

Akademia SOLBET



ŚCIANY WYPEŁNIAJĄCE

Projektowanie i wykonawstwo

SOLBET 
ROK ZAŁOŻENIA
1951

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz
dr inż. Wojciech Chruściel

© Copyright by SOLBET Sp. z o.o., Solec Kujawski 2014

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tego opracowania nie może być powielana i rozpowszechniana za pomocą jakichkolwiek technik elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

ISBN 978-83-939244-0-0

Wydawca i rozpowszechnianie:

SOLBET Sp. z o.o.
ul. Toruńska 71, 86-050 Solec Kujawski
e-mail: sekretariat@solbet.pl
telefon: 52 387 13 14



Akademia SOLBET 2014

Ściany wypełniające

Projektowanie i wykonawstwo

Szanowni Państwo,

W 2011 r. w Bydgoszczy odbyła się 5. Międzynarodowa Konferencja dotycząca Autoklawizowanego Betonu Komórkowego. Dla firmy SOLBET było olbrzymim zaszczytem i satysfakcją, że mogliśmy wziąć na siebie sfinansowanie i współuczestniczyć w organizacji tej konferencji. W konferencji wzięli udział reprezentanci wszystkich znaczących producentów autoklawizowanego betonu komórkowego, a także wielu przedstawicieli wyższych uczelni i ośrodków naukowych z całego świata. Dorobek konferencji w postaci 77 referatów, zebrany w okolicznościowym wydawnictwie, a także możliwość wymiany poglądów i doświadczeń w znaczący sposób wpłynęła zarówno na rozwój technologii, jak i praktyczne zastosowanie autoklawizowanego betonu komórkowego.

Autoklawizowany beton komórkowy jest w Polsce od wielu lat najpopularniejszym materiałem budowlanym, a Grupa SOLBET jest jego największym producentem w Polsce. To zobowiązuje, dlatego od wielu lat przykładamy wielką wagę do poszerzania wiedzy przez naszych fachowców jak i rozwoju produkowanych przez nas wyrobów.

Zadbaliśmy o to, aby nasze zakłady nie odbiegały pod względem wyposażenia technicznego i technologii produkcji od najlepszych na świecie. Podobnie konsekwentnie rozwijamy nasze zaplecze kontrolno-badawcze. Dzisiaj możemy z satysfakcją stwierdzić, że sprzęt pomiarowy, jakim dysponujemy, to najwyższa klasa światowa.

Produkujemy wyroby, których właściwości użytkowe są na najwyższym poziomie i w niczym nie odbiegają od tego, co oferują najlepsi konkurenci. Dalej wspieramy rozwój autoklawizowanego betonu komórkowego, a także poszerzamy naszą ofertę. Naszą ambicją jest na stałe zostać jednym z liderów rozwoju technicznego w budownictwie ścian w Polsce.

W 2013 r. rozpoczęliśmy zaplanowaną na kilka lat współpracę z Wydziałem Budownictwa Politechniki Śląskiej. Jesteśmy jedynymi sponsorami najnowszego wydawnictwa o technologii i właściwościach autoklawizowanego betonu komórkowego, ale również pierwszego w Polsce tak obszernego

wydawnictwa o murach, trzutomowej monografii „Konstrukcje murowe”. Cały nakład pierwszego tomu już po kilku miesiącach został sprzedany, a wydawnictwo przygotowało dodruk. Jesienią tego roku ukaże się drugi tom tej monografii. Budownictwo murowe jest w Polsce podstawowym sposobem wznoszenia ścian budynków, jednocześnie liczba fachowych materiałów technicznych poświęconych temu tematowi jest ciągle mała. Właśnie dlatego zrodził się pomysł, aby propagować dobre budownictwo murowe również poprzez organizowanie spotkań fachowców: autorów, naukowców, twórców norm i przepisów z możliwie jak największym gronem inżynierów zajmujących się zarówno projektowaniem, jak i wykonywaniem konstrukcji murowych. Tak powstała Akademia SOLBET jako cykl konferencji i platforma bezpośredniej wymiany wiedzy, poglądów i doświadczeń.

Akademii SOLBET 2014 rozpoczynamy wraz z wiosną i początkiem sezonu budowlanego. Obok referatów Autorów „Konstrukcji murowych”, Panów Łukasza Drobca i Radosława Jasińskiego, chcemy przedstawić Państwu referaty całościowo prezentujące projektowanie i wykonawstwo murowanych ścian działowych z autoklawizowanego betonu komórkowego na przykładzie systemów SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART.

Jestem przekonany, że zarówno poziom merytoryczny przygotowanych referatów, jak i prezentacji będzie dla słuchaczy satysfakcjonujący, a Państwa zainteresowanie i zaangażowanie w fachowe dyskusje podczas konferencji pomogą w jeszcze lepszym budowaniu konstrukcji murowych.

Ponieważ polscy inżynierowie w porównaniu do ich kolegów z innych krajów mają znacznie mniej dostęp do najnowszej wiedzy fachowej, chcemy także w kolejnych latach zapraszać Państwa na konferencje Akademii SOLBET.

Łukasz Małecki
Wiceprezes Zarządu SOLBET Sp. z o.o.

Spis treści

Wprowadzenie mgr inż. Lech Misiewicz	5
Ściany wypełniające. Zakres stosowania, doświadczenia, zalety i wady dr hab. inż. Łukasz Drobiec, mgr inż. Lech Misiewicz	7
Ściany wypełniające. Błędy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne dr hab. inż. Łukasz Drobiec	11
Zasady projektowania ścian wypełniających na podstawie norm europejskich dr hab. inż. Łukasz Drobiec	25
Warunki konstruowania ścian wypełniających dr inż. Radosław Jasiński	41
Kształtowanie i wykonawstwo ścian wypełniających dr inż. Radosław Jasiński	57
Ściany działowe. Wymagania i kryteria oceny mgr inż. Lech Misiewicz, mgr inż. Tomasz Rybarczyk	67
Badania ścian działowych z autoklawizowanego betonu komórkowego mgr inż. Lech Misiewicz, mgr inż. Tomasz Rybarczyk	73
Właściwości murowanych ścian działowych z autoklawizowanego betonu komórkowego mgr inż. Lech Misiewicz, mgr inż. Tomasz Rybarczyk	81
Uprozczone projektowanie ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART mgr inż. Andrzej Bociąga, mgr inż. Lech Misiewicz,	85
Wyroby do wykonania ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART mgr inż. Lech Misiewicz, mgr inż. Tomasz Rybarczyk	93
Wykonawstwo i użytkowanie ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART mgr inż. Lech Misiewicz, mgr inż. Tomasz Rybarczyk	103

Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach nastąpiła w Polsce wyraźna zmiana w sposobach projektowania i wykonywania konstrukcji budynków, szczególnie o większej liczbie kondygnacji. Powszechnie wcześniej wznoszone budynki o ustroju ścianowym zaczęły coraz częściej ustępować konstrukcjom szkieletowym. W takich ustrojach, jeżeli spotyka się jeszcze ściany konstrukcyjne, to przeważnie już tylko jako elementy usztywniające. Oczywiście nie oznacza to, że w budynkach szkieletowych nie muruje się już ścian. Wprost przeciwnie, jest ich nawet niewiele mniej niż w dotychczasowych tradycyjnych budynkach. Częściowo zmieniły się materiały i sposoby ich wykonywania, ale przede wszystkim zmieniła się ich funkcja w budynku i stały się w znacznie większym stopniu elementami rozdzielającymi i oddzielającymi niż konstrukcyjnymi. Czy ten kierunek rozwoju budownictwa jest dobry? Tu zdania są podzielone, ale to będzie można ocenić dopiero za jakiś czas – z odpowiedniej perspektywy.

