagania zawarte w Warunkach Technicznych dotyczą całkowitego zapotrzebowania całego budynku na energię pierwotną oraz dopuszczalnych współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych.

Zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną uwzględnia zużycie energii do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i przygotowania ciepłej wody oraz oświetlenia, przy czym uwzględnienie zapotrzebowania na energię do oświetlenia wymagane jest w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych. Określa się je za pomocą współczynnika EP , obliczanego według wzoru:

$$EP = \frac{Q_p}{A_f}, \left[\text{kWh/m}^2 \cdot \text{rok} \right]$$

gdzie:

EP – wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną,

Q_p – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych,

A_f – łączna powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze (ogrzewanych lub chłodzonych).

Wpływ zużycia energii do ogrzewania i wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody oraz oświetlenia uwzględnia się we wzorze:

$$Q_p = Q_{p,H} + Q_{p,W} + Q_{p,C} + Q_{p,L}, \left[\text{kWh/rok} \right]$$

Wartość poszczególnych wskaźników $Q_{p,i}$ oblicza się według zasad opisanych w Rozporządzeniu w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej [40]. Wskaźniki te uwzględniają m.in. izolacyjność termiczną przegród zewnętrznych i wewnętrznych rozdzielających pomieszczenia o różnej temperaturze, w tym występowanie mostków termicznych.

Zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną nie powinno przekraczać wartości maksymalnej, obliczanej każdorazowo pod kątem konkretnego obiektu. W celu wyznaczenia wartości maksymalnej należy posługiwać się wzorem:

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L, \left[\text{kWh} / \left(\text{m}^2 \cdot \text{rok} \right) \right]$$

gdzie:

EP_{H+W} – wskaźnik zapotrzebowania na energię na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej,

ΔEP_C – wskaźnik zapotrzebowania na energię na potrzeby chłodzenia,

ΔEP_L – wskaźnik zapotrzebowania na energię na potrzeby oświetlenia (jeśli wymagany).

Wartość poszczególnych wskaźników składowych (wartości cząstkowe wskaźnika EP) przyjmuje się zależnie od rodzaju budynku na podstawie wytycznych zawartych w Warunkach Technicznych. Zestawienie tych wartości podano w tabeli 4.4.

Tabela 4.4. Wartości cząstkowe wskaźnika EP , zależnie od rodzaju zapotrzebowania i rodzaju budynku, przyjmowane do wyznaczenia wartości maksymalnego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną [20]

Rodzaj budynku	Cząstkowe wartości wskaźnika EP [kWh/(m ² rok)] na potrzeby		
	ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody EP_{H+W}	chłodzenia*) ΔEP_c	oświetlenia ΔEP_L w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t_0
Budynek mieszkalny: a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$EP_{H+W} = 70$ $EP_{H+W} = 65$	$\Delta EP_c = 5 \cdot A_{f,c} / A_f$	$\Delta EP_L = 0$
Budynek zamieszkania zbiorowego	$EP_{H+W} = 75$	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,c} / A_f$	$\Delta EP_L = 25$, dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$, dla $t_0 \geq 2500$
Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej b) pozostałe	$EP_{H+W} = 190$ $EP_{H+W} = 45$		
Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	$EP_{H+W} = 70$		

A_f – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (ogrzewana lub chłodzona), określona zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 15 ustawy z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków [m²],

$A_{f,c}$ – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (chłodzona), określona zgodnie z ww. przepisami [m²].

Przyjmuje się, że w przypadku budynku, w którym występują różne funkcje użytkowe, wyznacza się maksymalną wartość wskaźnika EP całego obiektu jako średnią ważoną. Wagę w tym przypadku jest łączna powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze, znajdujących się w obrębie jednolitej funkcji użytkowej

$$EP = \frac{\sum_i (EP_i \cdot A_{f,i})}{\sum_i A_{f,i}}$$

gdzie:

EP_i – wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP dla części budynku o jednolitej funkcji użytkowej,

$A_{f,i}$ – łączna powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze (ogrzewanych lub chłodzonych) znajdujących się w obrębie jednolitej funkcji użytkowej.

Drugim najważniejszym kryterium energooszczędności budynków jest współczynnik przenikania ciepła przegród budynku U . Wymagania te dotyczą zarówno powłoki zewnętrznej, w tym okien i drzwi, jak i elementów wewnątrz budynku rozdzielających pomieszczenia o (potencjalnie) różnej temperaturze powietrza. Do wielkości charakteryzujących izolacyjność cieplną przegrody należy również współczynnik oporu cieplnego.

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła U przegród, a także ich oporu cieplnego R , należy wykonywać zgodnie normą PN-EN ISO 6946 [41], która określa sposoby wyznaczania izolacyjności przegród składających się z warstw jedno- jak i niejednorodnych.

W obliczeniu całkowitego oporu cieplnego R_T przegrody należy uwzględnić opór przypowierzchniowych warstw powietrza, tzw. opór przejmowania ciepła. Jego występowanie wynika z zachodzących przy powierzchni przegrody zjawisk konwekcji i promieniowania. Ich natężenie i wpływ na izolacyjność termiczną zależny jest od kierunku transmisji ciepła przez przegrodę oraz jej ułożenia (tab. 4.5).

Tabela 4.5. Wartość współczynników oporu przejmowania ciepła w zależności od kierunku strumienia ciepła wg normy PN-EN ISO 6946 [41]

Opór przejmowania ciepła	Kierunek strumienia ciepła		
	poziomy (przegroda pionowa)	w górę (przegroda pozioma)	w dół (przegroda pozioma)
R_{si} po stronie wewnętrznej [(m ² ·K)/W]	0,13	0,10	0,17
R_{se} po stronie zewnętrznej [(m ² ·K)/W]	0,04	0,04	0,04

W praktyce przegrody z warstw jednorodnych występują dość rzadko, jednak dla uproszczenia obliczeń w części przypadków warstwy niejednorodne traktuje się jak jednorodne, pomijając wpływ niektórych elementów. Przykładem tego typu warstwy jest mur z elementów o ograniczonej izolacyjności termicznej, w którym o jego niejednorodności decyduje występowanie zaprawy murarskiej. W praktyce jednak zaprawa ta charakteryzuje się izolacyjnością termiczną zbliżoną do samych elementów.

*) Jeżeli budynek posiada instalację chłodzenia, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_c = 0$ kWh $\Delta EP_c = 0$ kWh/(m² · rok).

Przyjmując za powyższy przykład mur silikatowy o grubości 24 cm, z elementów drążonych na zaprawie do cienkich spoin, oraz stosując zapisy normy PN-EN ISO 6946 [41], wykazać można niewielką różnicę pomiędzy oporem cieplnym obliczonym zarówno dla przegród jednorodnych jak i dla przegród niejednorodnych. Z drugiej strony, przegrody takie jak np. drewniana więźba dachowa z wełną mineralną pomiędzy krokwiami, wymagają zastosowania rzetelnego podejścia i obliczeń dla przegród niejednorodnych.

Zależność pomiędzy oporem cieplnym a przenikaniem ciepła jest odwrotnie proporcjonalna:

$$U = \frac{1}{R_t}, \left[W / (m^2 \cdot K) \right]$$

gdzie:

U – współczynnik przenikania ciepła, $[W/(m^2 \cdot K)]$,

R_t – całkowity opór cieplny przegrody, w tym opór przejmowania ciepła, $[(m^2 \cdot K)/W]$.

W tabeli 4.6 zestawiono wymagania zawarte w załączniku 2 do Warunków Technicznych. Należy przy tym zwrócić uwagę, że wymagania te (w szczególności dotyczące przegród nieprzeziernych) odnoszą się do wskaźników przenikania ciepła U bez uwzględnienia potencjalnych mostków termicznych. Wynika to z faktu, że występowanie mostków termicznych jest zależne od wielu czynników związanych z samym budynkiem (jego geometrią, konstrukcją, itp.), nie zaś z przegrodami. Z tego powodu wpływ mostków uwzględnia się podczas obliczeń rzeczywistego wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną, a także pośrednio podczas obliczeń dotyczących ryzyka powierzchniowej kondensacji pary wodnej.

Tabela 4.6. Wymagana maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła U elementów budynku [20]

Rodzaj przegrody/elementu budynku	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(max)}$ $[W/(m^2 \cdot K)]$
Ściany	
Ściany zewnętrzne:	
przy $t_i \geq 16^\circ C$	0,20
przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$	0,45
przy $t_i < 8^\circ C$	0,90
Ściany wewnętrzne:	
przy $\Delta t_i \geq 8^\circ C$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy	1,00
przy $\Delta t_i < 8^\circ C$	bez wymagań
oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,30

Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości:	
do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm	1,1
powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	0,70
Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych.	bez wymagań
Dachy i stropy	
Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami:	
przy $t_i \geq 16^\circ C$	0,15
przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$	0,30
przy $t_i < 8^\circ C$.	0,70
Podłogi na gruncie:	
przy $t_i \geq 16^\circ C$	0,30
przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$	1,20
przy $t_i < 8^\circ C$	1,50
Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi:	
przy $t_i \geq 16^\circ C$	0,25
przy $8^\circ C \leq t_i < 16^\circ C$	0,30
przy $t_i < 8^\circ C$	1,00
Stropy nad ogrzewanymi kondygnacjami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne:	
przy $\Delta t_i \geq 8^\circ C$	1,00
przy $\Delta t_i < 8^\circ C$	bez wymagań
oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,25
Okna i drzwi	
Okna (z wyjątkiem okien połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne:	
przy $t_i \geq 16^\circ C$	0,9
przy $t_i < 16^\circ C$	1,4
Okna połaciowe:	
przy $t_i \geq 16^\circ C$	1,1
przy $t_i < 16^\circ C$	1,4
Okna w ścianach wewnętrznych:	
przy $\Delta t_i \geq 8^\circ C$	1,1
przy $\Delta t_i < 8^\circ C$	bez wymagań
oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,1
Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi	1,3
Okna i drzwi zewnętrzne w przegrodach zewnętrznych pomieszczeń nieogrzewanych	bez wymagań

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia [6],

t_i – temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia o Warunkach Technicznych,

Δt_i – różnica pomiędzy temperaturą dwóch pomieszczeń ogrzewanymi.

Obok podstawowych, najczęściej rozpatrywanych wymagań dotyczących oszczędności energii, omówionych powyżej, podczas projektowania budynku należy również zwrócić uwagę na inne wymagania zawarte w rozporządzeniu [20]. Wymagania te dotyczą:

- minimalnej obwodowej izolacji termicznej podłogi na gruncie – opór cieplny warstwy materiału izolacyjnego powinien wynosić co najmniej $R = 2,00 [(m^2 \cdot K)/W]$;
- minimalnej izolacji termicznej przewodów i elementów instalacji ogrzewczych, chłodzących i ciepłej wody użytkowej – zależnie od typu elementu, jego wymiarów i/lub sposobu jego ułożenia w budynku;
- maksymalnej wartości współczynnika g przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego przegród przeziernych w okresie letnim;
- minimalnej wartości współczynnika temperaturowego $f_{RSi,min}$ określającego ryzyko wystąpienia kondensacji pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegród budynku – przy czym wartość minimalną należy określić na podstawie normy PN-EN ISO 13788 [42] lub przyjąć jako równą 0,72, w przypadku obiektów mieszkalnych i użyteczności publicznej. Warunek $f_{RSi} \geq f_{RSi,min}$ należy przy tym sprawdzić wobec zarówno przegród, jak i mostków termicznych;
- szczelności przegród na przenikanie powietrza – w budynkach z wentylacją grawitacyjną lub wentylacją hybrydową powinna ona wynosić $n_{50} < 3,0$ 1/h, zaś w budynkach z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją – $n_{50} < 1,5$ 1/h.

Poprawnie zaprojektowany budynek charakteryzuje się w tym samym stopniu ogólnie wysoką izolacyjnością termiczną i niskim zapotrzebowaniem na energię, oraz równomiernością strat ciepła przez poszczególne elementy. Oznacza to, że izolacyjność cieplna poszczególnych przegród lub ich fragmentów nie powinna odbiegać od izolacyjności elementów sąsiadujących. W przeciwnym razie wystąpić mogą tzw. mostki termiczne.

Występowanie mostków termicznych, obok oczywistego obniżenia komfortu cieplnego, powodować mogą kondensację pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegród oraz podnoszą ryzyko rozwoju pleśni. Najlepszym sposobem na uniknięcie tych zjawisk jest zidentyfikowanie potencjalnych mostków na etapie projektowania oraz przewidzenie odpowiednich środków zapobiegawczych.

Identyfikacji mostków termicznych oraz oceny potencjalnych skutków ich występowania dokonać można na dwa podstawowe sposoby. Po pierwsze, możliwe jest obliczenie dodatkowych strat ciepła ze względu na występowanie mostka termicznego. Straty te oblicza się w oparciu o zalecenia normy EN ISO 10211-1 [43] i wyraża za pomocą wskaźników liniowych ψ $[W/(m \cdot K)]$ lub punktowych χ $[W/K]$ strat ciepła. W przypadku prostych (o nieskomplikowanej geometrii) mostków liniowych, możliwe jest obliczenie współczynnika strat ciepła za pomocą prostych narzędzi i zasad. Wobec mostków o bardziej skomplikowanej geometrii, a także mostków punktowych, konieczne jest zastosowanie

numerycznych metod obliczeniowych, modelujących przepływ energii cieplnej w wielu kierunkach jednocześnie.

Drugim sposobem oceny mostków termicznych jest obliczenie współczynnika temperatury f_{RSi} na wewnętrznej powierzchni w miejscu ich występowania. Obliczenia te wykonuje się na podstawie normy EN ISO 13788 [42]. Podobnie jak w sytuacji obliczeń strat ciepła, przypadki skomplikowane pod względem geometrii i układu warstw możliwe są do rzetelnej oceny jedynie przy użyciu symulacji komputerowych.

Większość dostępnych narzędzi symulacyjnych oferuje możliwość obliczenia obu wartości jednocześnie. Do zadań użytkownika (projektanta) należy zatem odpowiednie zamodelowanie rozpatrywanego detalu, z uwzględnieniem wszystkich warstw mogących mieć wpływ na przenikanie ciepła oraz przewidywanego zasięgu oddziaływania samego mostka termicznego.

Z punktu widzenia przyszłego użytkownika ważniejszym parametrem jest współczynnik temperaturowy f_{RSi} . Wynika to z faktu, że objawy zbyt niskiej wartości f_{RSi} będą zauważalne dość wyraźnie w postaci miejscowego wychłodzenia na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz rozwoju zarodników pleśni.

Istnieje kilka podstawowych metod zabezpieczania przed mostkami termicznymi po ich zidentyfikowaniu na etapie projektu. Najprostszą jest odpowiedni dobór rozwiązań materiałowych. Częstą praktyką jest bowiem projektowanie zastosowania różnych materiałów w tej samej przegrodzie, np. żelbetowych filarów w murach silikatowych, stalowych elementów w ścianach osłonowych itd. Z oczywistych przyczyn rozwiązania takie będą generować ryzyko występowania mostków termicznych. Należy zatem zwrócić szczególną uwagę, czy taki sposób rozwiązania problemów np. konstrukcyjnych, jest na pewno konieczny. W części przypadków może okazać się to niemożliwe do uniknięcia. Wówczas należy przewidzieć umieszczenie dodatkowych warstw ocieplenia w miejscach potencjalnie osłabionych termicznie. Warto przy tym rozpatrzyć wpływ, jaki może mieć umieszczenie izolacji zarówno po stronie zewnętrznej, jak i wewnętrznej przegrody. Ocieplenie znajdujące się przy wewnętrznej powierzchni, pozytywnie wpłynie na współczynnik f_{RSi} . Może być to jednak rozwiązanie niewystarczająco chroniące przed stratą ciepła w przypadku innego układu warstw w pozostałej części przegrody.

Ochrona budynku przed nadmiernym zużyciem energii w okresie zimowym związana jest, przede wszystkim, z ograniczeniem strat ciepła. Straty te najczęściej są rezultatem konwekcji w procesie wentylacji oraz przenikania energii cieplnej przez przegrody budynku.

Dopuszczalne straty ciepła budynku na drodze przenikania określone są w załączniku 2 do Warunków Technicznych [20]. W przypadku ścian zewnętrznych spełnienie tych wymagań wiąże się zazwyczaj z koniecznością wykonania warstwy ocieplenia o grubości co najmniej 16-20 cm (zależnie od materiału zastosowanego do wykonania konstrukcji nośnej).

Coraz częściej jednak budynki wykonywane są w standardzie wyższym niż wymagania określone prawnie. Wówczas grubość warstwy zewnętrznego ocieplenia wynosi od 20 cm nawet do 30 cm. Przy typowo stosowanej konstrukcji nośnej o grubości 24 cm oznacza to nierzadko, że łączna grubość ścian zewnętrznych przekracza 50 cm. Poza oczywistym zwiększeniem izolacyjności termicznej, podejście to niesie ze sobą również kilka negatywnych konsekwencji.

Grubsza konstrukcja ścian wpływa negatywnie na dostęp światła dziennego (słonecznego) do wnętrza budynku. W efekcie pomieszczenia mogą być gorzej doświetlone niż w przypadku analogicznego budynku o cieńszych przegrodach. Z tego samego powodu mniejsze będą również zyski energii cieplnej od promieniowania słonecznego. Aby zrównoważyć ten efekt konieczne byłoby zwiększenie powierzchni przegród przeziernych (szklenia), co oznaczałoby jednak zwiększenie powierzchni o mniejszej izolacyjności termicznej. Odpowiedni dobór proporcji powierzchni okien i przegród pełnych powinien wynikać zatem każdorazowo z analizy geometrii budynku i jego usytuowania względem słońca.

Zwiększona grubość ścian oznacza również, że przy tej samej powierzchni użytkowej konieczne jest zwiększenie powierzchni zabudowy. Może to mieć znaczenie w przypadku projektowania budynku pośród gęstej zabudowy istniejącymi obiektami. Zależnie od wielkości budynku, negatywny wpływ zwiększonej grubości ścian zewnętrznych na powierzchnię użytkową/zabudowy może wynieść od 3% do 10%.