Dzisiaj w polskim budownictwie budynki ze ścianami wypełniającymi są już czymś normalnym i spotykanym w znacznie szerszym wymiarze niż dotychczas. Pomimo że nie jest to nowość i są budowane od wielu lat, to nie ma ich w normach i – jak się okazuje – niewielu inżynierów wie, jak prawidłowo projektować i wykonywać takie ściany.

W tej sytuacji nie powinien dziwić wybór ścian wypełniających jako tematu przewodniego pierwszego cyklu konferencji szkoleniowych Akademii SOLBET.

Podczas szkoleń jak i w tej publikacji chcemy przybliżyć inżynierom temat ścian wypełniających. W kolejnych opracowaniach omówione są najważniejsze tematy związane z projektowaniem i wykonywaniem takich ścian. Nie tylko w budynkach o konstrukcji szkieletowej, ale również tradycyjnych z murowanymi ścianami konstrukcyjnymi, gdzie ściany wypełniające też występują – jako ściany działowe.

W porównaniu do tradycyjnych ścian konstrukcyjnych, ściany wypełniające, mające niewielkie znaczenie w konstrukcji budynku, wymagają znacznie większej wiedzy inżynierskiej, zarówno podczas projektowania, jak i wykonawstwa. Dlatego nie powinien nas dziwić fakt pojawienia się tylu problemów w budynkach z takimi ścianami – problemów związanych nie tylko z bezpieczeństwem konstrukcji. Wielu projektantów zapomina

o tym, że ściany wypełniające w takim samym stopniu jak i ściany konstrukcyjne muszą spełniać również inne wymagania podstawowe – bezpieczeństwo użytkowania, bezpieczeństwo pożarowe, ochrona cieplna i ochrona przed hałasem.

W kolejnych opracowaniach zostały przedstawione i omówione tematy związane z projektowaniem, kształtowaniem i wykonawstwem ścian wypełniających zgodnie z aktualnymi normami europejskimi. Oczywiście, aby szczegółowo omówić wszystkie zagadnienia związane z tematem ścian wypełniających, niniejsza publikacja musiałaby być znacznie obszerniejsza. Zawartość opracowań jest uzupełnieniem prezentacji przedstawianych podczas cyklu konferencji szkoleniowych w ramach Akademii SOLBET. W zamyśle autorów i organizatorów prezentacje oraz opracowania, a także możliwość wymiany poglądów powinny nie tylko przybliżyć słuchaczom zagadnienie ścian wypełniających, ale przede wszystkim dać praktyczne wskazówki, jak je projektować i wykonywać.

W drugiej części wydawnictwa zamieszczone są opracowania przedstawiające temat ścian działowych na przykładzie systemów SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART. W tych opracowaniach ograniczono się wprawdzie tylko do ścian z elementów murowych z betonu komórkowego produkowanego przez SOLBET, ale na tej podstawie można porównać między sobą różne rozwiązania materiałowe i technologiczne stosowane przy wznoszeniu ścian działowych.

Jednym z istotnych elementów wspierających rozwój, pomagających rozwiązywać problemy i poszerzać wiedzę jest wymiana poglądów i dyskusja. Zachęcamy Państwa do zadawania nam pytań i zgłaszania wątpliwości, także po zakończeniu konferencji. Na wszystkie pytania będziemy się starali odpowiedzieć. Pytania prosimy wysyłać pod adres: sekretariat@solbet.pl.

Dziękuję za zainteresowanie i uczestnictwo w konferencji szkoleniowej w ramach Akademii SOLBET. Zapraszam nie tylko do wysłuchania i obejrzenia naszych prezentacji, ale również do wnikliwego zaznajomienia się z naszymi opracowaniami. Mam nadzieję, że będą dla Państwa interesujące i pomocne w codziennej pracy inżyniera.

Lech Misiewicz

dr hab. inż. Łukasz Drobiec
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Śląska
mgr inż. Lech Misiewicz
SOLBET Spółka z o.o.

ŚCIANY WYPEŁNIAJĄCE. ZAKRES STOSOWANIA, DOŚWIADCZENIA, ZALETY I WADY

W opracowaniu podano definicję ścian wypełniających, a także ich umocowanie w normach i przepisach. Opisano zakres stosowania ścian wypełniających oraz przedstawiono doświadczenia związane z ich wznoszeniem i użytkowaniem. Omówiono także ich podstawowe wady i zalety.

1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich dwudziestu lat nastąpiły w polskim budownictwie olbrzymie zmiany. Jedną z takich znaczących zmian jest coraz powszechniejsze projektowanie i wznoszenie budynków w technologii szkieletowej. Najczęściej jest to szkielet żelbetowy wypełniany ścianami murowanymi. Ściany murowane, które w budownictwie tradycyjnym stanowiły jeden z najważniejszych elementów konstrukcji budynku, zostały sprowadzone do drugorzędnej roli elementów osłonowych i rozdzielających. W tej sytuacji, z punktu widzenia większości uczestników procesu budowlanego, w zasadniczy sposób zmieniło się również znaczenie i waga poszczególnych właściwości użytkowych ścian. Od wielu lat budownictwo zostało zdominowane przez wymagania ochrony cieplnej i oszczędności energii. To spowodowało, że najważniejszym zagadnieniem, obok projektu konstrukcji żelbetowego szkieletu budynku, stała się grubość izolacji termicznej. To, do czego ta izolacja zostanie przyklejona, nie miało już większego znaczenia. W tej sytuacji przestano przywiązywać wagę do sposobu wykonania murów, a jedynymi ważnymi kryteriami doboru elementów murowych stały się ich wymiary i cena. Nad doбором zaprawy nikt się już nie zastanawiał. Takie podejście spowodowało pojawienie się problemów, z jakimi wcześniej w naszym budownictwie mało kto się spotykał. Inwestorzy i użytkownicy budynków i mieszkań z popękanymi ścianami

oczekiwali natychmiastowego rozwiązania problemu. A ponieważ ten problem pojawiał się na ścianach, najprostszym rozwiązaniem było stwierdzenie, że to te mury „są wszystkiemu winne”. Ale, jak to często bywa, prawdziwa przyczyna problemów leży zupełnie gdzie indziej. Ściany murowane, niebędące elementem konstrukcji, przenoszące symboliczne obciążenia pionowe, zachowują się zupełnie inaczej niż tradycyjne ściany konstrukcyjne. A gdy zaczęto bardziej wnikliwie analizować temat, okazało się, że to, na co należy zwracać uwagę przy projektowaniu i wykonywaniu budynków szkieletowych ze ścianami wypełniającymi, jest znane i opisane już od dawna.