Wyzwaniem staje się zatem takie zaprojektowanie budynku, aby uzyskać maksymalny komfort jego użytkowania, utrzymując odpowiednią efektywność energetyczną. Mury silikatowe wykazują się wysoką wytrzymałością na ściskanie, pozwalającą na projektowanie i wznoszenie ścian konstrukcyjnych o mniejszej grubości niż w przypadku innych materiałów. W budynkach jednorodzinnych z powodzeniem można stosować ściany silikatowe o grubości nawet 15 cm. W obiektach wielorodzinnych czy użyteczności publicznej, coraz częściej spotyka się mury o grubości 18 cm, zamiast typowej 24 cm. W tabeli 4.7 przedstawiono zestawienie wskaźników przenikania ciepła ścian silikatowych w połączeniu z typowymi wariantami izolacji termicznej.

Tabela 4.7. Izolacyjność termiczna ścian silikatowych z ociepleniem w zależności od materiału izolacyjnego i grubości warstw ocieplenia i muru

Mur z elementów silikatowych			współczynnik przenikania ciepła U ściany z ociepleniem, W/(m²·K)			
rodzaj elementu silikatowego	grubość muru	opór cieplny muru (m²·K)/W	grubość materiału izolacyjnego			
			15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
			materiał izolacyjny, λ ≈ 0,043 W/(m·K)			
drażony, o gęstości ok. 1400 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,50 W/(m·K)	15 cm	0,30	0,25	0,20	0,16	0,13
	18 cm	0,36	0,25	0,19	0,16	0,13
	24 cm	0,48	0,24	0,19	0,15	0,13
drażony, o gęstości ok. 1600 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,61 W/(m·K)	15 cm	0,25	0,26	0,20	0,16	0,14
	18 cm	0,30	0,25	0,20	0,16	0,13
	24 cm	0,39	0,25	0,19	0,16	0,13
drażony, o gęstości ok. 1800 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,80 W/(m·K)	15 cm	0,19	0,26	0,20	0,16	0,14
	18 cm	0,23	0,26	0,20	0,16	0,14
	24 cm	0,30	0,25	0,20	0,16	0,13
drażony, o gęstości ok. 2000 kg/m³, λ10,dry ≈ 1,00 W/(m·K)	15 cm	0,15	0,26	0,20	0,16	0,14
	18 cm	0,18	0,26	0,20	0,16	0,14
	24 cm	0,2	0,26	0,20	0,16	0,14
			materiał izolacyjny, λ ≈ 0,040 W/(m·K)			
drażony, o gęstości ok. 1400 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,50 W/(m·K)	15 cm	0,30	0,24	0,18	0,15	0,13
	18 cm	0,36	0,23	0,18	0,15	0,12
	24 cm	0,48	0,23	0,18	0,14	0,12
drażony, o gęstości ok. 1400 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,61 W/(m·K)	15 cm	0,25	0,24	0,18	0,15	0,13
	18 cm	0,30	0,24	0,18	0,15	0,13
	24 cm	0,39	0,23	0,18	0,15	0,12
drażony, o gęstości ok. 1800 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,80 W/(m·K)	15 cm	0,19	0,24	0,19	0,15	0,13
	18 cm	0,23	0,24	0,19	0,15	0,13
	24 cm	0,30	0,24	0,18	0,15	0,13
drażony, o gęstości ok. 2000 kg/m³, λ10,dry ≈ 1,00 W/(m·K)	15 cm	0,15	0,25	0,19	0,15	0,13
	18 cm	0,18	0,24	0,19	0,15	0,13
	24 cm	0,24	0,24	0,18	0,15	0,13
			materiał izolacyjny, λ ≈ 0,037 W/(m·K)			
drażony, o gęstości ok. 1400 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,50 W/(m·K)	15 cm	0,30	0,22	0,17	0,14	0,12
	18 cm	0,36	0,22	0,17	0,14	0,12
	24 cm	0,48	0,21	0,17	0,14	0,11
drażony, o gęstości ok. 1400 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,61 W/(m·K)	15 cm	0,25	0,22	0,17	0,14	0,12
	18 cm	0,30	0,22	0,17	0,14	0,12
	24 cm	0,39	0,22	0,17	0,14	0,12
drażony, o gęstości ok. 1800 kg/m³, λ10,dry ≈ 0,80 W/(m·K)	15 cm	0,19	0,23	0,17	0,14	0,12
	18 cm	0,23	0,22	0,17	0,14	0,12
	24 cm	0,30	0,22	0,17	0,14	0,12
drażony, o gęstości ok. 2000 kg/m³, λ10,dry ≈ 1,00 W/(m·K)	15 cm	0,15	0,23	0,17	0,14	0,12
	18 cm	0,18	0,23	0,17	0,14	0,12
	24 cm	0,24	0,22	0,17	0,14	0,12

Ochrona cieplna budynku w okresie letnim różni się od okresu zimowego. Wynika to nie tylko z oczywistej różnicy temperatury zewnętrznej, ale przede wszystkim z charakteru obciążenia termicznego. Latem przegrzewanie budynków wynika głównie z bezpośredniej ekspozycji na promieniowanie słoneczne, a w mniejszym stopniu z przenikania energii cieplnej zgromadzonej w masie powietrza.

W efekcie latem znaczenie ma, przede wszystkim, bezwładność termiczna przegród. Jest to właściwość wynikająca z masywności przegród, ich izolacyjności termicznej, a także układu warstw.

Częstym parametrem, wykorzystywanym przy ocenie przegród pod kątem ochrony cieplnej latem, jest ich pojemność (akumulacyjność) cieplna oraz czas oddawania ciepła. Pierwszy parametr (pojemność cieplna Q) jest bardzo łatwy do wyznaczenia, ponieważ odnosi się jedynie do gęstości materiałów oraz grubości poszczególnych warstw. Pozwala on jednak tylko na poglądową ocenę, ponieważ nie uwzględnia funkcji czasu. Wyznaczany jest za pomocą wzoru:

$$Q = c \cdot \rho \cdot d$$

gdzie:

Q – powierzchniowa pojemność cieplna warstwy przegrody, [J/(m²·K)],

c – ciepło właściwe materiału, z którego wykonano warstwę przegrody, [J/(kg·K)],

ρ – gęstość materiału, z którego wykonano warstwę przegrody, [kg/m³],

d – grubość warstwy przegrody, [m].

Dokładniejszym parametrem jest pod tym względem tzw. czas oddawania ciepła (t_A). Uwzględnia on jednocześnie wpływ masywności warstwy przegrody oraz jej izolacyjność.

$$t_A = \frac{c \cdot \rho \cdot d^2}{\lambda}$$

gdzie:

t_A – czas oddawania ciepła, [s],

c – ciepło właściwe materiału, z którego wykonano warstwę przegrody, [J/(kg·K)],

ρ – gęstość materiału, z którego wykonano warstwę przegrody, [kg/m³],

d – grubość warstwy przegrody, [m],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła, [W/(m·K)].

Powyższa wartość odnosi się do pojedynczej warstwy materiału. W przypadku przegród wielowarstwowych bardziej odpowiednim parametrem będzie wskaźnik utrzymania ciepła obliczany przy założeniu przekazywania energii cieplnej do wewnątrz.

$$W = 0,278 \cdot \left[A_1 \cdot \left(\frac{1/2 d_1}{\lambda_1} + \sum_2^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{si} \right) + A_2 \cdot \left(\frac{1/2 d_2}{\lambda_2} + \sum_3^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{si} \right) + \dots + A_n \cdot \left(\frac{1/2 d_n}{\lambda_n} + R_{si} \right) \right]$$

gdzie:

W – wskaźnik utrzymania ciepła, [s],

A_i – wskaźnik akumulacji cieplnej i -tej warstwy przegrody, $A_i = c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot t_{i, sr}$, [J/m²],

c_i – ciepło właściwe materiału, z którego wykonano warstwę przegrody, [J/(kg·K)],

ρ_i – gęstość materiału, z którego wykonano warstwę przegrody, [kg/m³],

d_i – grubość warstwy przegrody, [m],

$t_{i, sr}$ – średnia temperatura warstwy przegrody, [K],

λ_i – współczynnik przewodzenia ciepła, [W/(m·K)],

R_{si} – opór przejmowania ciepła, [(m²·K)/W].

5. PROJEKTOWANIE ŚCIAN Z SILIKATÓW

WOJCIECH ROGALA, JOANNA NOWACZYK, ROBERT JANIĄK

Nośność i stateczność jest pierwszym zdefiniowanym i podstawowym wymaganiem stawianym budynkom i częściom budynków przez załącznik I do Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 [31]. Takie ustawienie kryterium jest jednoznacznym podkreśleniem jego wysokiego znaczenia. Nośność i stateczność obiektu to gwarancja bezpieczeństwa. Aby dokładnie zrozumieć to podstawowe wymaganie, w treści 305/2011 (CPR) [31] można odnaleźć jego rozszerzenie: „Obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby obciążenia mogące na nie działać podczas ich budowy i użytkowania nie prowadziły do:

- zaważenia się całego obiektu budowlanego lub jego części;
- znacznych odkształceń o niedopuszczalnym stopniu;
- uszkodzenia innych części obiektów budowlanych, urządzeń lub zamontowanego wyposażenia w wyniku znacznych odkształceń elementów nośnych konstrukcji;
- uszkodzenia na skutek wypadku w stopniu nieproporcjonalnym do wywołującej go przyczyny”.

Elementy wapienno-piaskowe, dzięki swojej zwartej strukturze wewnętrznej i wysokiej gęstości, charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi,

dlatego chętnie wykorzystywane są do wznoszenia przegród murowych nawet wymagających inwestycji. Zagadnienie nośności i stateczności przegród wykonanych z silikatów opisuje norma PN-EN 1996-1-1 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych. [24], której 6 rozdział dotyczy stanu granicznego nośności. Jednakże trudno jest zrozumieć zagadnienie nośności bez dokładnego zrozumienia, czym są parametry wytrzymałościowe muru, jakie parametry rozróżniamy i jak można je obliczyć.

Wśród podstawowych parametrów wytrzymałościowych muru wyróżnia się:

- wytrzymałość muru na ściskanie,
- wytrzymałość muru na ścinanie,
- wytrzymałość muru na zginanie,
- odkształcalność muru.

Ściany wymiaruje się z uwagi na działające obciążenia na podstawie norm PN-EN 1996 (Eurokod 6) tak, aby nie zostały przekroczone stany graniczne nośności i użytkowości. Z uwagi na parametry należy rozróżnić grupę elementów murowych, kategorię oraz rodzaj i wytrzymałość zastosowanej zaprawy oraz klasę wykonywania robót.

5.1 Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość elementów murowych na ściskanie ma wpływ na trwałość i bezpieczeństwo konstrukcji [44]. Mówiąc o elementach murowych, można się spotkać z różnymi wartościami wytrzymałości na ściskanie. Karty produktowe, czy też deklaracje właściwości użytkowych, podają klasę wytrzymałości na ściskanie elementu murowego (znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie – f_b). Dla silikatów najpopularniejszymi klasami wytrzymałości na ściskanie są klasy 15, 20 oraz 25 MPa, natomiast warto podkreślić, iż produkowane są również klasy wyższe, dochodzące do 40 MPa. Inną wartość natomiast otrzymuje się, obliczając wytrzymałość charakterystyczną, czy też wyznaczaną na jej podstawie obliczeniową wytrzymałość muru na ściskanie.

Charakterystyczną wytrzymałość muru na ściskanie należy ustalić na podstawie załącznika krajowego NA do normy PN-EN 1996-1-1 [24].

Dla murów wykonanych na zaprawie do cienkich spoin charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie wyznacza się z zależności:

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

gdzie:

f_k – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie, [N/mm²],

f_b – charakterystyczna wytrzymałość elementu murowego na ściskanie, [N/mm²],

K – współczynnik zależny od grupy elementów murowych oraz rodzaju użytej zaprawy.

Wytrzymałość muru na ściskanie jest zatem niezależna od klasy użytej zaprawy do cienkich spoin.

Dla murów wykonanych na zaprawie do ogólnego przeznaczenia wytrzymałość na ściskanie wyznacza się z zależności:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3}$$

gdzie:

f_k – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie [N/mm²],

f_b – charakterystyczna wytrzymałość elementu murowego na ściskanie [N/mm²],

f_m – charakterystyczna wytrzymałość zaprawy na ściskanie [N/mm²],

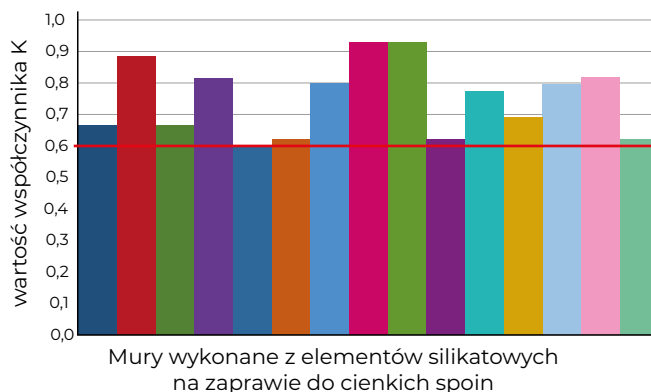
K – współczynnik zależny od grupy elementów murowych oraz rodzaju użytej zaprawy, wyznaczany na podstawie danych przedstawionych w tabeli 5.1.

Tabela 5.1. Wartości współczynnika K dla elementów silikatowych [24]

Grupa konstrukcyjna elementów murowych	Wartość współczynnika K	
	Zaprawa do cienkich spoin	Zaprawa zwykła (ogólnego przeznaczenia)
Grupa 1	0,60	0,45
Grupa 2	0,45	0,40

Dla silikatów grupę konstrukcyjną można odnaleźć na deklaracji właściwości użytkowych. Ponadto zdecydowana większość produktów znajdujących się na rynku to elementy Grupy 1.

Mówiąc o współczynniku K dla silikatów, warto wspomnieć jeszcze o zmianie jego wartości w różnych wydaniach normy PN-EN 1996-1-1 [24]. W pierwszej wersji, dla elementów silikatowych grupy 1 łączonych z użyciem zaprawy do cienkich spoin, norma podawała wartość współczynnika K wynoszącą 0,55. Na zlecenie polskich producentów silikatów, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej przeprowadził kompleksowe badania, których celem było określenie rzeczywistej wartości współczynnika K dla murów wykonanych z elementów silikatowych Grupy 1 i zaprawy do cienkich spoin. Do badań wykorzystano 14 typów elementów murowych dostarczonych przez 12 producentów. Wyniki badań (rys. 5.1) wykazały minimalną wartość współczynnika K wynoszącą 0,60, maksymalną 0,94 oraz wartość średnią równą 0,74. Badania te stały się podstawą do podwyższenia normowej wartości współczynnika K z 0,55 na 0,60, wprowadzonego w Załączniku krajowym do PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05 w Tabeli NA.5, poprawką Ap2:2014-09, opublikowaną 26 września 2014 r. Otrzymane wyniki badań zawarto w raporcie pt.: *Kompleksowe badania murów z elementów silikatowych*.



Rys. 5.1. Prezentacja wyników badań zawartych w raporcie [45]

Obliczeniową wytrzymałość muru na ściskanie wyznacza się z zależności uwzględniającej współczynnik bezpieczeństwa, którego wartość zależy od rodzaju zaprawy, kategorii elementów murowych oraz kategorii wykonania robót na budowie:

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

gdzie:

f_k – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie, [N/mm²],

f_d – obliczeniowa wytrzymałość muru na ściskanie, [N/mm²],

γ_m – współczynnik bezpieczeństwa, wyznaczony według danych zawartych w tabeli 5.2

Tabela 5.2. Współczynniki bezpieczeństwa do wyznaczania obliczeniowych wartości wytrzymałości muru [24]

Materiał			γ_m	
			Klasa wykonania robót	
			A	B
A	Mury wykonane z elementów murowych kategorii I, zaprawa projektowana	Ściany grubości $t > 150 \text{ mm}^1$)	1,7	2,0
B	Mury wykonane z elementów murowych kategorii I, zaprawa przepisana		2,0	2,2
C	Mury wykonane z elementów murowych kategorii II, dowolna zaprawa		2,2	2,5

¹⁾ Gdy współczynnik zmienności dla kategorii II elementów murowych jest nie większy niż 25 %.

^{d)} Dla ścian grubości $150 \text{ mm} \geq t \geq 100 \text{ mm}$:

- wykonanych z elementów murowych kategorii I i zaprawy projektowanej, pod nadzorem odpowiadającym klasie A wykonania robót – $\gamma_m = 2,5$;
- w pozostałych przypadkach – $\gamma_m = 2,7$

W odniesieniu do określeń zawartych w tabeli 5.2 należy zaznaczyć, że zgodnie z zapisami norm PN-EN 998-2 [46] oraz PN-EN 1996-2 [25], zaprawa przepisana to zaprawa wykonana według wcześniej określonej receptury, której właściwości wynikają z ustalonej proporcji składników (zaprawa o określonym składzie, przygotowywana na miejscu budowy), natomiast zaprawa projektowana to zaprawa, której skład i metoda wytwarzania zostały ustalone przez producenta w celu uzyskania wymaganych właściwości (jest to zaprawa o określonych właściwościach, przygotowywana fabrycznie).

Zgodnie z normą PN-EN 771-2 [16], kategoria I elementów silikatowych obejmuje elementy, o deklarowanej wytrzymałości na ściskanie, dla których prawdopodobieństwo mniejszej wytrzymałości nie przekracza 5%; kategoria II elementy, dla których nie przewiduje się, aby były zgodne z poziomem ufności elementów kategorii I. W praktyce możliwość klasyfikacji wyrobu do Kategorii I następuje wtedy, kiedy produkcja podlega zewnętrznemu nadzorowi jednostki notyfikowanej.

Występują dwie klasy wykonania robót – A oraz B, które scharakteryzowane zostały w normie PN-EN 1996-1-1 [24]. Decyzję o przyjęciu kategorii wykonawstwa podejmuje projektant konstrukcji. Z klasą A wykonania robót mamy do czynienia, gdy roboty murarskie wykonuje należycie przeszkolony zespół pod nadzorem mistrza murarskiego, stosuje się zaprawy produkowane fabrycznie, a jeżeli zaprawy wytwarzane są na budowie, kontroluje się dozowanie składników, a także wytrzymałość zaprawy, a jakość robót kontroluje inspektor nadzoru inwestorskiego. Klasę B można scharakteryzować jako mniej „dokładną”, dlatego przypisane są do niej wyższe wartości współczynników bezpieczeństwa. Norma PN-EN 1996-1-1 [24] opisuje klasę B wykonania robót jako występującą w momencie, gdy warunki określające klasę A nie są spełnione, w takim przypadku nadzór nad jakością robót może wykonywać osoba odpowiednio wykwalifikowana, upoważniona przez wykonawcę.

Jeżeli obliczana jest nośność filarków o polu przekroju mniejszym niż 0,3 m², wytrzymałość obliczeniową muru należy dodatkowo podzielić przez współczynnik η_A (tabela 5.3). W przypadku pośrednich pól przekroju porzecznego muru, wartości współczynnika η_A można interpolować.

Tabela 5.3. Współczynniki redukcyjne przy obliczaniu nośności filarków [24]

Pole przekroju poprzecznego muru, [m ²]	$\leq 0,05$ – 0,09	0,12	0,20	$\geq 0,30$
η_A	2,0	1,43	1,25	1,0

5.2 Wytrzymałość muru na ścinanie

Sposób obliczania wytrzymałości na ścinanie wskazany jest w załączniku krajowym normy PN-EN 1996-1-1 [24]. Wzór ten różni się w zależności od tego, czy została wypełniona spoina pionowa, czy też liczona jest przegroda z niewypełnionymi spoinami pionowymi. W zależności od kierunku działania siły ścinającej w stosunku do spoin wspornych rozróżnia się wytrzymałość muru na ścinanie w kierunku równoległym do spoin wspornych, f_{vk} , oraz w kierunku prostopadłym do spoin wspornych, $f_{vk'}$.

Charakterystyczną wytrzymałość na ścinanie dla ścian z elementów profilowanych na pióro-wpust, bez wypełnienia spoin pionowych, wyznacza się z zależności:

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

gdzie:

f_{vk} – charakterystyczna wytrzymałość muru na ścinanie,

f_{vko} – wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie w kierunku równoległym do spoin wspornych, gdy naprężenie ściskające wynosi 0,

σ_d – wartość średnia obliczeniowych naprężeń ściskających w przekroju w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ścinania, wyznaczona dla właściwej kombinacji obciążeń,

$f_{vk,max}$ – graniczna wartość, odczytana z tabeli 5.4.

Tabela 5.4. Wartości f_{vko} oraz ograniczenia wartości f_{vk} dla silikatów (wartości w MPa) [24]

f_{vko}		$f_{vk,max}$
Zaprawa zwykła	Zaprawa do cienkich spoin	
f_m	f_{vko}	
M5, M10	0,20	1,7
M15, M20	0,15	1,5

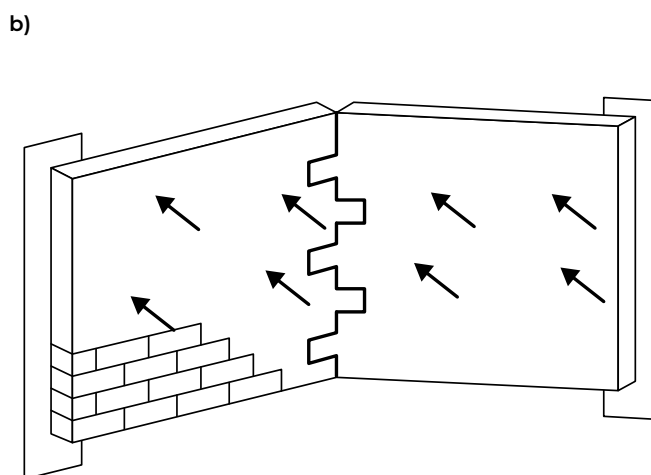
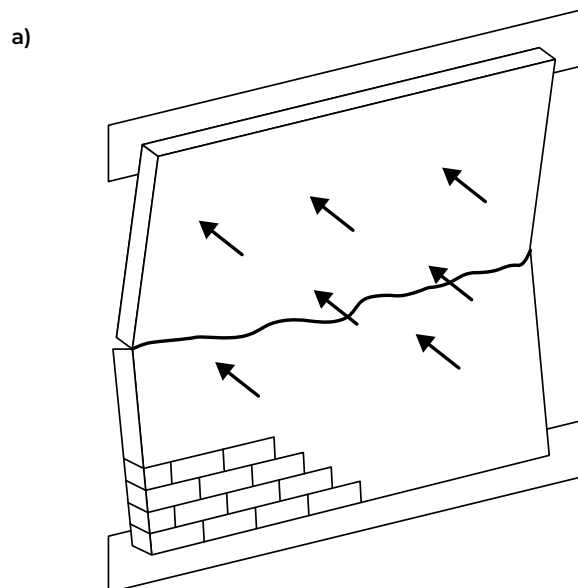
Charakterystyczną wytrzymałość na ścinanie dla ścian murowanych z wypełnieniem spoin pionowych wyznacza się z zależności:

$$f_{vk} = \min \begin{cases} 0,5 + 0,4 \cdot \sigma_d \\ 0,065 \cdot f_b, \text{ nie mniej niż } f_{vko} \\ f_{vk,max} \end{cases}$$

Obliczeniową wytrzymałość muru na ścinanie wyznacza się analogicznie do wytrzymałości na ściskanie, dzieląc wytrzymałość charakterystyczną przez współczynnik bezpieczeństwa γ_m .

5.3 Wytrzymałość muru na rozciąganie

Charakterystyczną wytrzymałość muru na rozciąganie wyznacza się na podstawie tabel NA.8 oraz NA.9 zawartych w normie PN-EN 1996-1-1 [24]. W zależności od zorientowania płaszczyzny działania momentu zginającego względem płaszczyzny ściany rozróżnia się wytrzymałość na rozciąganie w płaszczyźnie równoległej (f_{xk1}) (rys. 5.2a) oraz prostopadłej do spoin wspornych (f_{xk2}) (rys. 5.2b), których wartości, w zależności od zastosowanej zaprawy, przyjmuje się zgodnie z tabelą 5.6.



Rys. 5.2. Wytrzymałość muru na rozciąganie: a) w płaszczyźnie równoległej oraz b) w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych [24]

Wytrzymałość charakterystyczną muru na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin poziomych, f_{wk} , można przyjmować z tabeli 5.5.

Tabela 5.5. Wartości f_{wk} muru ścinanego prostopadle do spoin wspornych wykonanych na zaprawie zwykłej (wartości w MPa) [24]

Grupa elementu murowego	f_b				
	< 5	5	10	15	≥ 20
1	nie stosuje się	0,7	0,9	1,0	1,1
2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4

Tabela 5.6 Wytrzymałość charakterystyczna muru na zginanie w płaszczyźnie zniszczenia

Wytrzymałość muru na rozciąganie	Rodzaj zaprawy	
	Zaprawa zwykła (min. M5)	Zaprawa do cienkich spoin
f_{xk1}	0,10	0,20
f_{xk2}	0,40	0,30

5.4 Ściana poddana obciążeniom skupionym

Przy występowaniu obciążenia skupionego (rys. 5.3), np. od podciągu lub belki stropowej, należy sprawdzić nośność ścian za pomocą poniższych zależności, które pozwalają zweryfikować nieprzekroczenie dopuszczalnego docisku w wyniku działania siły skupionej. Należy pamiętać, że obliczeniowe obciążenie skupione (N_{Edc}) nie powinno być większe od obliczeniowej nośności ściany pod obciążeniem skupionym (N_{Rdc}).

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

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

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

gdzie:

f_d – obliczeniowa wytrzymałość muru na ściskanie [kN/m²],

β – współczynnik zwiększający nośność ściany na obciążenie skupione [-],

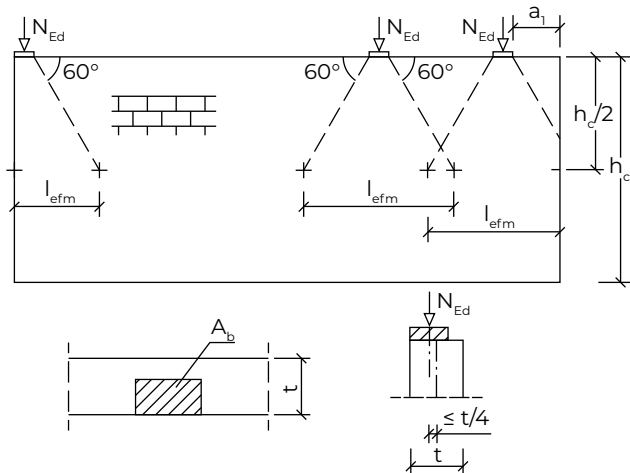
a_1 – odległość końca ściany od krawędzi skrajnego obszaru obciążenia [m],

h_c – wysokość ściany od poziomu obciążenia [m],

A_b – powierzchnia, do której przyłożone jest obciążenie [m²],

A_{ef} – powierzchnia efektywna rozdziału, tj. $l_{eff} \cdot t$, [m²],

t – grubość muru [m].



Rys. 5.3. Ściana poddana obciążeniu skupionemu [24]

5.5 Odkształcalność muru

Norma PN-EN 1996-1-1 [24] zaleca określać własności odkształcalności na podstawie badań przeprowadzonych według normy PN-EN 1052-1:2000 [47]. Wyniki mogą pochodzić z badań przeprowadzonych dla danego przedsięwzięcia lub z bazy danych. Przy braku wyników badań do obliczeń przyjmować można doraźny, sieczny moduł sprężystości muru jako:

$$E = K_E \cdot f_k$$

gdzie:

K_E – współczynnik do obliczania doraźnego modułu sprężystości muru E ,

f_k – wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie.

Dla murów wykonanych z silikatów na zaprawie min. M5 współczynnik K_E przyjmuje wartość 1000, zatem doraźny sieczny moduł sprężystości dla takie rozwiązania należy wyznaczyć z zależności:

$$E = 1000 \cdot f_k$$

Za wartość długotrwałego modułu sprężystości przyjmować należy wartość doraźnego, siecznego modułu sprężystości, zredukowaną z uwagi na efekt pełzania, równą:

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

gdzie:

Φ_{∞} – końcowy współczynnik pełzania.

Moduł ścinania G można przyjąć jako 40% wartości modułu sprężystości E , korzystając z zależności:

$$G = 0,4 \cdot E$$

Współczynnik pełzania, rozszerzalność pod wpływem wilgoci lub skurcz i współczynnik liniowej odkształcalności termicznej należy określić na podstawie badań. Wyniki badań pochodzących z badań przeprowadzonych dla danego przedsięwzięcia lub z bazy danych. Aktualnie nie ma europejskich metod wyznaczania pełzania lub rozszerzalności pod wpływem wilgoci dla murów istniejących.

Kończącą wartość współczynnika pełzania Φ_{∞} , długotrwałą rozszerzalność pod wpływem wilgoci lub skurczu i współczynnika liniowej odkształcalności termicznej α_t należy określać na podstawie badań. Przedziały zmian wartości współczynnika pełzania Φ_{∞} , długotrwałej rozszerzalności pod wpływem wilgoci lub skurczu i współczynnika liniowej odkształcalności termicznej α_t dla elementów silikatowych zestawiono w tabeli 5.7 (wartości dla innych elementów murowych są zestawione w punkcie 3.7.4. normy PN-EN 1996-1-1 [24]).

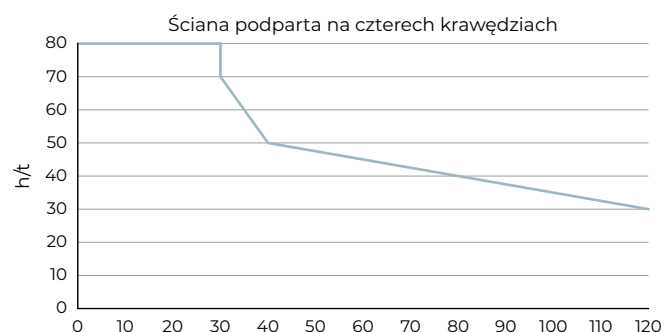
Tabela 5.7. Współczynniki pełzania, rozszerzalność pod wpływem wilgoci oraz współczynnik liniowej odkształcalności termicznej dla silikatów.

Końcowy współczynnik pełzania ¹⁾ Φ_{∞}	Rozszerzalność pod wpływem wilgoci/skurcz ²⁾ [mm/m]	Współczynnik liniowej odkształcalności termicznej α_t , [10 ⁻⁶ /K]
1,0 do 2,0	-0,4 do -0,1	7 do 11

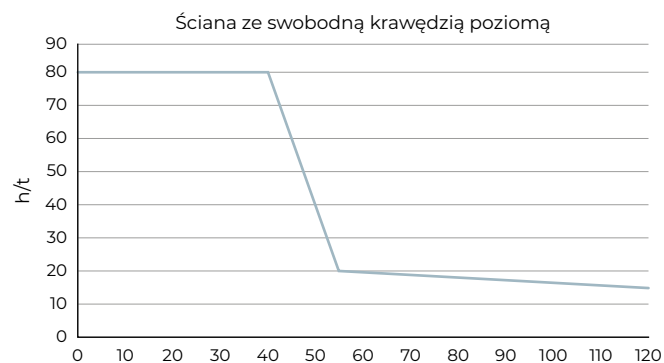
¹⁾ Końcowy współczynnik pełzania $\Phi_{\infty} = \frac{\varepsilon_{\infty}}{\varepsilon_{el}}$, gdzie ε_{∞} jest końcową wartością odkształceń pełzania przy $\varepsilon_{el} = \frac{\sigma}{E}$

²⁾ Ujemna wartość rozszerzalności pod wpływem wilgoci lub skurczu oznacza skracanie, natomiast wartość dodatnia oznacza rozszerzanie

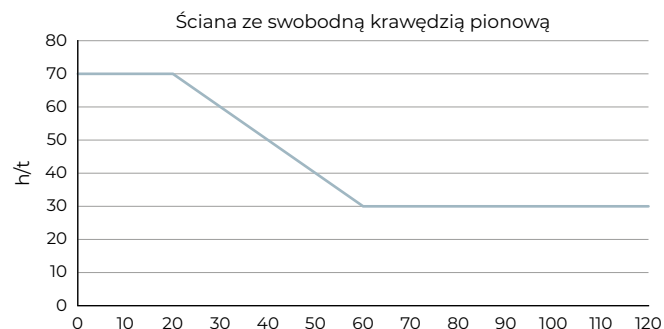
5.6 Maksymalne wymiary ścian



Rys. 5.4 Ograniczenia wysokości i długości w stosunku do grubości ściany dla ścian zamocowanych na wszystkich czterech krawędziach [24]



Rys. 5.5 Ograniczenia wysokości i długości w stosunku do grubości ściany dla ścian zamocowanych na dolnej, górnej i jednej z krawędzi bocznych [24]



Rys. 5.6 Ograniczenia wysokości i długości w stosunku do grubości ściany dla ścian zamocowanych na krawędziach bocznych i krawędzi dolnej; krawędź górna jest wolnopodparta [24]

Do określenia maksymalnych wymiarów konieczna jest weryfikacja stanów granicznych nośności. Dodatkowo ściany nie powinny przekraczać wymiarów, które wynikają z wykresów (rys. 5.4-5.6). Wykresy opisują różne warunki podparcia ściany, gdzie:

h – wysokość ściany w świetle,

l – długość ściany,

t – grubość ściany.

Interpretując wykresy, należy zwrócić uwagę, że wszystkie wartości punktów, które znajdują się poniżej linii wykresu, są dopuszczalne z punktu widzenia bezpieczeństwa konstrukcji. Jeśli punkt reprezentujący rzeczywiste wartości h/t i l/t ściany znajduje się powyżej linii wykresu, oznacza to, że rozwiązanie konstrukcyjne nie spełnia norm bezpieczeństwa i wymaga zmiany.

Poza wymaganiami statycznymi oraz wynikającymi z poniższych wykresów ściany nie powinny przekraczać wymiarów

27t – w przypadku ścian konstrukcyjnych,

30t – w przypadku ścian podpartych na dolnej i górnej krawędzi,

40t – w przypadku ścian podlegających wymaganiom EI.

5.7 Wymiarowanie ścian obciążonych głównie pionowo

Ściany należy sprawdzić zarówno w przekrojach na górnej krawędzi ściany, na dolnej krawędzi ściany oraz w środku wysokości. Obliczeniowe siły, działające na ścianę N_{Ed} nie powinny być większe od nośności obliczeniowej ściany na obciążenia pionowe N_{Rd} przy czym sprawdzenia tego warunku dokonuje się na trzech poziomach analizowanej ściany: przekroju górnym (pod stropem górnej kondygnacji), w przekroju środkowym oraz w przekroju dolnym (nad stropem dolnej kondygnacji).

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

Siłę pionową działającą na analizowaną ścianę N_{Ed} określa się, wykonując kombinację oddziaływań. Do kombinacji oddziaływań przyjmuje się wartości oddziaływań na podstawie odpowiednich norm pakietu Eurokod 1.

Obliczeniową nośność przypadającą na jednostkę długości obciążonej pionowo ściany jednowarstwowej wyznacza się ze wzoru:

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

gdzie:

Φ – współczynnik redukcji wyznaczony niezależnie dla górnego, dolnego i środkowego przekroju ściany,

t – grubość ściany,

f_d – obliczeniowa wytrzymałość muru na ściskanie.