2. Definicja ścian wypełniających

Pojęcie ścian wypełniających nie jest zdefiniowane w przepisach normowych. Termin ten jest jednak często stosowany w publikacjach naukowych i naukowo-technicznych oraz w wytycznych projektowania i wykonywania konstrukcji murowych opracowywanych przez producentów materiałów budowlanych.

W budownictwie używanych jest wiele terminów i określeń, które są w różnym stopniu poprawne pod względem językowym. Najczęściej wynikają z tradycji, zdarza się, że są dosłownymi zapożyczeniami z innych języków czy też – szczególnie ostatnio, mniej lub bardziej udanymi tłumaczeniami. Wydawać by się mogło,

że pod tym względem termin „ściana wypełniająca” stosunkowo dobrze oddaje to, co potocznie zwykło się nim określać. Jednak praktyka pokazuje, że nie jest tak do końca. Do określenia różnego rodzaju ścian używa się często pokrywających się znaczeniem określeń technicznych, potocznych, a nawet statystycznych (w publikacjach GUS). Powoduje to zamieszanie i nieporozumienia. Z całą pewnością jest to temat, który jest wart osobnego opracowania. W tym opracowaniu zajmiemy się jednak tylko ścianami wypełniającymi. Przyjęcie jednoznacznej, naszym zdaniem, definicji pozwoli na dokładniejsze określenie ich zakresu stosowania, a także wad i zalet.

Ściany ryglowe (szachulcowe) wypełnione murem z cegieł są w Polsce nazywane „murem pruskim”. Natomiast w Niemczech nazywa się je: *Ausfachung Wand*, czyli „ściana wypełniona/z wypełnieniem/wypełniająca” lub „wypełnienie ściany”. Wraz z rozwojem budownictwa, gdy pojawiły się konstrukcje stalowe, a później żelbetowe, określenia tego zaczęto używać również w odniesieniu do ścian murowanych wypełniających szkielet konstrukcji również z innych niż drewno materiałów. W polskiej literaturze technicznej tak rozumiany termin „ściana wypełniająca” pojawia się od bardzo dawna, np. w [1]: „Ściany wypełniające (między elementami nośnymi) obciążają konstrukcję nośną budynku (...). Przy ścianach wypełniających potrzebną jest izolacja termiczna słupów i podciągów konstrukcji nośnej stalowej lub żelbetowej”. W „Budownictwie ogólnym” [4] prof. Żenczykowski omawia „Mury wypełniające w budynkach szkieletowych”. W innym podręczniku, wydanym w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku [5], określono, że „Wewnętrzne ściany murowane budynków szkieletowych stanowią wypełnienie szkieletu i dźwigają tylko ciężar własny między stropami, ściany zewnętrzne przekazują ponadto siłę wiatru na elementy szkieletu. Niewielka wartość obciążeń pozwala na stosowanie lżejszej konstrukcji ścian i wykonanie ich z materiałów o niższej wytrzymałości”. W kolejnym podręczniku z tego okresu [6] dodano: „Materiał wypełniający powinien być możliwie lekki, aby jak najmniej obciążał konstrukcję szkieletu. Powinien się odznaczać odpowiednimi właściwościami ciepłochłonnymi. Do wypełnienia ścian budynków o szkielecie żelbetowym lub stalowym stosuje się najczęściej cegłę dziurawkę, pustaki żużlobetonowe i wprowadzony ostatnio nowy materiał ściany – bloki z betonu lekkiego” – czyli beton komórkowy.

Jednocześnie również od bardzo dawna pojawia się określenie „ściany (ścianki) działowe”, np. w [2]: „Ścianki działowe (...), których zadaniem jest wyłącznie rozdział sąsiadujących ze sobą przestrzeni budynku. (...) Ściany działowe jednak tak muszą być skonstruowane, aby były odporne na przypadkowe uderzenia boczne,

obciążenia obrazami, portierami i t.p. Na piętrach ważnym warunkiem dla ścian działowych jest ich lekkość”. Przy okazji warto podkreślić, że niezależnie od grubości ścianki działowej ($\frac{1}{2}$ lub $\frac{1}{4}$ cegły) kiedyś było oczywiste, że należało je zbroić, np. bednarką [3].

Dawne normy krajowe rzadko podawały definicje opisujące rodzaj konstrukcji lub wykończenia. Przykładowo, w normie PN-B-03002:1982 [9] samo pojęcie ścianek działowych nie zostało zdefiniowane, a występuje w niej rozdział pt. „Obciążenie ściankami działowymi”. W przypadku tej normy nikt nigdy nie miał i do tej pory nie ma żadnych wątpliwości, co norma rozumie pod pojęciem ścianki działowej.

Normy europejskie podają znacznie więcej definicji niż dawne normy krajowe. Można tu zauważyć pewną tendencję – chęć zdefiniowania wszystkich możliwych pojęć z dziedziny związanej z tematyką danej normy. Owa drobiazgowość twórców Eurokodów i związanych z nimi innych norm stała się w pewnym sensie pułapką, gdyż niektóre podane w nich definicje niestety wzajemnie się wykluczają. Do tego dochodzą błędy w tłumaczeniach.

Podstawowa norma PN-EN 1996-1-1 [10] z pakietu Eurokodu 6 dzieli ściany ze względu na pełnione funkcje na **ściany konstrukcyjne i niekonstrukcyjne**. Ściana konstrukcyjna to ściana przewidziana do przenoszenia dodatkowego obciążenia oprócz ciężaru własnego, natomiast ściana niekonstrukcyjna to ściana nieprzewidziana do przenoszenia obciążeń dodatkowych oprócz ciężaru własnego, którą można usunąć bez szkody dla nośności całej konstrukcji budynku. Normy PN-EN 1996-2 [12] i PN-EN 1996-3 [13] przejmują definicje z normy PN-EN 1996-1-1 [10]. Nieco inaczej jednak definiuje ściany norma PN-EN 1996-1-2 [14], dotycząca projektowania konstrukcji murowych z uwagi na oddziaływanie pożarowe. Norma ta rozróżnia ściany nośne i ściany nienośne, a nie konstrukcyjne i niekonstrukcyjne, jak w pozostałych częściach Eurokodu 6. Wydźwięk definicji jest jednak taki sam, a różnica w nazewnictwie wynika zapewne z braku porozumienia między osobami tłumaczącymi te części normy na język polski.