Wartość współczynnika redukcyjnego Φ w przekroju górnym i dolnym ściany (Φ_1 i Φ_2)

Wartość współczynnika redukcyjnego Φ (uwzględniającego smukłość i wielkość mimośrodów) w przekroju górnym i dolnym ściany można wyznaczać przy założeniu prostokątnego wykresu naprężeń:

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

gdzie:

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

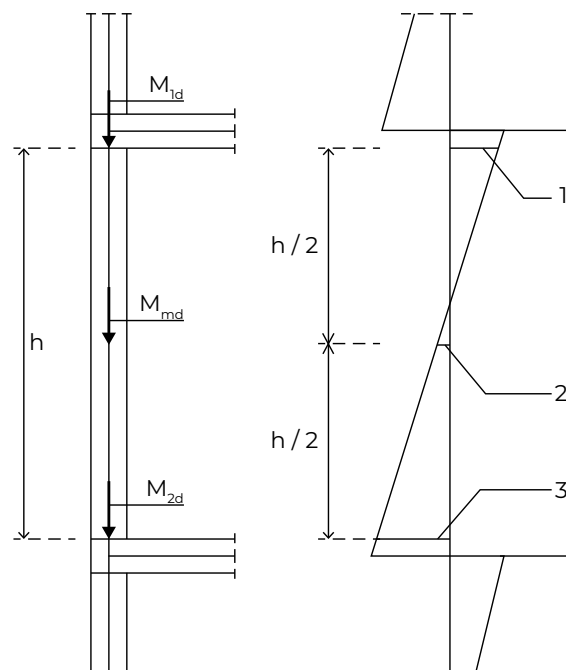
$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05 \cdot t$$

M_{id} – moment zginający od obciążeń obliczeniowych w górnym lub dolnym przekroju ściany, wynikający z przekazania reakcji na podporę ze stropu (rys. 5.7),

N_{id} – siła pionowa od obciążeń obliczeniowych,

e_{he} – mimośród od sił poziomych (np. wiatru), z zależności $e_{he} = \frac{M_{wd}}{N_{id}}$,

e_{init} – mimośród od niedokładności wykonawczych, zwiększający wartość e_i gdzie $e_i = \frac{h_{ef}}{450}$



- 1) M_{1d}
- 2) M_{md}
- 3) M_{2d}

Rys. 5.7 Momenty do obliczania mimośrów [24]

Wartość współczynnika redukcyjnego Φ w przekroju środkowym (Φ_m)

Wartość współczynnika redukcyjnego w przekroju środkowym można obliczyć na podstawie wytycznych załącznika G, normy PN-EN 1996-1-1 [24]. Licząc zgodnie z tą metodą, współczynnik redukcji Φ_m uwzględniający smukłość ściany i mimośród obciążenia w środku wysokości ściany określa się dla dowolnych wartości modułu sprężystości E i wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie muru niezbrojonego f_k . Dla środkowego przekroju ściany współczynnik redukcji wyznacza się z zależności:

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

gdzie e jest podstawą logarytmu naturalnego, natomiast A_1 oraz u to parametry obliczane jako:

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

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

gdzie:

t – grubość ściany [m],

e_{mk} – mimośród w połowie wysokości ściany [m], określony wzorem

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

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

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

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

gdzie:

M_{Md} – moment zginający od obciążeń obliczeniowych w środkowym przekroju ściany, wynikający z przekazania reakcji na podporę ze stropu,

N_{Md} – siła pionowa w połowie wysokości ściany z uwzględnieniem przyłożonego obciążenia pionowego do ściany,

e_{he} – mimośród od sił poziomych (np. wiatru),

e_{mit} – mimośród od niedokładności wykonawczych, zwiększający wartość e_i , gdzie $e_i = \frac{h_{ef}}{450}$,

e_k – mimośród wywołany pełzaniem,

h_{ef} – wysokość efektywna,

Φ_{∞} – końcowy współczynnik pełzania,

t_{ef} – grubość ściany nieusztywnionej pilastrami; w przypadku usztywnienia grubość efektywną należy wyznaczyć wg punktu 5.5.1.3 z PN-EN 1996-1-1,

ρ_n – współczynnik redukcji, w zależności od utwardzenia krawędzi lub usztywnienia ściany ($n = 2, 3$ lub 4).

Wysokość efektywną ściany nośnej h_{ef} należy określać, biorąc pod uwagę względną sztywność elementów konstrukcji połączonych z obliczaną ścianą oraz skuteczność połączeń. W tym celu niezbędne jest określenie odpowiedniego współczynnika redukcyjnego (zestawiono w tabeli 5.8).

Tabela 5.8 Wartości współczynnika redukcji dla różnych warunków utwardzenia ściany [24]

Warunki utwardzenia ściany	Współczynnik redukcji
Ściany utwardzone na górnej i dolnej krawędzi przez stropy żelbetowe, dachy rozpięte dwukierunkowo lub stropy żelbetowe jednokierunkowe oparte na min. 2/3 grubości ściany	$\rho_2 = 0,75$ lub $\rho_2 = 1,0$, jeśli mimośród obciążenia na górnej krawędzi jest większy niż $0,25t$
Ściany utwardzone 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	$\rho_2 = 1,0$
Ściany ze swobodną krawędzią pionową, jeśli $h \leq 3,5 \cdot l$	$\rho_3 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot l} \right]^2} \cdot \rho_2$
Ściany ze swobodną krawędzią pionową, jeśli $h > 3,5 \cdot l$	$\rho_3 = \frac{1,5 \cdot l}{h} \geq 0,3$
Ściany utwardzone na czterech krawędziach, jeśli $h \leq 3,5 \cdot l$	$\rho_4 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{l} \right]^2} \cdot \rho_2$
Ściany utwardzone na czterech krawędziach, jeśli $h > 3,5 \cdot l$	$\rho_4 = \frac{0,5 \cdot l}{h}$

Obliczanie współczynników redukcyjnych wymaga znajomości momentów zginających występujących w przekrojach (znajomość wartości momentów jest niezbędna do obliczenia mimośródów). Wyznaczenie momentów zginających w poszczególnych przekrojach i wykorzystanie powyższych wzorów z normy PN-EN 1996-1-1 [24] określa się metodą dokładną. Metoda ta wymaga stworzenia modeli budynków i wykonania obliczeń przy użyciu programów komputerowych.

Metody uproszczone odnaleźć można w załączniku C normy PN-EN 1996-1-1 [24] oraz w normie PN-EN 1996-3 [48].

W załączniku C znajdują się algorytmy obliczeń według tzw. modelu ramowego (który jest podstawową metodą sugerowaną przez załącznik) oraz dwóch modeli obliczeniowych: wykorzystywanym, gdy strop jest podparty na części szerokości ściany, lub wykorzystywanym w obiektach ze stropami drewnianymi oraz gdy mimośród całkowity jest większy od $0,45$ grubości ściany.

W **modelu ramowym** określanie wartości momentów w przekrojach górnym i dolnym, polega na rozłożeniu znanego momentu od stropu w węźle ściany – stropy proporcjonalnie do sztywności ścian i stropów schodzących się w tym węźle. Dla ściany, na której stropy oparte są z dwóch stron, moment w przekroju górnym wynosi:

$$M_1 = \frac{\frac{n_1 \cdot E_1 \cdot l_1}{h_1}}{\frac{n_1 \cdot E_1 \cdot l_1}{h_1} + \frac{n_2 \cdot E_2 \cdot l_2}{h_2} + \frac{n_3 \cdot E_3 \cdot l_3}{h_3} + \frac{n_4 \cdot E_4 \cdot l_4}{h_4}} \cdot \left[\frac{w_3 \cdot l_3^2}{4 \cdot (n_3 - 1)} - \frac{w_4 \cdot l_4^2}{4 \cdot (n_4 - 1)} \right]$$

gdzie:

n_i – współczynnik sztywności prętów, $n_i = 4$ dla obustronnie utwierdzonych prętów, $n_i = 3$ dla jednostronnie utwierdzonych prętów,

E_i, I_i – sztywność pręta,

h_i – wysokość stropu w świetle,

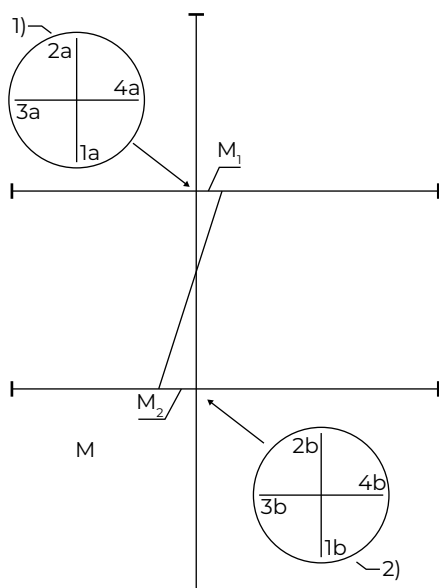
l_i – długość ściany w świetle,

w_i – obciążenie równomierne na pręcie, oblicznione z uwzględnieniem częściowych współczynników bezpieczeństwa na podstawie PN-EN 1990.

Obliczając moment M_2 w węźle dolnym, iloraz $E_1 I_1 / h_1$ zastąpić należy przez $E_2 I_2 / h_2$ (szczegółowe oznaczenia modelu ramowego na rysunku 5.8).

$$M_2 = \frac{\frac{n_2 \cdot E_2 \cdot l_2}{h_2}}{\frac{n_1 \cdot E_1 \cdot l_1}{h_1} + \frac{n_2 \cdot E_2 \cdot l_2}{h_2} + \frac{n_3 \cdot E_3 \cdot l_3}{h_3} + \frac{n_4 \cdot E_4 \cdot l_4}{h_4}} \cdot \left[\frac{w_3 \cdot l_3^2}{4 \cdot (n_3 - 1)} - \frac{w_4 \cdot l_4^2}{4 \cdot (n_4 - 1)} \right]$$

Moment w przekroju środkowym można obliczyć, zakładając liniowy przebieg wykresu momentów zginających. Po określeniu momentów zginających w przekrojach górnym, dolnym oraz środkowym obliczenia mimośrodków oraz współczynników redukcyjnych przeprowadza się jak w metodzie dokładnej. Wykonując obliczenia dla ściany zewnętrznej (obciążonej stropem tylko z jednej strony), we wzorach należy pominąć składnik sztywności oraz momentu jednego ze stropów.



Obliczenia momentów w przekroju górnym i dolnym w świetle modelu obliczeniowego – strop podparty na części szerokości ściany, opierają się na założeniu, że reakcja od stropu w odniesieniu do osi ściany położona jest w odległości równej połowie szerokości oparcia stropu na murze (jak na rysunku 5.9). Wówczas momenty zginające określone są wzorami:

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

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

gdzie:

M_{Edf} – moment pod stropem,

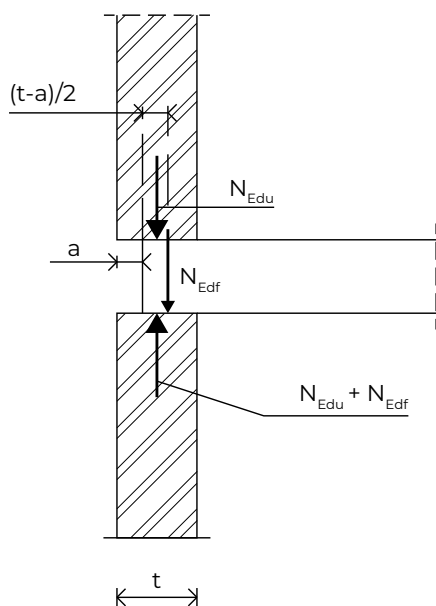
M_{Edu} – moment nad stropem,

N_{Edf} – obciążenie obliczeniowe od stropu,

N_{Edu} – obciążenie w ścianie wyższej kondygnacji,

a – odległość od lica ściany do krawędzi stropu.

Rys. 5.8 Uproszczony model ramowy [24]

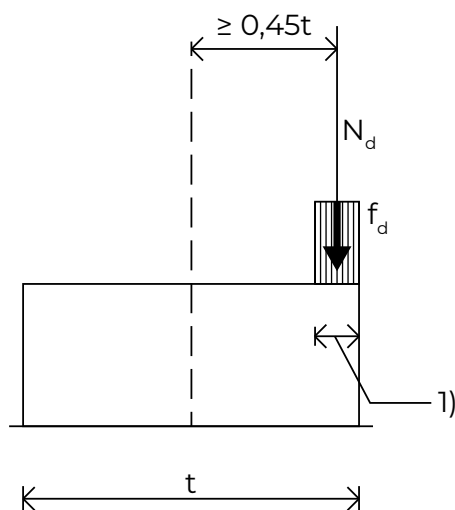


Rys. 5.9 Schemat układu sił i reakcji dla przypadku stropów niepodpartych wzdłuż całej grubości ściany [24]

Po obliczeniu momentów zginających, wartości mimośrodów oraz współczynników redukcyjnych należy określić jak w metodzie dokładnej.

Model obliczeniowy dla ścian, na których oparto stropy drewniane, oraz gdy obliczony mimośród jest większy niż 0,45 grubości ściany

Dla takich wariantów nie oblicza się momentów, lecz przyjmuje się konkretną wartość mimośrodu. Załącznik C w tym przypadku pozwala wyznaczać mimośród z bryły naprężeń ściskających równych obliczeniowej wytrzymałości materiału, której wysokość nie może być większa niż 0,1 grubości ściany, licząc od jej lica (rys. 5.10).



Wysokość bryły naprężeń $\leq 0,1t$

Rys. 5.10 Mimośród działania obciążenia obliczeniowego zastąpiony bryłą naprężeń [24]

Oprócz metod obliczeniowych zawartych w normie PN-EN 1996-1-1 [24] i opisanych powyżej, znajdują się również **metody uproszczone** w normie PN-EN 1996-3 [48]. Praktyka pokazuje, że jeśli warunki stosowania metod uproszczonych są spełnione, to właśnie z nich najczęściej się korzysta, wykonując obliczenia. W normie PN-EN 1996-3 [48] opisane są dwie uproszczone drogi obliczania ścian obciążonych głównie pionowo. Drogi te opisane zostały w punkcie 4.2 oraz w załączniku A tej normy.

Uproszczoną metodą opisaną w załączniku A normy PN-EN 1996-3 [48] można stosować przy projektowaniu budynków, jeżeli spełnione są następujące warunki:

- wysokość budynku nie przekracza trzech kondygnacji nadziemnych,
- ściany są usztywnione w kierunku poziomym na działanie obciążeń prostopadłych do swojej płaszczyzny za pomocą stropów i dachu albo samych stropów i dachu, lub w inny odpowiedni sposób, na przykład wieńców o odpowiedniej sztywności,
- stropy i dach opierają się na ścianie na co najmniej 2/3 grubości ściany i nie mniej niż 85 mm,
- wysokość kondygnacji w świetle nie przekracza 3,0 m,
- minimalny wymiar ściany w rzucie wynosi co najmniej 1/3 wysokości ściany,
- obciążenie charakterystyczne zmienne na stropie i dachu nie przekracza 5,0 kN/m²,
- maksymalna rozpiętość stropu w świetle wynosi 6,0 m,
- maksymalna rozpiętość dachu w świetle wynosi 6,0 m, z wyjątkiem lekkich konstrukcji dachowych o rozpiętości nieprzekraczającej 12 m,
- współczynnik smukłości h_{ef}/t_{ef} dla ścian wewnętrznych i zewnętrznych nie przekracza 21.

Jeśli wyżej wymienione warunki zostały spełnione, to nośność obliczeniową ściany obciążonej pionowo (według załącznika A normy PN-EN 1996-3) można obliczyć zgodnie ze wzorem:

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

gdzie:

$$c_A = 0,50 \text{ jeżeli } \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \leq 18$$

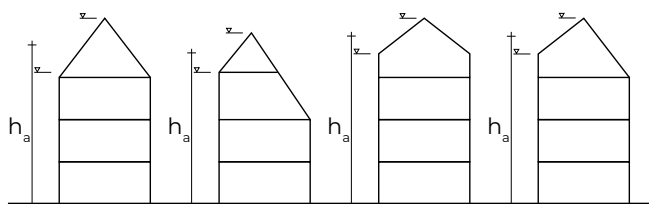
$$c_A = 0,36 \text{ jeżeli } \frac{h_{ef}}{t_{ef}} > 18 \text{ i } \leq 21$$

f_d – wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie,

A – przekrój poprzeczny ściany z pominięciem wszystkich otworów.

Drugi wariant metody uproszczonej zawartej w normie PN-EN 1996-3 [48] również opisuje szereg warunków, których spełnienie jest niezbędne, aby metoda mogła być stosowana. Warunki, po spełnieniu których można wykorzystywać metodę uproszczoną, dzielą się na warunki podstawowe oraz warunki dodatkowe (dotyczące ścian stanowiących końcowe podparcie stropów):

- wysokość budynku powyżej poziomu terenu nie jest większa niż h_m (tabela 5.9). W przypadku budynków z dachami nachylonymi wysokość budynku określa się jako średnią h_a (rys. 5.11),
- rozpiętość stropów opartych na ścianach nie jest większa niż 7,0 m,
- rozpiętość dachów opartych na ścianach nie jest większa niż 7,0 m, z wyjątkiem dachów z lekkich elementów kratownicowych, których rozpiętość nie powinna przekraczać 14,0 m,
- wysokość kondygnacji w świetle nie jest większa niż 3,2 m, z wyjątkiem budynków o całkowitej wysokości nie większej niż 7,0 m, których wysokość w świetle kondygnacji parteru może wynosić 4,0 m,
- obciążenie charakterystyczne zmienne na stropie i dachu nie jest większe niż 5,0 kN/m²,
- ściany są usztywnione w kierunku poziomym za pomocą stropów i konstrukcji dachu usytuowanej pod kątem prostym do jej płaszczyzny, bądź też samych stropów i dachów, lub w inny odpowiedni sposób np. za pomocą wieńca o odpowiedniej sztywności – ściany na poszczególnych kondygnacjach znajdują się w jednej płaszczyźnie
- stropy i dach opierają się na ścianie za pomocą wieńców o szerokości równej co najmniej 0,4 t grubości ściany i nie mniej niż 75 mm – końcowa wartość współczynnika pełzania dla muru Φ_{∞} jest nie większa niż 2,0
- grubość ściany i wytrzymałość muru na ściskanie należy sprawdzić na każdej kondygnacji, chyba że są takie same na wszystkich kondygnacjach.



Rys. 5.11 Zasady określania średniej wysokości budynku h_a [48]

Tabela 5.9 Wartości graniczne h_m w zależności od klasy wykonania robót [48]

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

Uwaga! Występują różne oznaczenia klas wykonawstwa w Eurokodzie i w załącznikach krajowych. Można przyjąć, że klasa wykonawstwa A odpowiada 2 klasie według Eurokodu, natomiast B to klasa 3

Wymagania dodatkowe, warunkujące możliwość stosowania metody uproszczonej (dotyczą ścian stanowiących skrajną podporę stropów)

- rozpiętość stropu l_j jest nie większa niż 7,0 m przy $N_{Ed} \leq k_c \cdot t \cdot b \cdot f_d$ lub
- dla $f_d > 2,5$ N/mm² rozpiętość stropów jest równa mniejszej z wartości 4,5 + 10 t (w metrach) i 7,0 m
- dla $f_d \leq 2,5$ N/mm² rozpiętość stropów jest równa mniejszej z wartości 4,5 + 10 t (w metrach) i 6,0 m

gdzie:

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

t – rzeczywista grubość ściany (ewentualnie warstwy nośnej ściany szczelinowej), stanowiącej skrajną podporę stropu,
 b – szerokość, na której przyłożone jest obciążenie [kN],

f_d – wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie [kN/m²],

k_c – współczynnik równy 0,2 dla grupy 1 elementów murowych oraz 0,1 dla grup 2,3,4 elementów murowych
 [-] – jeśli ściana stanowiąca skrajną podporę stropu jest dodatkowo narażona na obciążenie wiatrem, to jej grubość powinna spełniać warunek:

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

gdzie:

h – wysokość kondygnacji w świetle [m],

q_{Ewd} – obciążenie obliczeniowe wiatrem na jednostkę powierzchni ściany [kN/m²],

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

t – rzeczywista grubość ściany (ewentualnie warstwy nośnej ściany szczelinowej), stanowiącej skrajną podporę stropu [m],

b – szerokość, na której przyłożone jest obciążenie [m],

c_1, c_2 – stałe [-], przyjęte wg tabeli 5.10.

Tabela 5.10. Stałe c_1 i c_2 w zależności od α [48]

α	c_1	c_2
0,05	0,12	0,017
0,10	0,12	0,019
0,20	0,14	0,022
0,30	0,15	0,025
0,50	0,23	0,031

Wartości pośrednie można obliczać, stosując interpolację liniową. Wartość α potrzebna do określenia stałych c_1 i c_2 jest określona wzorem:

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

Po spełnieniu warunków podstawowych i ewentualnych dodatkowych, można przejść do procedury wyznaczania nośności obliczeniowej ściany z uwagi na obciążenia pionowe.

Warunek nośności w metodzie uproszczonej przedstawia się analogicznie jak w metodzie dokładnej:

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

gdzie:

N_{Ed} – pionowe obciążenie obliczeniowe

N_{Rd} – nośność obliczeniowa ściany z uwagi na obciążenia pionowe określona wzorem:

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

gdzie:

Φ_s – współczynnik redukcyjny nośności uwzględniający wpływ smukłości oraz mimośrodu obciążenia,

f_d – wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie,

A – przekrój poprzeczny obciążonej ściany.

Sposób wyznaczania współczynnika redukcyjnego nośności zależy od typu przegrody, dla której współczynnik ma być wyznaczany. Dla ścian wewnętrznych:

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

Dla ścian stanowiących końcowe podparcie stropów, współczynnik redukcyjny należy przyjmować jako mniejszą z wartości:

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

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

Dla ścian najwyższej kondygnacji, stanowiących skrajną podporę stropu lub dachu, współczynnik redukcyjny należy przyjmować jako najmniejszą z wartości:

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

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

$$\phi_s = 0,4$$

gdzie:

h_{ef} – wysokość efektywna ściany (określana inaczej niż w PN-EN 1996-1-1 [24], szczegóły w dalszej części rozdziału),

t_{ef} – grubość efektywna,

$t_{ef} = t$ – dla ściany jednowarstwowej,

$t_{ef} = \sqrt[3]{t_1^2 + t_2^2}$ – dla ściany szczelinowej spełniającej warunek posiadania granicznej liczby kotew ściennych, t_1 oraz t_2 to rzeczywiste grubości warstw,

$l_{f,ef}$ – rozpiętość efektywna stropu stanowiącego skrajną podporę ściany,

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

$l_{f,ef} = 0,7l_f$ – dla stropu ciągłego,

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

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

Wysokość efektywna ścian w metodzie uproszczonej definiowana jest tak samo jak w metodzie dokładnej, różnią się jednak wartości współczynników redukcyjnych:

- dla ścian zamocowanych u góry i u dołu, kiedy stropy lub dachy zbrojone lub sprężone oparte są na ścianie za pośrednictwem wieńca żelbetowego sięgającego na co najmniej $2/3$ grubości ściany i nie mniej niż 85 mm – $\rho_2 = 1,0$ dla ściany stanowiącej skrajną podporę stropu oraz $\rho_2 = 0,75$ dla pozostałych ścian,
- dla ścian zamocowanych u góry i u dołu z uwagi na przesuw i braku zamocowania z uwagi na obrót – $\rho_2 = 1,0$,
- dla ścian zamocowanych u góry i u dołu z uwagi na przesuw oraz wzdłuż jednej krawędzi pionowej:

$$\rho_3 = 1,5 \cdot \frac{l}{h}$$

gdzie:

h – wysokość kondygnacji w świetle,

l – odległość krawędzi swobodnej od pionowej krawędzi podpartej.

Przy czym:

$\rho_3 \leq 0,75$ – dla ściany niestanowiącej skrajnej podpory stropu przy jej zamocowaniu u góry i u dołu z uwagi na obrót,

$\rho_3 \leq 1,0$ – we wszystkich pozostałych przypadkach.

Dla ścian zamocowanych u góry i u dołu z uwagi na przesuw oraz wzdłuż obu krawędzi pionowych współczynnik redukcji ρ_4 oblicza się wg wzoru:

$$\rho_4 = \frac{l}{2 \cdot h}$$

gdzie:

h – wysokość kondygnacji w świetle,

l – odległość między pionowymi krawędziami ściany stanowiącymi jej podpory

Przy czym:

$\rho_4 \leq 0,75$ – dla ściany niestanowiącej skrajnej podpory stropu przy jej zamocowaniu u góry i u dołu z uwagi na obrót,

$\rho_4 \leq 1,0$ – we wszystkich pozostałych przypadkach.

W stanie granicznym nośności, dla ścian obciążonych prostopadłe do powierzchni, moment obliczeniowy przyłożony do ściany murowej M_{Ed} , nie powinien być większy od nośności obliczeniowej na zginanie M_{Rd} .

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

Nośność obliczeniową na zginanie ściany obciążonej prostopadłe do powierzchni ściany M_{Rd} , na jednostkę wysokości lub długości ściany, wyznacza się ze wzoru:

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

gdzie:

f_{xd} – wytrzymałość obliczeniowa muru na zginanie, odpowiednio do płaszczyzny zginania,

Z – sprężysty wskaźnik wytrzymałości przekroju na jednostkę wysokości lub długości ściany.

Wytrzymałość f_{xd} w zależności od płaszczyzny oddziaływania momentu zginającego może być obliczeniową wytrzymałością na zginanie, gdy do zniszczenia dochodzi w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych f_{xd1} lub w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych f_{xd2} . Jeśli na ścianę dodatkowo oddziałują obciążenia pionowe, pozytywny wpływ naprężenia ściskającego można uwzględnić poprzez przyjęcie zastępczej wytrzymałości na zginanie $f_{xd1,app}$

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

gdzie:

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

σ_d – naprężenie ściskające od naprężeń obliczeniowych na górnej powierzchni ściany, o wartości nie większej niż $0,15N_{Rd}$ w połowie jej wysokości,

Należy jednak pamiętać, że jeżeli $\sigma_d \leq 0,2f_d$ – stosujemy $f_{xd1,app}$, jeżeli $\sigma_d > 0,2f_d$ – ścianę projektujemy jako obciążoną głównie pionowo.

Wzór na moment zginający M_{Ed} należy dobrać odpowiednio w zależności od schematu podparcia krawędzi ściany. Dla ścian opartych wzdłuż krawędzi poziomych (zwykle wzdłuż krawędzi stropów) przyjmuje się model obliczeniowy – belka, co oznacza, że moment zginający obliczany jest według poniższego wzoru:

$$M_{Ed} = \frac{w_{Ed} \cdot l^2}{8}$$

gdzie:

w_{Ed} – obciążenie obliczeniowe prostopadłe do płaszczyzny ściany na jednostkę powierzchni,

l – 1,05 odległości w świetle między stropami.

Jeśli ściana nad podporą jest ciągła lub utwierdzona, moment zginający oblicza się jako:

$$M_{Ed} = \frac{w_{Ed} \cdot l^2}{16}$$

W przypadku ścian podpartych wzdłuż 3 lub 4 krawędzi, dla których przyjmowany jest model obliczeniowy – (odpowiednio) podparta płyta, sposób obliczenia momentu zginającego zależy od usytuowania płaszczyzny zniszczenia względem spoin wspornych:

a. Płaszczyzna zniszczenia jest równoległa do spoin wspornych (kierunek f_{xk1})

$$M_{Ed} = \alpha_1 \cdot w_{Ed} \cdot l^2$$

b. Płaszczyzna zniszczenia jest prostopadła do spoin wspornych (kierunek f_{xk2})

$$M_{Ed} = \alpha_2 \cdot w_{Ed} \cdot l^2$$

gdzie:

α_1, α_2 – współczynniki rozdziału momentu uwzględniające stopień utwardzenia krawędzi ściany oraz stosunek wysokości do długości ściany. Wartości współczynników przyjmować można z Załącznika E normy PN-EN 1996-1-1 [24] dla ścian jednowarstwowych o grubości mniejszej lub równej 250 mm, gdzie

$$\alpha_1 = \mu \cdot \alpha_2$$

l – długość ściany.

W ścianach szczelinowych obciążenie obliczeniowe prostopadłe do ściany na jednostkę powierzchni w_{Ed} można rozłożyć pomiędzy dwie warstwy pod warunkiem, że kotwy lub inne łączniki między warstwami są w stanie przenieść oddziaływania, jakim ściana szczelinowa jest poddana. Rozdzielenie pomiędzy dwie warstwy może być proporcjonalne do ich nośności, jak i sztywności każdej z warstw. Gdy uwzględnia się rozdział z uwagi na sztywność warstw, każda z nich powinna być sprawdzona na część momentu M_{Ed} wyznaczoną dla niej zgodnie z zasadą proporcjonalnego rozdziału.

Jeżeli analizowana ściana jest osłabiona bruzdami lub wnękami o rozmiarach przekraczających wartości graniczne zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [24] to takie osłabienie powinno być brane pod uwagę przy określaniu nośności poprzez redukcję grubości ściany w miejscu bruzdy lub wnęki.

Ściany ścinane

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

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Nośność obliczeniowa na ścinanie określona jest wzorem:

$$V_{Ed} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c$$

gdzie:

f_{vd} – wytrzymałość obliczeniowa muru na ścinanie, dla średnich naprężeń pionowych nad ściskaną częścią ściany, dla której ustalana jest nośność na ścinanie,

t – grubość ściany przenoszącej ścinanie,

l_c – długość ściskanej części ściany, z pominięciem rozciąganej części ściany.

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

Konstrukcje murowe niezbrojone, które zostały obliczone i nie przekraczają stanu granicznego nośności nie wymagają obliczeniowego sprawdzenia stanu granicznego użyteczności. Jednocześnie sprawdzić powinno się inne elementy konstrukcyjne, które mogą mieć niekorzystny wpływ na ściany np. sprawdzenie obliczeniowe ugięcia stropów.



6. WZNOSZENIE ŚCIAN Z SILIKATÓW

PIOTR HARASSEK, WOJCIECH ROGALA

Murowanie ścian silikatowych w ogólnym ujęciu, nie różni się od wznoszenia ścian z innego typu wyrobów budowlanych murowych, tj. cegieł czy bloczków. W trakcie prac należy kierować się postanowieniami norm serii EN 1996, dotyczących konstrukcji murowych oraz przestrzegać ogólnych zasad sztuki murarskiej, opisanych w ogólnodostępnej literaturze. W trakcie prac bezwzględnie należy dostosować się do ogólnych przepisów BHP oraz stosować się do postanowień instrukcji bezpiecznego wykonania robót (IBWR), obowiązującej na danej budowie.

Dobrze przygotowany plac budowy znacząco wpływa na poprawność i sprawność realizacji zadania budowlanego. Przy murowaniu zaleca się, aby na danym etapie robót znajdowały się tylko niezbędne materiały w odpowiedniej dla tego etapu ilości. Należy pamiętać, że nadmiarowa liczba palet czy worków zaprawy może zajmować zbyt wiele miejsca oraz niepotrzebnie zakłócać przebieg prac. Dobre rozplanowanie rozmieszczenia materiałów budowlanych na placu budowy ograniczy też ilość wykonywanych operacji logistycznych.

Palety z bloczkami oraz zaprawa powinny znajdować się w odległości ok. 1÷1,2 m od linii muru. Taka odległość zapewni odpowiednio dużo miejsca do pracy, a jednocześnie nie wymaga zbyt dalekiego przenoszenia elementów murowych.

Stosowanie narzędzi murarskich znacznie ułatwia wykonywanie prac. Do podstawowych narzędzi należą:

- kielnia do nanoszenia zaprawy murarskiej – wyróżnia się kielnie do zapraw zwykłych oraz do cienkich spoin,
- poziomica, przeznaczona do kontroli ułożenia pojedynczych elementów oraz utrzymania pionu całego muru,
- młotek gumowy do korygowania ustawienia bloków,
- sznurek murarski do wyznaczania linii lica kolejnych warstw muru,
- szczotkę do omywania powierzchni bloków przed nałożeniem zaprawy,
- mieszadło wolnoobrotowe do wymieszania suchej mieszanki zaprawy z wodą.

W trakcie prac należy dbać, aby narzędzia pozostawały czyste i wolne od resztek zaprawy.

Prace murarskie należy prowadzić w warunkach pozwalających na prawidłowe związanie zaprawy z elementami murowymi. W przypadku większości zapraw oznacza to utrzymywanie się temperatury otoczenia powyżej +5°C, maksymalnie do +25°C. Praca w temperaturze poniżej podanego zakresu może

powodować zamarzanie wody zarobowej, a powyżej – jej nadmierne parowanie. Należy również unikać prowadzenia prac w warunkach silnego nasłonecznienia i/lub mocnego wiatru. Oba te czynniki mogą prowadzić do odparowania wody zarobowej. W efekcie zaprawa może nie uzyskać odpowiedniej wytrzymałości ani przyczepności.

W trakcie prowadzenia prac budowlanych dostarczone materiały przed ich wbudowaniem wymagają odpowiedniego zabezpieczenia. Elementy murowe silikatowe dostarczane są na plac budowy na paletach drewnianych owiniętych folią. Taki sposób opakowania chroni bloczki przed wpływem warunków atmosferycznych, w szczególności opadów deszczu i śniegu. W przypadku elementów dostarczanych bez folii, niezbędne jest ich składowanie pod zadaszeniem lub zakrycie folią dostępną na placu budowy. Palety z bloczkami należy składować na równym i stabilnym podłożu. Możliwe jest sztaplowanie palet do 2 warstw pod warunkiem zapewnienia odpowiedniej nośności podłoża.

6.1 Zaprawy murarskie

Do wznoszenia ścian z elementów silikatowych wykorzystuje się zaprawy murarskie zgodne z normą europejską EN 998-2 [46], posiadające stosowną deklarację właściwości użytkowych. Norma EN 998-2, a także normy serii EN 1996 dotyczące projektowania i wykonywania ścian murowanych [24] wyróżniają kilka podstawowych typów zapraw murarskich. Do robót budowlanych z wykorzystaniem elementów wapienno-piaskowych stosowane są zaprawy ogólnego przeznaczenia oraz zaprawy do cienkich spoin. Rodzaj przyjętej zaprawy powinien być wskazany w opisie technicznym obiektu budowlanego.

Zaprawa ogólnego przeznaczenia często nazywana jest zaprawą zwykłą. Do grupy zapraw zwykłych wlicza się zaprawy cementowe oraz cementowo-wapienne (tabela 6.1).

Tabela 6.1. Proporcje składników do przygotowania zaprawy zwykłej wg NA.3 i NA.4 z PN-EN 1996-1-1 [24]

Rodzaj zaprawy	Klasa wytrzymałości	Proporcje składników (mierzone objętościowo)		
		cement	wapno	piasek
Cementowa	M20	1	–	2
	M15	1	–	3
	M10	1	–	4
Cementowo-wapienna	M15	1	0,25	3
	M10	1	0,5	4
	M5	1	1	6

Zaprawy murarskie ogólnego przeznaczenia są obecnie coraz rzadziej stosowane. Stosuje się je pod pierwszą warstwą muru, ponieważ dokładność wykonania stropu rzadko pozwala na posadowienie pierwszej warstwy muru na zaprawie cienkowarstwowej.

Zgodnie z NA.3 [24] wytrzymałość zaprawy zwykłej nie powinna być większa niż $2f_b$ dla elementów murowych grupy 1 oraz $1f_b$ dla elementów murowych grupy 2, gdzie f_b oznacza wytrzymałość elementów murowych na ściskanie. Proporcje składników zamieszczone są w tablicach NA.3 oraz NA.4 w normie PN-EN 1996-1-1 [24].

Drugim typem zapraw stosowanych przy wznoszeniu murów z silikatów jest **zaprawa do cienkich spoin**, czasem określana jako zaprawa klejowa. Wynika to z przewidywanej grubości spoin wynoszącej od 0,5 do 3 mm. W przypadku elementów silikatowych zaleca się, aby spoiny miały 2-3 mm grubości, co pozwala na niwelowanie drobnych odchyłek

wymiarowych elementów murowych, dopuszczalnych w ramach deklarowanych tolerancji.

Zaprawy murarskie do cienkich spoin podlegają zharmonizowanej specyfikacji technicznej PN-EN 998-2 [46] i oznaczane są jako typ T.

Zaprawy do cienkich spoin zwykle przeznaczone są do konkretnego rodzaju bloczków (silikatowych lub z betonu komórkowego) i nie powinny być łączone z innymi elementami. Ich właściwości mechaniczne oznaczane są za pomocą litery M, np. M5, M10, M15, gdzie cyfra oznacza wytrzymałość zaprawy na ściskanie. Do murów z bloków wapienno-piaskowych należy stosować zaprawy o klasie wytrzymałości min. M5. Zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [24] zaprawę do cienkich spoin należy traktować jako zaprawę projektowaną, tj. zaprawę przygotowaną fabrycznie, której skład i metoda wytwarzania gwarantują pewność osiągnięcia wymaganych właściwości.

6.2 Murowanie

Ściany murowane wykonane mogą być z wielu typów elementów silikatowych (por. rozdz. 3). W zależności od ich wymiarów oraz ciężaru możliwe jest ich układanie ręczne lub wymagane jest zastosowanie wspomaganie maszynowego.

Elementy murowe silikatowe mogą być wykorzystywane zarówno do wznoszenia ścian naziemnych, jak i tych poniżej poziomu gruntu. Mogą to być mury wznoszone przed, jak również po wykonaniu stropów (mury wypełniające). Zależnie od umiejscowienia wznoszonego muru należy dodatkowo zadbać o jego zabezpieczenie.

W przypadku standardowo murowanych ścian przed wykonaniem stropu bardzo ważna jest właściwa dbałość o zabezpieczenie najwyższej z wymurowanych warstw bloczków przed wpływem opadów. Z tego względu górna powierzchnia muru powinna być zakryta folią zamontowaną w sposób trwały, tak, aby nie została ona w sposób niekontrolowany usunięta, np. przez podmuch wiatru. W okresie spodziewanych silnych opadów deszczu lub opadów śniegu zaleca się również osłonięcie pierwszej, dolnej warstwy elementów murowych, aby nie dopuścić do długotrwałego kontaktu z zalegającą wodą opadową czy śniegiem.