W normie PN-EN 1991-1-1 [11], dotyczącej oddziaływań na konstrukcje ciężarem własnym i obciążeniem użytkowym, w punkcie 1.4. (Terminy i definicje) również rozróżnia się elementy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne, a ponadto podana jest definicja ścian działowych jako ścian nieprzenoszących obciążeń. Jednocześnie w innym punkcie (6.4.) tej normy zdefiniowano liniowe obciążenia użytkowe, jakie przeniesić mają ściany działowe lub ograniczające. Obciążenie to powinno być przyłożone na wysokości ściany nie wyższej niż 1,2 m od poziomu podłogi/posadzki. Wielkość tego obciążenia użytkowego zależy od kategorii użytkowania

pomieszczenia i w pewnych przypadkach może być naprawdę duża (problematykę obciążeń w ścianach wypełniających opisano szczegółowo w referacie [15] zamieszczonym w dalszej części wydawnictwa). Norma PN-EN 1991-1-1 [11] w tym miejscu zaprzecza swej definicji ścian działowych, które określiła przecież jako ściany nieprzenoszące obciążeń. Wiele ścian, określanych powszechnie jako działowe lub niekonstrukcyjne, musi przejąć rozmaite obciążenia. Zabudowane w elewacji ściany stanowiące wypełnienie szkieletu, przy założeniu nieprzejmowania obciążeń z tego szkieletu, muszą przejąć poziome obciążenia od wiatru. Norma PN-EN 1996-1-2 [14] nakazuje, aby ściany wydzielające strefy ogniowe w budynku były zdolne do przejęcia obciążeń od uderzenia (odporność na oddziaływanie mechaniczne). Na ścianach w budynku często wieszają się różnego rodzaju ciężkie elementy (szafki, sprzęt RTV, urządzenia, instalacje itp.) i ściany te muszą przejmować mimośrodowo działające obciążenia od ciężaru własnego zawieszonych elementów.

W większości budynków jest więc wiele ścian, których zgodnie z eurokodowską definicją nie można nazwać ani ścianami działowymi, ani niekonstrukcyjnymi, gdyż przenoszą różne obciążenia. Nie są to również typowe ściany konstrukcyjne, gdyż można je usunąć bez narażenia konstrukcji budynku na uszkodzenie. Właśnie do opisu takich ścian próbowano już wcześniej zdefiniować pojęcie ścian wypełniających [7, 8]. Podana w wytycznych [8] definicja najpełniej, naszym zdaniem, odpowiada pojęciu „ściana wypełniająca”:

Pod pojęciem ścian wypełniających należy rozumieć wszelkie ściany, które nie odgrywają istotnej roli w statyce obiektu, ale tworzą jego podział wewnętrzny, wydzielając odrębne pomieszczenia i przestrzenie lub stanowią przegrodę zewnętrzną. Cechą charakterystyczną, wspólną dla wszystkich rodzajów ścian wypełniających jest możliwość ich demontażu w dowolnym okresie eksploatacji (np. zmiany funkcjonalne pomieszczeń, zmiana elewacji) i zastąpienie innym równoważnym rozwiązaniem bez potrzeby adaptacji konstrukcji budynku.

Niezależnie od funkcji, jaką ściany wypełniające pełnią w budynku (np. przegroda wizualna, akustyczna, ogniowa), muszą one mieć odpowiednią stateczność oraz przenosić na konstrukcję budynku obciążenia i oddziaływanie na nie działające, w tym ciężar własny, tynku, okładzin i innych wykończeń, obciążenia użytkowe, uderzenia oraz zawieszane na nich przedmioty. Ściany wypełniające w porównaniu do ścian konstrukcyjnych (nośnych) nie przenoszą obciążeń od innych elementów konstrukcji takich jak dach, stropy. Ściany wypełniające przenoszą za to obciążenia użytkowe na elementy konstrukcji, najczęściej na

stropy i ściany konstrukcyjne. Poza tym muszą spełniać wymagania bezpieczeństwa pożarowego, ochrony przed hałasem i ochrony cieplnej wynikające z ich miejsca i funkcji w budynku w takim samym stopniu jak inne rodzaje ścian (np. ściany konstrukcyjne).

Ściany wypełniające mogą stanowić przegrody zewnętrzne i wówczas nazywa się je często ścianami osłonowymi, a podstawowym obciążeniem, jakie na nie oddziałuje, jest parcie i ssanie wiatru. Jako ściany wewnętrzne nazywane są również ścianami działowymi (wówczas dzielą pomieszczenia i przestrzenie w ramach jednego mieszkania, biura itp.), a także ograniczającymi (np. przestrzeń magazynową, drogi komunikacyjne i ewakuacyjne, strefy pożarowe itp.).

3. Zakres stosowania ścian wypełniających i doświadczenia nabyte podczas ich wykonywania i eksploatacji

Ściany wypełniające wykonywane są zarówno w budownictwie tradycyjnym, jak i w budynkach o konstrukcji szkieletowej. Technologia żelbetowego szkieletu z murowanym wypełnieniem jest obecnie bardzo chętnie stosowana i dlatego, szczególnie w ustrojach płyto-słupowych, ściany wypełniające znajdują powszechne zastosowanie. Ściany wypełniające są alternatywą zabudowy z płyt G-K na stelażu. W miejscach, gdzie konieczne jest przejmowanie jakichkolwiek obciążeń poza ciężarem własnym, istnieje wręcz konieczność stosowania murowanych ścian wypełniających. Przy projektowaniu i wykonywaniu robót murowych należy pamiętać o tym, że ściany wypełniające muszą spełniać wszystkie wymagania podstawowe: bezpieczeństwo konstrukcji, pożarowe i użytkowania, ochrona zdrowia, przed hałasem i oszczędności energii [16, 22].

Panuje powszechne przekonanie, że konstrukcje szkieletowe są najszybszym sposobem realizacji inwestycji. Faktycznie tak jest, szczególnie jeśli podstawowe zasady wykonania takich budynków są ignorowane. Podczas projektowania i wykonywania obiektów popełnia się bowiem szereg błędów. Do najczęściej popełnianych błędów projektowych zaliczyć można:

- pomijanie zagadnienia ścian wypełniających,
- nieuwzględnienie istotnych obciążeń działających na ścianę,
- nieuwzględnienie w projekcie sposobu podparcia ścian wypełniających,
- założenie zbyt dużych ugięć stropów pod ściankami wypełniającymi.

Wśród typowych błędów wykonawczych, popełnianych na budowie podczas wznoszenia ścian wypełniających, wymienić można:

- nieprzestrzeganie normowych warunków konstrukcyjnych,
- niestosowanie się do zaleceń projektowych,
- wznoszenie ścian wypełniających na podpartych stropach,
- stosowanie niewłaściwych materiałów.

Powyższe błędy projektowe i wykonawcze zostały dokładniej opisane w pracy [17], zamieszczonej w dalszej części Wydawnictwa. Warunki konstrukcyjne są natomiast omówione w pracy [18], a zasady kształtowania podparć ścian w pracach [15 i 19].