Murowanie ścian można rozpocząć po wykonaniu zabezpieczenia przeciwwodnego ścian piwnicznych. Pierwszą warstwę elementów murowych układa się zazwyczaj na spoinie z zaprawy ogólnego przeznaczenia o grubości 2-3 cm. Zadaniem tej spoiny jest zniwelowanie różnicy poziomów podłoża. Użycie zaprawy do cienkich spoin możliwe jest pod warunkiem odpowiedniego

wypoziomowania podłoża (ścian fundamentowych lub płyty fundamentowej), charakteryzującego się odchyłką maksymalnie 1÷2 mm. W efekcie, po wymurowaniu, wszystkie bloczki pierwszej warstwy powinny znajdować się na jednym poziomie. Ma to kluczowe znaczenie dla dalszych prac murarskich, szczególnie w przypadku stosowania zapraw murarskich do cienkich spoin w kolejnych warstwach muru.

Wykonanie pierwszej warstwy należy rozpocząć od najwyższej położonego narożnika. Kolejno układane elementy murowe muszą być sprawdzane pod kątem wypoziomowania z uprzednio ułożonymi bloczkami. Po wykonaniu pierwszej warstwy bloczków należy odczekać do związania zaprawy murarskiej (ok. 4 godz.). Po tym czasie możliwe jest rozpoczęcie dalszych prac murarskich.

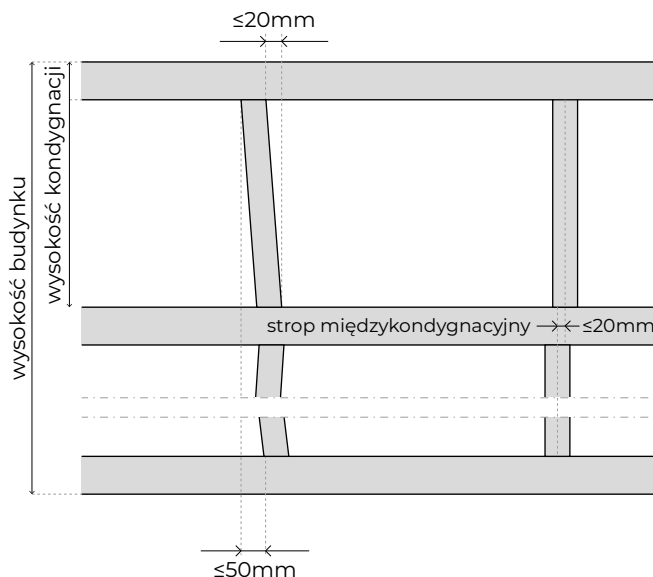
Elementy murowe silikatowe, z uwagi na stosunkowo niewielkie wymiary, są oparte na fundamencie całą swoją szerokością. W szczególnych przypadkach przewidzianych w projekcie budowlanym, wysunięcie konstrukcji muru poza obrys fundamentu nie powinno przekroczyć 1/3 szerokości muru. Jednocześnie pozostała część muru powinna pozostać podparta.

Do wymurowania pierwszej warstwy stosuje się regularne elementy lub wyroby uzupełniające o innej niż typowa wysokości. Elementy murowe wyższych warstw układa się na zaprawie ogólnego przeznaczenia lub zaprawie do cienkich spoin. W zależności od wytycznych projektowych spoiny pionowe wypełniane są zaprawą lub pozostawiane niewypełnione. Zaprawę nanosi się na powierzchni ułożonych już elementów, a na niej osadza się kolejne bloki. Zarówno dolną, jak i górną powierzchnię bloków należy oczyścić z resztek pyłu przed ich umieszczeniem w konstrukcji.

Prace budowlane związane ze wznoszeniem murów z elementów silikatowych należy prowadzić w taki sposób, aby wymiary muru mieściły się w zakresie dopuszczalnych odchyłek. Wartość dopuszczalnych odchyłek może być podana w specyfikacji projektowej lub przyjęta wg PN-EN 1996-2 [25] (tabela 6.2), gdzie wymagania uwzględniają odchyłkę od pionu, od poziomu oraz przesunięcie ścian na kolejnych kondygnacjach. Poprzez odchyłkę od pionu rozumie się wychylenie ścian mierzone zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 6.1. Odchylenie od poziomu mierzy się względem poziomej linii przechodzącej przez dwa dowolne punkty (np. wzdłuż górnej krawędzi). Przesunięcie ścian kolejnych kondygnacji dotyczy ścian, które wg projektu znajdować się mają w jednej osi pionowej.

Tabela 6.2. Dopuszczalne odchyłki konstrukcji murowych wg PN-EN 1996-2 [25]

Rodzaj odchyłki	Dopuszczalne odchylenie, mm
W pionie	
Ściana jednej kondygnacji	± 20
Ściany trzech lub więcej kondygnacji	± 50
W poziomie	
Na każdym metrze	± 10
Na 10 metrach	± 50
Przesunięcie ścian w jednej osi	
Ściany między sąsiednimi kondygnacjami	± 20
Ściany trzech lub więcej kondygnacji	± 50

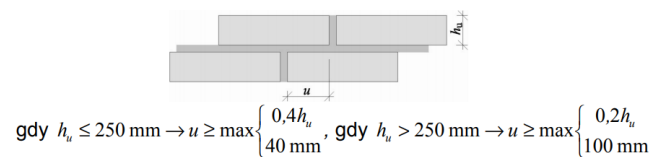


Rys. 6.1. Dopuszczalne odchyłki pionowe konstrukcji murowych wg PN-EN 1996-2, (wg [46])

W przypadku murowania ścian, których grubość nie odpowiada szerokości stosowanych elementów murowych, należy dodatkowo przestrzegać, aby odchyłka grubości muru nie wynosiła więcej niż ± 5%.

6.2.1 Połączenia w konstrukcjach silikatowych

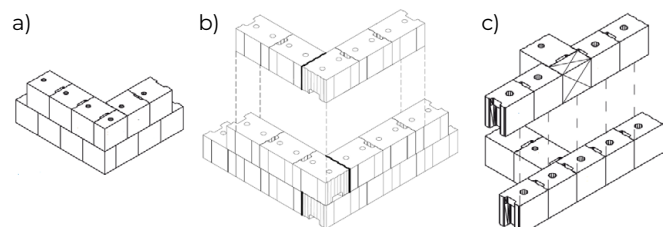
Podczas murowania ścian prostych należy przestrzegać zaleceń co do przewiązania bloków w murze. Elementy murowe w kolejnych warstwach powinny zachodzić na siebie tak, aby mur tworzył jeden element konstrukcyjny (tarczę). W przypadku elementów o wysokości do 250 mm przesunięcie spoin pionowych powinno wynosić co najmniej 40% wysokości elementu, lecz nie mniej niż 40 mm. Podczas stosowania elementów wyższych, zakład powinien wynosić co najmniej 20% wysokości (min. 100 mm). Jeżeli jest to konieczne, należy stosować elementy docinane (rys. 6.2).



Rys. 6.2 Zasady wiązania murów prostych [24]

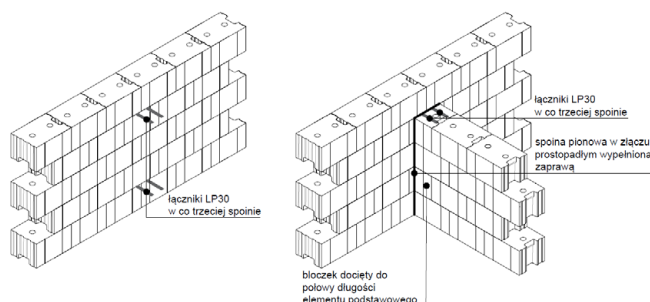
Elementy silikatowe mogą być docinane do niezbędnych wymiarów za pomocą pił tarczowych lub gilotyn. Nie istnieją żadne formalne ograniczenia co do minimalnej wielkości dociętych elementów. Powinny one jednak wykazywać się statecznością oraz regularnością kształtów. Docięte elementy powinny być umieszczane w murze w taki sposób, aby spełnione były wymagania co do przewiązania elementów.

Połączenie ścian murowanych występuje przede wszystkim w narożnikach oraz na styku ścian wewnętrznych i zewnętrznych. Połączenia te zazwyczaj wykonuje się przez przewiązanie murarskie. Wymagania co do przewiązania elementów murowych są takie same jak w murze prostym. W przypadku gdy utrzymanie tych zaleceń nie byłoby możliwe, należy zaplanować takie rozwiązanie, aby przewiązanie nie było mniejsze niż szerokość wbudowywanych elementów. Sytuacja taka może mieć miejsce np. podczas łączenia murów o różnej szerokości lub gdy w miejscu łączenia znajduje się dodatkowy element żelbetowy. W celu uzyskania odpowiedniego wiązania należy również stosować elementy docięte (rys. 6.3).



Rys. 6.3 Sposoby/przykłady wiązania murów:
a) w narożnikach wymagających docinania,
b) w narożnikach niewymagających docinania
c) na styku ścian zewnętrznych i wewnętrznych

Alternatywnym sposobem łączenia ścian jest stosowanie łączników mechanicznych bez przewiązania murarskiego. Połączenie tego typu wykonuje się, gdy mury nie są wznoszone równolegle lub gdy obciążenia na nie działające są znacząco różne (np. połączenie ścian nośnych i działowych). W trakcie murowania łączniki umieszcza się w spoinach poziomych w miejscu projektowanego połączenia. Możliwe jest również późniejsze mechaniczne zamocowanie łączników o kształcie litery „L”. W trakcie murowania kolejnego muru, swobodną część łączników umieszcza się w spoinach poziomych wypełnionych zaprawą (rys. 6.4).



Rys. 6.4 Połączenia ścian murowanych silikatowych za pomocą łączników [49]

Połączenia o znaczeniu konstrukcyjnym wykonuje się, umieszczając łączniki w każdej lub w co drugiej spoinie poziomej. Połączenia ścian nośnych i działowych wymagają mniejszej liczby łączników, zazwyczaj umieszczanych w co drugą lub co trzecią spoinę (zależnie od wysokości elementów). W przypadku bloczków o szerokości 18 cm i większej umieszcza się po dwa łączniki, w ścianach cieńszych – po jednym.

W praktyce budowlanej spotyka się też mniej typowe połączenia, stosowane głównie ze względu na ograniczenie zjawiska bocznego przenoszenia dźwięku. Zakładają one przerwanie ciągłości ściany zewnętrznej za pomocą dylatacji w miejscu połączenia lub przecięcie ściany zewnętrznej konstrukcją ściany prostopadłej. Rozwiązania te wymagają bardziej skomplikowanego rozplanowania prac murarskich, jednak w zamian oferują zwiększony komfort akustyczny użytkowanych lokali.

Połączenie ścian murowanych ze stropem może mieć charakter konstrukcyjny lub nienośny. W efekcie połączenie będzie odpowiednio sztywne lub dylatacyjne.

Połączenie sztywne polega na przenoszeniu obciążenia występującego na stropie (oraz samego ciężaru stropu) na mur poprzez spoinę łączącą oba elementy konstrukcyjne. Spoina ta może być wykonana z zaprawy zwykłej lub ogólnego przeznaczenia. W części przypadków pomiędzy murem a powierzchnią stropu umieszczony jest wieniec żelbetowy. Sytuacja taka występuje szczególnie, gdy wymagana wysokość wieńca jest większa, niż grubość stropu.

Oparcie stropu na ścianach silikatowych nie wymaga żadnych dodatkowych zabiegów, takich jak wykonanie poduszki betonowej czy podmurowania z cegły pełnej. Stropy z powodzeniem opierają się bezpośrednio na murach ze wszystkich typów elementów silikatowych, w tym drążonych.

Połączenie dylatacyjne występuje w przypadku ścian wypełniających (w tym działowych) lub usztywniających. Mury tego rodzaju nie są projektowane pod kątem przenoszenia obciążeń pionowych i celowo są konstrukcyjnie oddzielone od stropu znajdującego się powyżej. W celu zachowania szczelności konstrukcji (ze względów ogniowych lub akustycznych) szczelinę między stropem a murem wypełnia się materiałem trwale elastycznym. Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest wykorzystanie wełny mineralnej i zasłonięcie szczeliny tynkiem gipsowym.

W ścianach podatnych na odkształcenie spoza płaszczyzny stosuje się dodatkowe, elastyczne zamocowanie do górnej krawędzi. Zamocowanie to realizuje się poprzez umieszczenie kotew sprężynujących w co drugą lub trzecią spoinę pionową i ich montaż do stropu. Alternatywnym rozwiązaniem jest montaż stalowych profili wzdłuż górnej krawędzi muru. Profile tego rodzaju stosowane są częściej w obiektach przemysłowych, w których mniejsze znaczenie ma estetyka wykonania.

Połączenia dylatacyjne stosuje się w wybranych przypadkach na styku muru i przylegających elementów konstrukcyjnych innego rodzaju (najczęściej żelbetowych) oraz w murach narażonych na rozszerzanie pod wpływem zmian temperatury i wilgotności. Dylatacja (celowo utworzona szczelina) powinna być wykonana z materiałów trwale elastycznych, zapewniających jednocześnie możliwość odkształcenia muru oraz jego szczelność. Najczęstszym sposobem wykonania dylatacji jest wykonanie otwartej spoiny pionowej (niewypełnionej zaprawą) o szerokości do 20 mm. Następnie w spoinie umieszczana jest taśma rozprężna lub sznur polietylenowy. W przypadku zastosowania sznura dodatkowo wykonuje się uszczelnienie za pomocą masy akrylowej. Maksymalne poziomy rozstaw dylatacji w murach silikatowych, określone w załączniku krajowym do EN 1996-2 [25], zamieszczono w tabeli 6.3. Rozstaw dylatacji pionowych może być zwiększony w murach ze zbrojonymi spoinami wspornymi. Ostateczne miejsca wykonania dylatacji i konieczność stosowania zbrojenia spoin wspornych powinny wynikać z analizy projektu i być opisane w projekcie budynku w sposób jednoznaczny. Dla dylatacji poziomych, wymaganych np. w zewnętrznej warstwie ścian szczelinowych, stosuje się dodatkowo konsolle wsporcze do podtrzymania muru powyżej linii dylatacji.

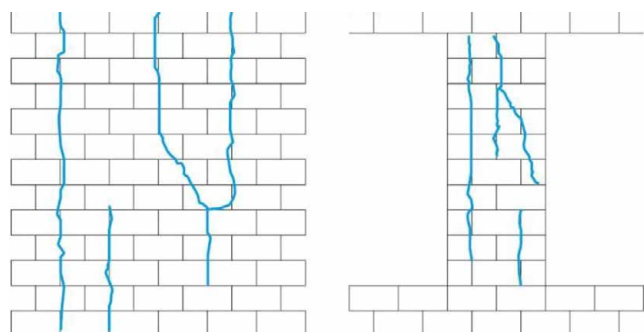
Tabela 6.3. Maksymalny poziomy rozstaw dylatacji pionowych w murach silikatowych wg PN-EN 1996-2 [25]

Rodzaj ściany	Typ konstrukcji		Dopuszczalny poziomy rozstaw dylatacji
Ściany zewnętrzne nośne i nienośne	ściany jednowarstwowe	spoiny pionowe wypełnione	25 m
		spoiny pionowe niewypełnione	20 m
	ściany szczelinowe	warstwa zewnętrzna	8 m
		warstwa wewnętrzna	30 m
Ściany wewnętrzne nośne	ściany jednowarstwowe		30 m*
Ściany wewnętrzne nienośne	ściany jednowarstwowe		8 m

*Wartość nieujęta w PN-EN 1996-2, przyjęta jak warstwa wewnętrzna zewnętrznych ścian szczelinowych

6.2.2 Zbrojenie murów

Zbrojenie konstrukcji murowej wykonanej z elementów silikatowych może być wykonane w kierunku poziomym oraz pionowym. Zbrojenie pionowe wykonuje się głównie ze względu na ogólną charakterystykę budynku oraz przewidywany sposób pracy ścian murowanych. Zbrojenie poziome częściej ma za zadanie zapobieganie powstawaniu rys na skutek lokalnego naprężenia (rys. 6.5). Przykładem miejsca, w których może dojść do takiej sytuacji, są narożniki budynków, strefa podokienna czy filarki międzyokienne. Wszelkiego typu zbrojenie murów powinno być uwzględnione w projekcie budowlanym.



Rys. 6.5 przykłady zarysowań powstałych na skutek przecięcia muru na ściskanie: a) zarysowanie ściany, b) zarysowanie filarka międzyokiennego [50]

Zbrojenie poziome umieszcza się w spoinach wspornych muru. W zależności od rodzaju spoin stosuje się odpowiedni system zbrojenia. W murach ze spoinami z zaprawy ogólnego przeznaczenia (szerokość spoin 8-15 mm) możliwe jest wykonanie zbrojenia z gotowych elementów lub zbrojonych prętów stalowych o średnicy od 5 mm do 8 mm. W ścianach murowanych na zaprawie do cienkich spoin zastosować należy prefabrykowane elementy zbrojenia, które są w formie kratownic zbrojeniowych o przekroju ok. 4 mm (do murów na zaprawie ogólnego przeznaczenia) lub 2 mm (do murów na zaprawie do cienkich spoin). Drugim typem zbrojenia

są maty, dostępne w formie rolki. Zbrojenie to może być stosowane zarówno w spoinach zwykłych, jak i cienkich.

Niezależnie od rodzaju spoin oraz typu zbrojenia, zbrojenie należy umieszczać w taki sposób, aby zaprawa stanowiła otulinę min. 15 mm od lica muru. W przypadku konieczności wykonania zbrojenia na odcinku dłuższym niż dostępne elementy, należy zastosować min. 200 mm zakład, przy czym w kolejnych spoinach muru połączenia te muszą być wykonane w różnych miejscach, tak, aby nie występowały w jednej linii.

Zbrojenie pionowe wykonuje się znacznie rzadziej niż poziome. W murach silikatowych możliwe jest jego umieszczenie w pionowych kanałach (drążeniach przelotowych) występujących w elementach murowych. Warunkiem jest takie wymurowanie ścian, aby kanały w poszczególnych blokach pokrywały się w pionie w kolejnych warstwach.

Za szczególny przypadek pionowego zbrojenia muru uznać można tzw. skrępowanie. Polega ono na wykonaniu żelbetowych elementów konstrukcji (trzpieni) zespolonych z murem. W pierwszej kolejności wznosi się konstrukcję murową, w której pozostawia się przestrzeń na wykonanie żelbetowych rdzeni. Jednocześnie, przed ich wykonaniem, w murze pozostawia się strzępia (które wypełnia się betonem wraz ze zbrojonym rdzeniem) lub wpuszczenie zbrojenia spoin wspornych (poziomych) muru w miejsce wykonania trzpieni.

6.2.3 Bruzdowanie

Wykonywanie bruzd i wnęk w murach silikatowych z uwagi na ich twardość, wymaga stosowania odpowiednich narzędzi. Część wnęk możliwa jest do wykonania na etapie prac murarskich, pozostałe wykonuje się w gotowym murze.

Zależnie od sposobu ich wykonania norma EN 1991-1-1 [24] wprowadza ograniczenia wymiarów (szerokości

i głębokości) bruzd i wnęk. Wykonanie ich w tym zakresie uznaje się za pozostające bez wpływu na nośność muru. Bruzdy o wymiarach przekraczających wymiary podane

w tabelach 6.4 i 6.5 powinny być uwzględnione w projekcie konstrukcyjnym. Nie należy ich wykonywać bez konsultacji z projektantem.

Tabela 6.4 Dopuszczalna wielkość bruzd pionowych i wnęk w ścianach silikatowych, które można pominąć w obliczeniach [24]

Grubość ściany	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
100; 115	30	100	70	300
150; 175		125	90	
200		150	140	
240; 300;		175	175	
365; 480		200	215	

Uwagi:

- Pionowe bruzdy, które nie sięgają dalej niż na 1/3 wysokości ściany ponad stropem, mogą mieć głębokość do 80 mm i szerokość do 120 mm, jeżeli grubość ściany wynosi nie mniej niż 225 mm.
- Poziome odległości między sąsiednimi bruzdami lub od bruzdy do wnęki bądź otworu nie powinny być mniejsze niż 225 mm. Odległość pomiędzy sąsiednimi wnękami (nawet jeśli występują po drugiej stronie ściany), nie powinny być mniejsze niż dwukrotna szerokość szerszej z wnęk.
- Łączna szerokość pionowych bruzd i wnęk nie powinna przekraczać 0,13 długości ściany.

Tabela 6.5. Dopuszczalna wielkość bruzd poziomych i ukośnych w ścianach silikatowych, które można pominąć w obliczeniach [24]

Grubość ściany	Maksymalna głębokość, mm	
	Długość bez ograniczeń	Długość ≤ 1250 mm
100; 115	-	-
150; 175	-	15
200	10	20
240; 300;	15	25
365; 480	20	30

Uwagi:

- Odległość pozioma między bruzdą i otworem nie powinna być mniejsza niż 500 mm.
- Odległość pozioma między przyległymi bruzdami powinna być nie mniejsza niż dwukrotna długość bruzdy dłuższej (nawet, jeśli występują po obu stronach przegrody)
- W ścianach o grubości większej niż 150 mm z bruzdami wycinanymi maszynowo dopuszczalną głębokość bruzdy można zwiększyć o 10 mm. W ścianach o grubości większej niż 225 mm bruzdy wycinane maszynowo o głębokości do 10 mm można wykonywać z obu stron ściany.
- Szerokość bruzdy nie powinna przekraczać połowy grubości ściany w miejscu bruzdy.

7. PRZYSZŁOŚĆ SILIKATÓW W BUDOWNICTWIE

WOJCIECH ROGALA

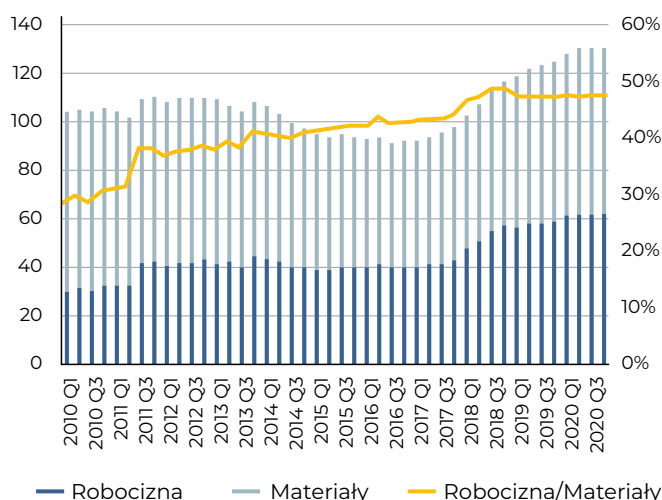
Wapienno-piaskowe elementy murowe sukcesywnie od wielu lat odnotowują wzrost sprzedaży. Z uwagi na bardzo dobre parametry akustyczne ściany silikatowe stały się synonimem gwarancji zapewnienia komfortu akustycznego wewnątrz mieszkań. Wysokie parametry akustyczne i wytrzymałościowe przy mniejszej grubości ściany pozwalają na bardziej optymalne wykorzystanie działek budowlanych. Co więcej, z roku na rok rośnie świadomość ekologiczna inwestorów, dlatego naturalne pochodzenie składników wykorzystywanych do produkcji silikatów – produkowanych z piasku, wapna i wody – staje się coraz ważniejszym czynnikiem decydującym o wyborze tych elementów murowych w rozwiązaniach projektowych.

Najważniejszą zaletą i jednocześnie wadą elementów wapienno-piaskowych jest ich ciężar. Duży ciężar silikatów pozwala na osiągnięcie najwyższych parametrów akustycznych i z tego powodu silikaty są obecnie najpopularniejszym materiałem stosowanym w budownictwie wielorodzinnym. Duża masa elementów stwarza jednak dwa ograniczenia – konieczne duże nakłady na wymurowanie ścian oraz duże obciążenie konstrukcji budynku. Rozwój technologii wznoszenia ścian z wykorzystaniem bloków wapienno-piaskowych prognozowany jest zatem w tym obszarze.

Izolacyjność akustyczna podlega prawu masy, dlatego poszukiwanie surowców zmniejszających gęstość wiązałyby się ze wzrostem grubości przegród. W Europie można spotkać lżejsze produkty silikatowe, dedykowane do pierwszej warstwy muru [51]. Mostek termiczny pierwszej warstwy może być jednak wyeliminowany przez inne usytuowanie warstw posadzkowych. W sytuacji, kiedy ilość atrakcyjnych gruntów na cele budowlane w dużych miastach maleje, a świadomość w zakresie ochrony przed hałasem i drganiami rośnie, taki rozwój technologii produkcji elementów wapienno-piaskowych jest mało prawdopodobny i nie znajdzie szerokiego zastosowania.

W ciągu ostatnich dziesięciu lat znacznie zmienił się udział kosztów robót budowlanych do ceny jednostkowej muru z bloków silikatowych (rys. 7.1). W pierwszym kwartale 2010 roku udział kosztów robocizny w cenie jednostkowej ściany wynosił zaledwie 32%. Po dziesięciu latach, w czwartym kwartale 2020 roku, udział kosztów robocizny w cenie jednostkowej ściany wynosił już 48%. Pomimo wzrostu cen

materiałów, dopiero od końca 2018 r. ceny materiałów rosły proporcjonalnie do kosztów robocizny. Dla porównania, w Holandii udział kosztów robocizny w cenie jednostkowej ściany wynosi ponad 70%.



Rys. 7.1. Stosunek kosztów robocizny i materiałów w latach 2010-2020 (na podstawie [52] i [53])

W ostatniej dekadzie koszty robocizny w budownictwie wzrosły przeszło dwukrotnie [53]. Jest to częściowo związane z ogólnym wzrostem poziomu wynagrodzeń. Dynamika wzrostu kosztów robocizny w budownictwie jest jednak większa niż przyrost średniego wynagrodzenia w Polsce. Szczególnie w przypadku robót murarskich, gdzie prace wymagają dużego wysiłku fizycznego (średniej wielkości dom jednorodzinny oznacza w przypadku silikatów konieczność wbudowania ok. 60 ton materiałów murowych). Jest to jeden z powodów stałego problemu z dostępnością wykonawców. Obecnie murarze, obok zbrojarzy, stanowią najbardziej poszukiwane specjalności w budownictwie [54]. Z jednej strony czynniki te ograniczają potencjał rynku wyrobów murowych do szerszego stosowania silikatów w budownictwie, z drugiej jednak – rozwój technologii co raz częściej pozwala na mechanizację prac murarskich, która pozwala na przyspieszenie robót i zmniejszenie nakładu pracy fizycznej.

Technologia wznoszenia murów w Polsce przez ostatnie 30 lat zmieniała się. Obecnie obiekty budowlane nie są już wykonywane z użyciem tradycyjnych cegieł. Współczesne elementy murowe mają znacznie większe rozmiar, oraz występują w nich profilowania na tzw. pióro-wpust, które pozwalają na wznoszenie murów bez wypełniania spoiny

pionowej. W większości przypadków stosuje się też zaprawy cienkowarstwowe, ponieważ zdecydowana większość elementów murowych dostępnych na rynku posiada

tolerancje wymiarowe, które to umożliwiają. Wszystkie te udoskonalenia odpowiadają za skrócenie czasu budowy ścian, co przekłada się na mniejsze koszty budowy.

7.1 Systemy wielkoformatowe

Wielkoformatowe elementy silikatowe są dostępne w Polsce, chociaż ich udział w rynku jest wciąż niewielki. Dla przykładu, w Holandii zdecydowana większość budynków mieszkalnych wznoszonych z silikatów wykonywana jest w technologiach wielkoformatowych.

W kolejnych latach najprawdopodobniej nastąpi powiększenie formatu elementów murowych. Właściwości silikatów są ściśle powiązane z dużą gęstością, dlatego wymiary obecnie produkowanych elementów nie mogą być zwiększone bez rozwoju mechanizacji prac murarskich.

Wielkowymiarowe elementy silikatowe są dostępne w Polsce, chociaż ich udział w rynku jest wciąż niewielki. Będzie on jednak rósł wraz ze wzrostem kosztów robocizny. Dla przykładu w Holandii zdecydowana większość budynków mieszkalnych wznoszonych z silikatów, wykonywana jest w technologiach wielkowymiarowych.

Rozwój systemów wielkoformatowych może napotkać w początkowym okresie opór przed zmianami, z racji konserwatywnego charakteru branży budowlanej. Analogiczne problemy występowały przy wprowadzaniu na rynek zaprawy cienkowarstwowej. Jednak z upływem czasu wykonawcy docenili zalety wynikające z tego rozwiązania i obecnie murarze niechętnie powracają do tradycyjnej technologii. Podobnie powinno być z mechanizacją prac na budowie i użyciem wielkowymiarowych elementów.

Rozwój technologii wielkoformatowych hamowany jest także przez często niewystarczające nakłady pracy na etapie przygotowania inwestycji. W konsekwencji rozmowy na polskich budowach często ograniczają się do negocjacji cen, a nie do analizy wpływu zmiany technologii na rentowność całej inwestycji. Konstrukcje murowe często leżą na ścieżce krytycznej projektu, dlatego każda optymalizacja technologii wznoszenia murów wpływa na skrócenie czasu trwania całego projektu.

7.2 Mechanizacja prac na budowie

W Polsce dostępne są elementy murowe wapienno-piaskowe o wymiarach 50 x 60 cm. Pojedynczy element waży 100-130 kg, ale pracownicy nie przenoszą ich ręcznie, dlatego nie odczuwają fizycznego zmęczenia. W jednym cyklu pracy miniżurawia może powstać nawet 0,3 m² muru. Zastosowanie elementów pozwala na znaczne zwiększenie efektywności budowy. Prace murarskie trwają średnio o połowę krócej, a skład brygady murarskiej wynosi 2 osoby. Wielkowymiarowe elementy montuje się za pomocą miniżurawi. W ostatnim czasie na

naszym rynku pojawiły się nowe urządzenia, także lżejsze i bardziej zwinne modele, przeznaczone na mniejsze budowy. Przykładowo miniżuraw MK 240, który nie wymaga specjalnych uprawnień operatora. Nowością jest hydrauliczny miniżuraw Spider, który pozwala montować elementy pod stropami – urządzenie wypełniło niszę rynkową, może pracować w budynkach o konstrukcji szkieletowej. Na świecie w wielu ośrodkach naukowych trwają również prace nad opracowaniem robota do autonomicznego murowania ścian.



Rys. 7.2. Miniżuraw MK 240 do murowania ścian konstrukcyjnych, fot. Xella Polska



Rys. 7.3. Miniżuraw Spider do murowania podstropowego, fot. Xella Polska

Duży ciężar, wymagany z uwagi na zachowanie parametrów akustycznych, stanowi przeszkodę do użycia silikatów jako elementów tworzących ściany wypełniające w konstrukcji szkieletowej. Taki typ konstrukcji jest popularny w dużych miastach, gdzie budynki mają znaczną wysokość, a na

najniższych kondygnacjach nadziemnych zlokalizowane są lokale usługowe, wymagające otwartej przestrzeni. Przy takim zastosowaniu silikatów nie jest wykorzystywana ich duża wytrzymałość na ściskanie.

7.3 Rozwój technologii BIM ^[56]

Technologia Building Information Modeling (BIM) zyskuje coraz większe znaczenie w sektorze budowlanym, szczególnie w kontekście budownictwa silikatowego, oferując liczne korzyści na każdym etapie cyklu życia budynku – od fazy projektowania po eksploatację. BIM nie jest jedynie narzędziem do wizualizacji trójwymiarowych modeli, lecz technologią umożliwiającą tworzenie cyfrowych bliźniaków obiektów, czyli dokładnych cyfrowych reprezentacji budynków, które zawierają pełen zbiór parametrów fizycznych i funkcjonalnych. Dzięki temu technologia BIM stanowi kluczowy element poprawy efektywności projektowania, realizacji i użytkowania inwestycji budowlanych, co przekłada się na wyższą jakość projektów, redukcję kosztów oraz ograniczenie liczby błędów projektowych. Ponadto, BIM umożliwia bardziej precyzyjne odwzorowanie projektu w stosunku do rzeczywistości, co ma duże znaczenie w przypadku złożonych inwestycji, wymagających współpracy wielu branż.

Rozwój BIM w najbliższych latach będzie znacząco rozszerzał możliwości projektowe. Cyfrowy model budynku, opracowany za pomocą tej technologii, umożliwia wykrywanie potencjalnych kolizji projektowych na bardzo wczesnym etapie, co znacznie usprawnia proces detekcji błędów i ich eliminacji. To także pozwala na bardziej realistyczne odwzorowanie procesu budowy oraz planowanie realizacji z użyciem zaawansowanych technologii, takich jak rozszerzona rzeczywistość (AR). Już dziś wykorzystanie okularów AR w połączeniu z modelami BIM umożliwia precyzyjne odwzorowanie projektowanego położenia ścian, co pozwala na szybsze i bardziej efektywne wychwytywanie potencjalnych błędów konstrukcyjnych. BIM sprawia, że wszystkie działania na budowie stają się bardziej przewidywalne i możliwe do precyzyjnego zaplanowania, co pozwala zminimalizować koszty oraz opóźnienia, które często występują w projektach budowlanych.

W przypadku budownictwa silikatowego, technologia BIM ma szczególne znaczenie, zwłaszcza przy projektowaniu obiektów z wykorzystaniem elementów wielkoformatowych. BIM pozwala na automatyczne tworzenie szczegółowych planów montażowych, jak również na precyzyjne określanie ilości materiałów budowlanych potrzebnych na budowie. Dzięki temu proces logistyczny staje się bardziej zorganizowany – możliwe jest dostarczenie dokładnej ilości materiałów na budowę, bez nadmiernego gromadzenia zapasów, co przekłada się na redukcję strat oraz usprawnienie harmonogramu realizacji inwestycji. Modelowanie BIM również pozwala na dokładne dopasowanie projektu do modularnych wymiarów produktów, co jest szczególnie istotne w budownictwie silikatowym.

Dopasowanie to nie tylko wpływa na zmniejszenie powstałych odpadów materiałowych, ale również skraca czas montażu, zwiększając efektywność procesu budowlanego.

Technologia BIM nie ogranicza się jednak tylko do kwestii projektowania, ale, przede wszystkim, staje się narzędziem umożliwiającym efektywną koordynację międzybranżową. Dzięki wykorzystaniu otwartych formatów, takich jak IFC (Industry Foundation Classes), uczestnicy projektu mogą swobodnie wymieniać dane, niezależnie od stosowanego oprogramowania, co znacznie ogranicza ryzyko wystąpienia błędów wynikających z niespójności danych. Przepływ informacji pomiędzy architektami, inżynierami branżowymi oraz wykonawcami, który niegdyś był wyzwaniem, jest obecnie płynny i efektywny, co minimalizuje ryzyko kolizji oraz prowadzi do znaczących oszczędności czasu i zasobów. Otwarta komunikacja ułatwia również wprowadzanie zmian, co jest kluczowe w przypadku skomplikowanych inwestycji wymagających dynamicznych decyzji. Ponadto, dzięki takiemu podejściu możliwa jest integracja technologii BIM z innymi systemami zarządzania budową, co zwiększa spójność procesu realizacyjnego.

BIM umożliwia także automatyzację wprowadzania zmian w modelu. Zmiana wprowadzona w jednym miejscu jest automatycznie uwzględniana we wszystkich rzutach, przekrojach i zestawieniach, co zapewnia spójność dokumentacji oraz ogranicza konieczność ponownych korekt i minimalizuje ryzyko błędów. Taka automatyzacja wpływa także na skrócenie czasu potrzebnego na aktualizację harmonogramu, co pozwala na bardziej płynne zarządzanie projektem i lepsze dostosowanie do zmieniających się warunków realizacyjnych. Ma ona szczególne znaczenie w projektach dużej skali, gdzie zmiany są częstym elementem pracy projektowej, a konsekwencje błędów mogą być bardzo kosztowne. Zautomatyzowana kontrola wersji projektu i natychmiastowa aktualizacja dokumentacji przyczyniają się do zmniejszenia ryzyka błędnej interpretacji lub pominięcia kluczowych informacji przez członków zespołu projektowego.