4. Wady i zalety ścian wypełniających

Ściany wypełniające, jak każde rozwiązania techniczne, mają swoje wady i zalety [20, 21]. Do podstawowych wad ścian wypełniających zaliczyć należy:

- konieczność uwzględniania ścian wypełniających w dokumentacji projektowej przez szczegółowy opis wykonania, a niekiedy i konieczność wykonywania obliczeń statyczno-wytrzymałościowych,
- trudności z wykonawstwem, określone przez różnorodność możliwych podparć ścian,
- trudności z projektowaniem i wykonawstwem wynikające z konieczności takiego wykonania połączeń ściany z innymi elementami budynku, aby spełnione były wszystkie zakładane wymagania

(np. klasa odporności ogniowej, izolacyjność akustyczna, szczelność na przenikanie zapachów itp.),

- konieczność zachowania reżimów wykonawczych, związanych z dokładnością i jakością murowania, odpowiednim wykonaniem stropów itd.,
 - brak możliwości włączenia ich do współpracy z konstrukcją budynku, stanowią więc tylko dodatkowe obciążenie, „ciężar”, same „nic nie dając” dla bezpieczeństwa konstrukcji,
 - przy wykonywaniu murowanych ścian wypełniających znacznie ważniejsza jest rola zaprawy, jej prawidłowy dobór ma decydujące znaczenie dla osiągnięcia odpowiedniej wytrzymałości na ścinanie, a przede wszystkim na zginanie, czyli najważniejszych właściwości dla ścian obciążonych głównie poziomo,
 - w przypadku stosowania cięższych elementów murowych należy układać zbrojenie w spoinach wspornych.
- Zaletami ścian wypełniających są bez wątpienia:
- możliwość wykonania przegrody spełniającej tzw. wymagania podstawowe (bezpieczeństwa, użytkowania, pożarowe, izolacyjności akustycznej i termicznej),
 - do ich budowy można używać lżejszych materiałów o niższych wytrzymałościach,
 - możliwość demontażu ścian, bez wpływu na konstrukcję obiektu, co umożliwia w każdej chwili jego bezproblemową modernizację i łatwe zmiany w aranżacji wnętrza.

Literatura:

- [1] Kalendarz Przeglądu Budowlanego pod redakcją inż. I. Lufta na rok 1939. Tom I. Wydawnictwo Stowarzyszenia Zawodowego Przemysłowców Budowlanych R. P., Warszawa 1939.
- [2] Krzyczkowski D.: *Budownictwo, wykład popularny zasad konstrukcji budowlanych dla budowniczych, majstrów, przedsiębiorców budowlanych i samouków*. Księgarnia Polska Bernard Połoniecki, Łwów Warszawa 1929.
- [3] Warywoda A.: *Podręcznik techniczny w zakresie budownictwa mieszkaniowego i przemysłowego*. Wydawcy: inż. B. Maliszewski i A. Warywoda, Kraków 1946.
- [4] Żencykowski W.: *Budownictwo ogólne. Tom II: Konstrukcje i wznoszenie murów i sklepień*. Arkady, Warszawa 1965 (wyd. VI).
- [5] Pogorzelski J., Urban L.: *Ustroje budowlane. Część I: Fundamenty i mury*. PWSZ, Warszawa 1952.
- [6] Urban L.: *Murarz Tynkarz*. PWSZ, Warszawa 1957.
- [7] Bociąga A., Michiewicz M., Sieczkowski J.: *Murowane Ściany wypełniające. Konferencja szkoleniowa: Systemy ścian murowanych*, Warszawa 2005.
- [8] Bociąga A.: *Wytyczne projektowania i wykonania ścian wypełniających w systemie Nowoczesne Silikaty*, Warszawa 2007.
- [9] PN-82/B-02003: *Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe*.
- [10] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych*.
- [11] PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2009P, Eurokod 1: *Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach*.
- [12] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych, Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów*.
- [13] PN-EN 1996-3:2010P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych, Część 3: Uproszczone metody obliczania murowych konstrukcji niezbrojonych*.
- [14] PN-EN 1996-1-2:2010/AC:2011P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe*.
- [15] Drobiec Ł.: *Zasady projektowania ścian wypełniających na podstawie norm europejskich. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo*. Akademia Solbet, 2014.
- [16] Misiewicz L.: *Wpływ sposobu i warunków wykonywania murów na spełnienie wymagań podstawowych*. XXVI Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczyrk, 9–12 marca 2011, t. II, str. 119–140.
- [17] Drobiec Ł.: *Ściany wypełniające. Błędy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo*. Akademia Solbet, 2014.
- [18] Jasiński R.: *Warunki konstruowania ścian wypełniających. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo*. Akademia Solbet, 2014.
- [19] Jasiński R.: *Kształtowanie i wykonawstwo ścian wypełniających. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo*. Akademia Solbet, 2014.
- [20] Kalendarz budowlany pod redakcją L. Runkiewicza. WACETOB. Warszawa 1990–2012
- [21] Lewicki B.: *Polskie normy projektowania konstrukcji. Konstrukcje z betonu, konstrukcje murowe, niezawodność konstrukcji – rys historyczny*. ITB. Warszawa 2009.
- [22] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. z 2002 nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami – ostatnia: Dz.U. z 2013, poz. 926.

dr hab. inż. Łukasz Drobiec
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Śląska

ŚCIANY WYPEŁNIAJĄCE. BŁĘDY PROJEKTOWE, WYKONAWCZE I EKSPLOATACYJNE

W opracowaniu scharakteryzowano główne przyczyny uszkodzeń ścian wypełniających. Omówiono typowe błędy projektowe oraz wykonawcze. Zaproponowano zasady postępowania, które pozwalają na ograniczenie prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń.

1. Wprowadzenie

Zarysowania w konstrukcjach murowych, szczególnie w odniesieniu do ścianek wypełniających, są niestety zjawiskiem dość powszechnym. Konieczność wykonywania prac remontowo-naprawczych w celu przywrócenia pomieszczeniom prawidłowych warunków eksploatacyjnych generuje zazwyczaj znaczne koszty. Często dochodzi do sytuacji spornych, kto powinien ostatecznie ponosić koszty tego typu prac [1].

Zagadnienie rysowania się ścian murowych, wbrew pozorom, nie jest proste. Przede wszystkim, trzeba mieć świadomość znacznej różnorodności kształtu i przebiegu rys oraz miejsc ich występowania. Rysy wiążą się również z dużą liczbą czynników wywołujących powstawanie tego typu uszkodzeń. W pracy opisano podstawowe przyczyny wywołujące zarysowania ścian wypełniających. Rozróżniono błędy występujące na etapie projektowania i wykonawstwa takich ścian. Podano zalecenia, pozwalające na znaczne wyeliminowanie ryzyka powstania zarysowań ścian wypełniających.

2. Główne przyczyny uszkodzeń ścian wypełniających

Przyczyny występowania uszkodzeń ścian wypełniających można powiązać z błędami projektowymi i wykonawczymi. Do błędów projektowych zaliczyć należy:

- pomijanie problemu ścian wypełniających w projekcie,

- nieuwzględnienie istotnych obciążeń działających na ścianę,
- nieuwzględnienie w projekcie sposobu podparcia ścian wypełniających,
- założenie zbyt dużych ugięć stropów pod ścianami wypełniającymi.