Na etapie realizacji inwestycji BIM umożliwia zaawansowane planowanie harmonogramu i kosztorysowanie. Zintegrowane modele 3D wraz z danymi dotyczącymi czasu realizacji (4D) i kosztów (5D) pozwalają na przeprowadzenie szczegółowych symulacji, co umożliwia bieżącą kontrolę nad harmonogramem prac i kosztami. Dzięki temu wykonawcy mogą monitorować proces realizacji, przewidywać potencjalne problemy i wprowadzać korekty na wczesnym etapie, co

wpływa na zmniejszenie ryzyka opóźnień i przekroczenia budżetu. Symulacje BIM ułatwiają optymalizację działań budowlanych oraz pomagają lepiej przewidywać wpływ poszczególnych decyzji na całość inwestycji. Technologia ta pozwala również na dokładne planowanie zasobów ludzkich, sprzętu oraz materiałów, co ma istotny wpływ na optymalizację wykorzystania dostępnych zasobów i redukcję przestojów na placu budowy. Wykorzystanie modeli 4D i 5D zapewnia większą przejrzystość oraz ułatwia komunikację między uczestnikami projektu, co wpływa na zwiększenie poziomu współpracy.

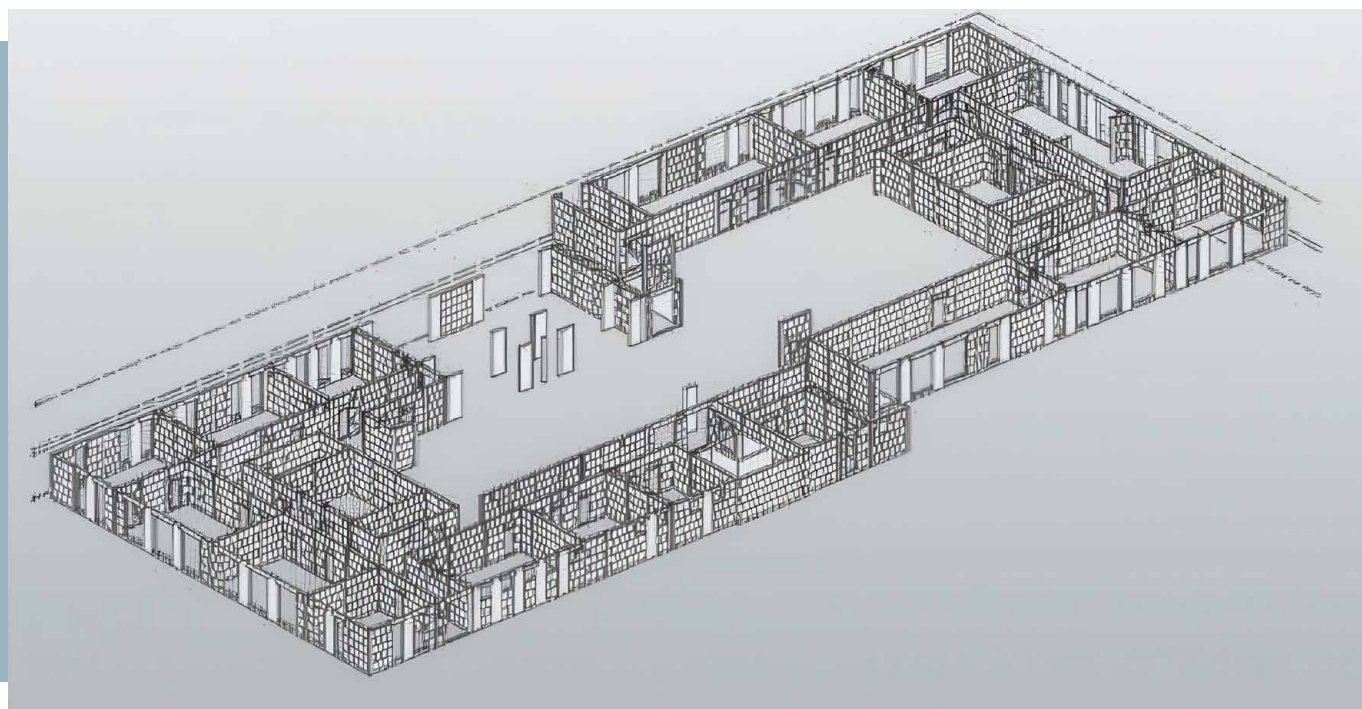
Równie istotne jest wykorzystanie technologii BIM na etapie eksploatacji budynku. Zarządcy mogą korzystać z cyfrowego modelu budynku do monitorowania serwisowania, przechowywania dokumentacji oraz planowania renowacji. Technologia BIM pozwala na pełną transparentność informacji dotyczących lokalizacji instalacji, materiałów użytych w budowie oraz przeprowadzonych prac serwisowych. Dzięki temu wszelkie działania modernizacyjne mogą być planowane i testowane na modelu cyfrowym, co przyczynia się do zmniejszenia ryzyka popełnienia błędów i zwiększenia efektywności. Ponadto, planowanie działań rozbiórkowych na podstawie modelu BIM może umożliwić bardziej efektywne i ekologiczne zakończenie cyklu życia budynku. Model cyfrowy budynku umożliwia przewidywanie potencjalnych problemów, zanim faktycznie się pojawią, a także umożliwia bardziej efektywne zarządzanie konserwacją oraz wydłużenie żywotności budynku poprzez wczesną interwencję w przypadku pojawiających się usterek.

Producenci materiałów budowlanych także dostrzegają rosnący potencjał BIM i aktywnie wdrażają rozwiązania wspierające projektowanie przy użyciu ich produktów. Tworzenie cyfrowych modeli materiałów budowlanych, takich jak bloki silikatowe (np. w formie tzw. rodzin), umożliwia projektantom łatwiejsze

zintegrowanie produktów z modelem budynku (rys. 7.4). Modele te zawierają szczegółowe informacje techniczne, co pozwala na precyzyjniejsze planowanie zużycia materiałów, optymalizację projektów pod kątem wymiarów modularnych oraz minimalizację strat materiałowych.

Producenci coraz częściej oferują także narzędzia, takie jak biblioteki produktowe, wtyczki do oprogramowania projektowego oraz modele analityczne, które pomagają użytkownikom lepiej wykorzystać dostępne rozwiązania. Dzięki BIM producenci mogą dostosować swoje produkty do specyficznych wymagań projektu, co pozwala na jeszcze większą personalizację i optymalizację rozwiązań stosowanych na budowie.

W dłuższej perspektywie rozwój technologii BIM ma szansę znacząco wpłynąć na rolę producentów w procesie budowlanym. Ścisła współpraca pomiędzy producentami a projektantami i wykonawcami przy użyciu BIM umożliwia lepszą integrację produktów z projektami, co przekłada się na większą efektywność procesów budowlanych. Przykładem tego może być wykorzystanie rozszerzonej rzeczywistości na budowie, gdzie dzięki modelom BIM oraz odpowiednim narzędziom możliwe jest zrezygnowanie z papierowych planów montażowych, co przyspiesza prace montażowe oraz ułatwia szkolenie pracowników. Takie podejście daje producentom możliwość aktywnego uczestnictwa w całym procesie realizacji inwestycji. W przyszłości BIM może stać się standardem w zarządzaniu całością cyklu życia budynków, od planowania przez realizację, eksploatację aż po rozbiórkę, umożliwiając nie tylko lepszą kontrolę nad kosztami i harmonogramem, ale również bardziej zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi i minimalizację wpływu budownictwa na środowisko.



Rys. 7.4 Plany montażowe wielkofotmatowych elementów silikatowych [56]

LITERATURA

- [1] Drobiec Ł., Mury skrapowane z elementów silikatowych, Wyd. Stowarzyszenie Producentów.
- [2] Kryza R., Kamień w architekturze i sztuce: od Asuanu do Żagania. W: Żelaźniewicz A., Wojewoda J., Cieżkowski W. (red.), Mezozoik I Kenozoik Dolnego Śląska, s. 195-209, WIND, Wrocław, 2011.
- [3] www.kalksandstein.de [data dostępu 3.03.2024r.]
- [4] Peppel S.V., Manufacture of sand-lime brick, Ohio State Geological Survey, Bulletin no 5, 1905.
- [5] Patent, Autoclaved sand-lime bricks, British Patent nr 2470/1865.
- [6] Warren E.E., Technological Papers of Bureau of Standard, Manufacture and properties of sand-lime brick, Washington Government Printing Office, 1917.
- [7] Patent, Process of Manufacture of Artificial Sandstone, Deutsches Reichspatent, p. 14195; Oct. 5, 1880.
- [8] Ernest T.R., Sand-lime bricks, PhD Thesis, University of Illinois 1910.
- [9] Parr S.W., Ernest T.R., A study of sand-limebrick, Illinois State Geological Survey Bulletin, No. 18, 1912.
- [10] Warren E.E., The manufacture and properties of sand-lime brick, „Journal of the Franklin Institute” 1917, vol. 183, Iss. 2, February, s. 231.
- [11] Sawicki J., Silikaty w budownictwie, „Izolacje” 2009, nr 1, s. 82-87.
- [12] Kaczmarek T., Bott Ch., 100 Jahre Kalksandstein Industrie, Bundesverb, Kalksandsteinindustrie, Hannover, 1994.
- [13] DIN 106: 1926-10 - Calcium silicate bricks (Bricks), Kalksandsteine (Mauersteine), German.
- [14] PN-B-12003:1951 – Cegły wapienno-piaskowe.
- [15] PN-B-12066:1998: Wyroby budowlane silikatowe. Cegły, bloki, elementy.
- [16] PN-EN 771-2+A1:2015-10: Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 2. Elementy murowe silikatowe
- [17] PN-EN 459-1:2015 Wapno budowlane. Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności
- [18] Pytel Z., Różycka A.: Autoklawizowane materiały budowlane, w: Małolepszy J. (red.) Podstawy technologii materiałów budowlanych i metody badań, Wyd. AGH, Kraków 2022.
- [19] Załącznik nr 1 do Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG
- [20] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2022, poz. 1225, ze zm.).
- [21] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. 2023, poz. 682 ze zm.)
- [22] Macech J., Promieniotwórczość naturalna materiałów budowlanych, „Ekspert Budowlany”, 6, 2019, s. 14-16.
- [23] Zapotoczna-Sytek G., Balkovic S., Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia, właściwości, zastosowanie, PWN, Warszawa 2013.
- [24] PN-EN 1996-1-1:2023-08 – Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych
- [25] PN-EN 1996-2:2010 Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych – Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów
- [26] PN-EN 1996-1-2:2010 – Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe
- [27] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2017 r. w sprawie sposobów deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym.
- [28] www.ks-original.de/ks-quadro/system-ks-quadro [data dostępu 6.12.2023r.]
- [29] PN-EN 13501-2:2023-09 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków - Część 2: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej
- [30] PN-EN 13501-1:2019-02 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień.

- [31] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
- [32] www.encyklopedia.pwn.pl [data dostępu 10.09.2024r.]
- [33] Rogala W.: Izolacyjność akustyczna w budynkach mieszkalnych, „Ekspert budowlany”, 1, 2022, s. 14-15.
- [34] PN-EN ISO 717-1:2013-08 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [35] Królikowki M., Akustyka ścian wapienno-piaskowych (silikatowych), „Inżynier budownictwa”, 115, 2-14, s.12-16.
- [36] PN-EN ISO 12354-1:2017-10 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami
- [37] poradnik ITB nr 406/2016 Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynku według PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002.
- [38] PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach - Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
- [39] Dulak L., Izolacyjność od dźwięków powietrznych i uderzeniowych, , Wyd. Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe murowanie”, Warszawa 2016.
- [40] Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376 ze zm.).
- [41] PN-EN ISO 6946: 2017-10 Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metody obliczania
- [42] PN-EN ISO 13788:2013-05 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej – Metody obliczania
- [43] PN-EN ISO 10211:2017-09 Mostki cieplne w konstrukcji budowlanej – Przepływy ciepła i temperatury powierzchni - Obliczenia szczegółowe
- [44] Rogala W.: Wytrzymałość muru na ściskanie, „Izolacje”, 4, 2015.
- [45] Raport Kompleksowe badania murów z elementów silikatowych, wykonany przez Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej na zlecenie polskich producentów silikatów.
- [46] PN-EN 998-2: 2016-12 Wymagania dotyczące zaprawy do murów. Część 2: Zaprawa murarska
- [47] PN-EN 1052-1:2000 Metody badań murów – Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [48] PN-EN 1996-3:2010 Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych. Część 3: Uprozczone metody obliczania murowych konstrukcji niezbrojonych
- [49] www.xella.pl - Xella Polska [data dostępu 24.05.2024r.]
- [50] Drobiec Ł., Przyczyny uszkodzeń murów – błędy projektowe, „Izolacje”, 7-8, 2017
- [51] Das Baubuch, Sicher planen und bauen, Xella.
- [52] Baza cenowa Sekocenbud, IMI, od 1 kw. 2020 do 4 kw. 2020.
- [53] Baza cenowa Intercenbud, od 1 kw. 2010 do 4 kw. 2020.
- [54] www.wielkiebudowanie.pl [data dostępu 22.04.2024r.]
- [55] Dakhil Z., Fafhaj Z., Robotic mechanical design for brick-laying automation. Silikatów „Białe murowanie”, Warszawa 2020.
- [56] Nowaczyk J., Cyfryzacja budownictwa – czy producenci materiałów budowlanych mogą wspierać rozwój technologii BIM?, Izolacje, 11/12, 2022
- [57] Walther H.B., Nachweis der Rückbindung von CO₂ w Kalksandstein durch Rekarbonatisierung, Bautechnol, 12 (101), 2024, 737-749.

Autorzy:

Piotr Harassek, Xella Polska Sp. z o. o.

Robert Janiak, H+H Polska Sp. z o. o.

Marek Królikowski, SILIKATY - BIAŁYSTOK Tępiński Spółka Komandytowa

Józef Macech, Przedsiębiorstwo Produkcji Materiałów Budowlanych Niemce S. A.

Mirella Magdziarz-Żak, Stowarzyszenie Producentów Silikatów "Białe murowanie"

Joanna Nowaczyk, H+H Polska Sp. z o. o.

Wojciech Rogala, Xella Polska Sp. z o. o.

Piotr Suchta, H+H Polska Sp. z o. o.

Współpraca:

Zbigniew Osowiecki

Rozdział 1 "Historia silikatów", został opracowany na podstawie publikacji prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec, "Mury skrępowane z elementów silikatowych", wyd. Stowarzyszenie Producentów Silikatów "Białe murowanie", Warszawa 2020.

Redakcja:

dr inż. Iga Jasińska, Ekspertka Stowarzyszenia Producentów Silikatów "Białe murowanie"

Wydawca:

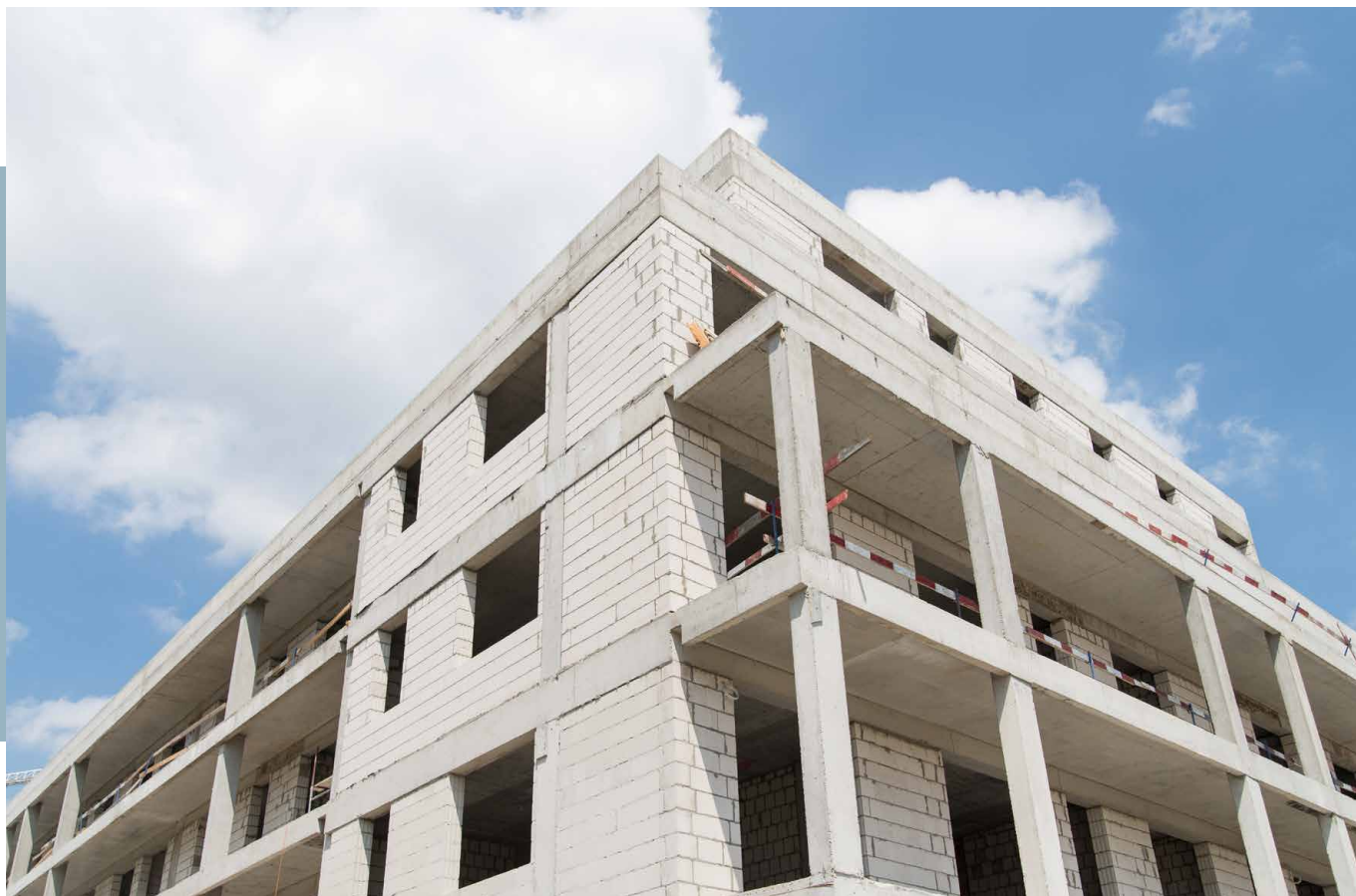
Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe murowanie”

ul. Nowy Świat 41a

00-042 Warszawa

www.bialemurowanie.pl

Warszawa 2025



CZŁONKOWIE WSPIERAJĄCY



Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe murowanie”
ul. Nowy Świat 41a, 00-042 Warszawa
tel.: +48 607 707 165
e-mail: stowarzyszenie@bialemurowanie.pl
www.bialemurowanie.pl