Błędy wykonawcze związane są najczęściej z nieprzestrzeganiem podstawowych wymogów konstrukcyjnych zawartych w normach (np. PN-EN 1996-1-1 [2]), niestosowaniem się do zaleceń projektowych oraz prowadzeniem robót niezgodnie ze sztuką budowlaną. Poniżej szczegółowo opisano podstawowe błędy projektowe i wykonawcze oraz zaproponowano kilka rozwiązań, pozwalających na znaczne wyeliminowanie ryzyka powstania zarysowań w ścianach wypełniających.

3. Najczęstsze błędy projektowe

3.1. Pomijanie problemu ścian wypełniających w projekcie

Problem ścian wypełniających bywa często w projektach zupełnie pomijany. Konstruktor zajmuje się zazwyczaj tylko nośnymi elementami budynku i ściany wypełniające – jako elementy nienośne, pomija w analizach obliczeniowych. Architekt z kolei ogranicza się najczęściej jedynie do określenia materiału i grubości ścian wypełniających, uważając, zresztą częściowo słusznie, że sposób ich połączenia z konstrukcją należy

do domeny konstruktora. Brak zainteresowania konstruktora i architekta ścianami wypełniającymi skutkuje brakiem opisu ich rozwiązania w projekcie.

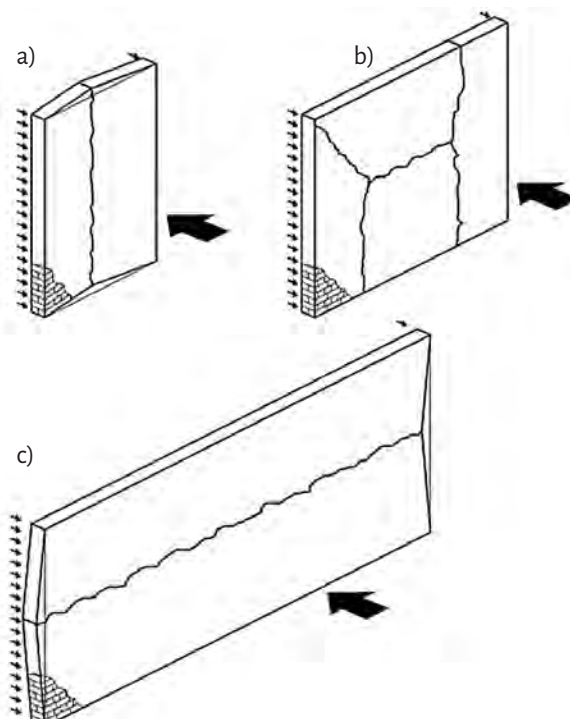
Należy tu zwrócić uwagę, że pewna grupa ścian wypełniających (np. ściany stanowiące ograniczenie stref pożarowych, ściany obciążone poziomo o znacznej powierzchni lub ściany w pomieszczeniach obciążonych tłumem ludzi) musi przenieść znaczne obciążenia i nie można ich traktować *stricte* jako ściany nienośne (zasady przyjmowania obciążeń opisano w pracy [3], zamieszczonej w dalszej części Wydawnictwa). Ścianami takimi na pewno powinien w projekcie „zająć się” konstruktor, natomiast rozwiązania pozostałych ścian (nieznacznie obciążonych) powinien w części opisowej projektu architektoniczno-budowlanego opisać architekt.

Norma PN-EN 1996-2:2010 [4] do projektowania i wykonywania konstrukcji murowych podaje maksymalne długości ścian nienośnych (6, 8 lub 12 m – zobacz [5], w dalszej części Wydawnictwa), w zależności od materiału elementu murowego. Architekt wraz z konstruktorem powinni zaproponować w projekcie rozwiązanie dylatacji lub podparcia ścian wypełniających. Podczas projektowania należy dodatkowo brać pod uwagę wytyczne producentów elementów murowych. Szanujący się producenci wykonują liczne badania swoich materiałów i na tej podstawie opracowują wytyczne projektowania ścian wypełniających, często w postaci tabel, gdzie określa się dopuszczalne wymiary ścian (długość, wysokość) w zależności od kategorii użytkowania pomieszczeń i grubości ścian.

Brak uwzględnienia problemu ścian wypełniających w projekcie może doprowadzić do zastosowania zbyt długich lub zbyt cienkich ścian i w konsekwencji prowadzić do ich zarysowania.

3.2. Nieuwzględnienie istotnych obciążeń działających na ścianę

Ściany wypełniające są najczęściej elementami zginanymi z płaszczyzny [3]. Charakter zarysowania takich ścian na skutek przeciążenia zależy od sposobu ich podparcia, geometrii muru oraz od rodzaju zastosowanych elementów murowych i zaprawy [6, 7, 8]. Bezpiecznie można przyjąć, że zniszczenie rysą prostopadłą do spoin wspornych wystąpi w ścianach podpartych na trzech lub czterech krawędziach, jeżeli wysokość ściany jest co najmniej dwukrotnie większa od jej szerokości (rys. 1a). W ścianach o szerokości ponaddwukrotnie większej od wysokości zniszczenie następuje zazwyczaj przez spoiny wsporne (rys. 1c), natomiast w ścianach o stosunku wysokości do szerokości



Rys. 1. Rodzaje zniszczeń ścian obciążonych poziomo: a) rysą prostopadłą do płaszczyzny spoin wspornych, b) zarysowania pionowe, poziome i ukośne, c) rysy przez spoiny wsporne.

0,5÷2 może wystąpić zarysowanie zarówno przez spoiny wsporne, jak i prostopadłe do nich (rys. 1b). Na uszkodzenie spowodowane przeciążeniem od obciążenia poziomego narażone są przede wszystkim duże ściany osłonowe (obciążone wiatrem), ściany dróg ewakuacyjnych oraz ściany pomieszczeń obciążonych tłumem ludzi. Ściany takie powinny być sprawdzane obliczeniowo. Opisany powyżej sposób zniszczenia dotyczy ścian obciążonych równomiernie, prostopadłe do swej płaszczyzny. W wypadku innych obciążeń zniszczenie może również być inne.

3.3. Nieuwzględnienie w projekcie sposobu podparcia ścian wypełniających

Ściana wypełniająca może mieć wystarczającą nośność na zginanie, lecz mimo to ulec uszkodzeniu na skutek nieodpowiedniego podparcia. Podparcie wpływa na schemat statyczny ściany i zapewnia jej stateczność podczas eksploatacji. Najkorzystniejsze jest oczywiście pełne zamocowanie ściany wzdłuż wszystkich krawędzi i projektuje się je, gdy konstrukcja żelbetowa zdolna jest przejąć momenty zamocowania. Zapewnienie pełnego zamocowania wzdłuż krawędzi ściany jest zabiegiem kosztownym, dlatego na wyniki analizy możliwości podparcia ściany wpływ ma często czynnik ekonomiczny. Należy ponadto pamiętać,

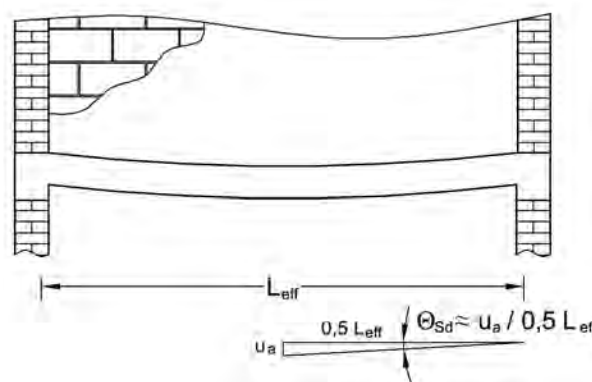
że połączenie muru z istniejącą konstrukcją powinno spełniać nie tylko wymagania związane z nośnością ściany, ale również wymagania odnośnie do izolacyjności akustycznej i odporności ogniowej. W świetle powyższego nieuwzględnienie w projekcie problemu połączenia ściany z konstrukcją należy uznać za błąd. Gdy ściana przenosi obciążenia i jest sprawdzana obliczeniowo, to połączenia powinien projektować konstruktor, natomiast w pozostałych przypadkach połączenia powinny być przyjmowane konstrukcyjnie przez architekta. Sposoby podparcia omówiono w pracach [3, 5], zamieszczonych w dalszej części Wydawnictwa.

3.4. Założenie zbyt dużych ugięć stropów pod ścianami wypełniającymi

Projektowanie żelbetowego elementu zginanego (stropu, belki, nadproża, rygla ramy itp.) w stanie granicznym użytkowalności w praktyce sprowadza się do sprawdzenia, czy jego ugięcia nie przekraczają wartości dopuszczalnych. Gwarantuje to, że ugięcie projektowanej konstrukcji będzie małe i nie wywoła w użytkownikach negatywnych odczuć. Wszystko jest w porządku, jeżeli na tak zaprojektowanych elementach konstrukcji nośnej nie zostaną oparte murowane ściany. Okazuje się, że ugięcia tych elementów konstrukcyjnych, pomimo spełnienia odpowiednich warunków normowych, są zazwyczaj na tyle duże, że powodują powstawanie w ścianach zarysowań [1].

Aby nie doszło do zarysowania ściany murowanej wspartej na stropie lub elemencie belkowym, musi być dodatkowo spełniony warunek nieprzekroczenia jej deformacji postaciowej, która jest charakteryzowana przez kąt odkształcenia postaciowego. Warunek ten podany był w normie PN-B-03002:1999 [9] oraz w nowszej wersji

PN-B-03002:2007 [10] i dotyczy co prawda ścian usztywniających, ale równie dobrze może być stosowany do innych typów ścian w budynkach (także do ścian wypełniających). Ściana murowana, zgodnie z zaleceniami normy, nie ulegnie zarysowaniu lub powstałe zarysowanie będzie miało szerokość rozwarcia nieprzekraczającą 0,3 mm wtedy, gdy maksymalna wartość kąta odkształcenia postaciowego Θ_{sd} wyznaczona dla danej ściany – np. na podstawie zależności geometrycznych (rys. 2) – nie przekroczy podanej w normie dopuszczalnej wartości Θ_{adm} .



Rys. 2. Uproszczony sposób wyznaczania maksymalnej wartości kąta odkształcenia postaciowego Θ_{sd} w przypadku ściany działowej bez otworów i opartej na stropie.

Spełnienie powyższego warunku nie jest jednak możliwe, jeżeli konstrukcja stropu bądź belki żelbetowej będzie zaprojektowana jedynie zgodnie z wymaganiami normy żelbetowej odnośnie do dopuszczalnych ugięć. W tabelicy 1 przedstawiono wyliczone przykładowe wartości maksymalnych ugięć, dopuszczalnych przez normę PN-B-03264 [11] i Eurokod 2 [12] oraz wartości obliczonych na ich podstawie kątów odkształcenia postaciowego Θ_{sd} w porównaniu z wartościami dopuszczalnymi Θ_{adm} według PN-B-03002:2007 [10],

Tablica 1. Ugięcia dopuszczalne oraz wyznaczone na ich podstawie wartości kąta odkształcenia postaciowego ściany działowej bez otworów opartej na stropie o różnej rozpiętości efektywnej.

Rozpiętość efektywna stropu l_{eff} [m]	Dopuszczalne ugięcie wg normy PN-B-03264 [11] i EC-2 [12], [m]	Kąt odkształcenia postaciowego Θ_{sd} muru przy maksymalnym dopuszczalnym ugięciu stropu, [mm/m]	Dopuszczalny kąt odkształcenia postaciowego Θ_{adm} muru wg normy PN-B-03002:2007 [10], [mm/m]
3,0	0,015	10,0	0,2 ÷ 0,5*
4,5	0,0225	10,0	
6,0	0,03	10,0	
7,5	0,03	8,0	
9,0	0,036	8,0	

* w zależności od rodzaju zastosowanych elementów murowych i zaprawy

które zależą od rodzaju zaprawy i elementów murowych, z których ściana została wykonana.

Wyznaczone wartości kąta odkształcenia postaciowego przy maksymalnym dopuszczalnym ugięciu stropu są od 50 do 20 razy większe od wartości dopuszczalnych zalecanych przez normę murową. Przy tak znacznym przekroczeniu granicznej wartości Θ_{adm} mur nie ma szans pozostać niezarysowany. Oczywiście dotyczy to przypadku szczególnego, gdy ściana usytuowana jest w środku rozpiętości stropu. W przypadku, gdy ściana nie jest położona w strefie środkowej, przekroczenie warunku Θ_{adm} jest mniejsze – ale w dalszym ciągu znaczące.

Wartość dopuszczalnego kąta odkształcenia postaciowego ściany Θ_{adm} zależy od rodzaju zaprawy i elementów murowych zastosowanych w murze. Dla murów z betonu komórkowego na zaprawie cementowej $\Theta_{adm} = 0,2$, a na zaprawie cementowo-wapiennej $\Theta_{adm} = 0,3$. Norma nie podaje wartości dopuszczalnego kąta odkształcenia postaciowego dla murów z betonu komórkowego murowanych na cienkich spoinach.

Aby wyeliminować możliwość pojawienia się rysów w ścianie wypełniającej, stropy należałoby projektować nie z uwagi na nieprzekroczenie dopuszczalnych ugięć, lecz z warunku na nieprzekroczenie dopuszczalnej wartości kąta odkształcenia postaciowego muru. Wówczas graniczna wartość dopuszczalnych ugięć, która według normy żelbetowej [11] wynosi: $a_{lim} = l_{eff}/200$ (lub $a_{lim} = l_{eff}/250$) ulega znacznemu zmniejszeniu. W tablicy 2 pokazano wartości granicznych ugięć wyznaczone z uwagi na nieprzekroczenie dopuszczalnego kąta odkształcenia postaciowego Θ_{adm} .

Wielkości granicznych ugięć podane w tablicy 2 są w praktyce niemożliwe do spełnienia. Należy tu jednak pamiętać, że:

- wielkości te dotyczą przypadku, gdy ściana usytuowana jest w środku stropu. Gdy ściana znajduje się poza strefą środkową, ugięcia są mniejsze i zwiększa się wartość granicznych dopuszczalnych ugięć;
- przeprowadzone obliczenia granicznych wartości ugięć stropu wykonano przy założeniu maksymalnego dopuszczalnego przez normę PN-B-03264 [11] kąta odkształcenia postaciowego stropu, a nie muru. Kąt odkształcenia postaciowego muru, na skutek sztywności muru, sił tarcia i klinowania elementów murowych, jest zapewne mniejszy;
- obliczone wartości granicznych ugięć stropu dotyczą tylko tych obciążeń, które działają bezpośrednio na ścianę działową. Ponieważ ściany działowe muruje się już po wykonaniu elementów nośnych – odpada znaczna część obciążeń stałych i warunki zawarte w tablicy powinny być spełnione przy obciążeniach zmiennych (użytkowych i ciężaru samej ściany działowej) oraz części obciążeń stałych (np. od warstw posadzki, tynków).

Powyżej wykazano, że spełnienie normowego warunku nieprzekroczenia dopuszczalnych ugięć stropu (wg PN-B-03264 [11] lub EC-2 [12]) nie gwarantuje spełnienia nieprzekroczenia dopuszczalnych wartości kąta odkształcenia postaciowego muru (zgodnie z PN-B-03002:2007 [10]). O wiele lepsze stanowisko, z punktu widzenia poprawności projektowania, znaleźć można np. w normach: europejskiej, amerykańskich, niemieckiej oraz normie polskiej dotyczącej zespolonych płyt stropowych.

Europejska norma EC-2 [12] zawiera dodatkowo zapis, że odpowiednie graniczne wartości ugięć ustala się z uwzględnieniem rodzaju konstrukcji, wykończenia, ścian działowych i zamocowanych instalacji oraz z uwagi na jej przeznaczenie. Norma zawiera

Tablica 2. Wartości dopuszczalnych ugięć wyznaczone z warunku na nieprzekroczenie kąta odkształcenia postaciowego muru Θ_{adm} .

Dopuszczalny kąt odkształcenia postaciowego muru Θ_{adm}	Dopuszczalne wartości ugięć stropu wyznaczone z warunku nieprzekroczenia granicznej wartości Θ_{adm}
0,2	$l_{eff}/10000$
0,3	$l_{eff}/6666$
0,4	$l_{eff}/5000$
0,5	$l_{eff}/4000$

również zapis, który mówi, że ugięcia nie powinny przekraczać wartości, do których mogą dostosować się inne połączone elementy, takie jak ścianki działowe, oszklenia, okładziny, elementy wyposażenia lub wykończenia. Gdy ugięcia, które powstają po zakończeniu wznoszenia konstrukcji, mogą wywołać uszkodzenia przyległych konstrukcji i elementów (np. ścianek działowych), to należy je ograniczyć do poziomu $1/500$ rozpiętości efektywnej. Wartości rzeczywistych ugięć konstrukcji pod ściankami działowymi należy według EC-2 wyznaczać dla quasi-stałej kombinacji oddziaływań.

Podobne zalecenia znaleźć można w polskiej normie PN-EN 13747 [13], dotyczącej zespolonych płyt stropowych typu filigran. W wypadku, gdy wartości graniczne ugięć tych elementów zależą od części budowli podpieranych przez strop, ugięcia należy ograniczyć do $L/500$ (L – rozpiętość stropu).

Amerykańska norma projektowania konstrukcji żelbetowych ACI 318-02 [14] w sytuacji, gdy na stropie zabudowane są elementy niekonstrukcyjne (np. murowane ścianki działowe), dopuszczalne wartości ugięć ogranicza do nieprzekraczających $1/480$ rozpiętości efektywnej stropu. Są to więc wartości ugięć dopuszczalnych prawie dwukrotnie mniejsze niż podane w naszych przepisach normowych. Amerykańska norma dotycząca projektowania konstrukcji murowych ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05 [15] w odniesieniu do belek i nadproży wprowadza jeszcze bardziej drastyczne ograniczenia dopuszczalnych wartości ugięć od łącznego działania wszystkich obciążeń długotrwałych, a mianowicie nie powinny one przekraczać $1/600$ rozpiętości efektywnej lub $7,6$ mm (każdorazowo mierzona jest wartość mniejsza).

Niemiecka norma DIN 1045-1 [16], przeznaczona do projektowania konstrukcji żelbetowych, podaje dwie możliwości wpływu projektanta na konstrukcję stanowiącą podparcie ścian działowych. Pierwsza z nich to, podobnie jak w omawianych wyżej normach, ograniczenie ugięć stropu. W wypadku, gdy na żelbetowej konstrukcji zabudowane są ścianki działowe, należy ugięcia konstrukcji ograniczyć do $1/500$ rozpiętości. Drugie zalecenie to narzucenie minimalnej grubości stropu poprzez podwójne kryterium:

$$\frac{l_i}{d} \leq 35 \quad \text{oraz} \quad \frac{l_i^2}{d} \leq 150, \quad (1)$$

gdzie:

d – wysokość użyteczna przekroju;

l_i – rozpiętość obliczana wg wzoru (2).

$$l_i = \alpha \times l_{\text{eff}}, \quad (2)$$

gdzie:

l_{eff} – rozpiętość efektywna;

α – współczynnik wg tablicy 3.

W wytycznych niemieckich [17] występują dodatkowe zalecenia odnośnie do ścian wypełniających murowanych na stropach:

- należy jak najpóźniej przystąpić do murowania ścian wypełniających – po zakończeniu robót stanu surowego,
- nie dopuszczać do zawilgocenia elementów murowych przed ich wmurowaniem, aby ograniczyć

Tablica 3. Wartości współczynnika α według DIN 1045-1 [16].

Schemat statyczny	Współczynnik α
	1,0
	0,8
	0,6
	2,4

później zjawisko skurczu związanego z ich wysychaniem,

- przy dużych rozpiętościach stropu $l_i > 7,0$ m stosować zbrojenie w spoinach wspornych ścianek.

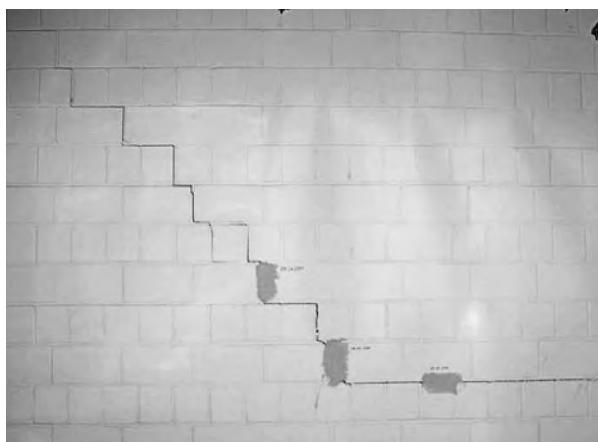
Gdy na etapie projektowania pominięty zostanie problem ugięć stropu i projektant ograniczy się do zachowania warunków ugięć z normy żelbetowej PN-B-03264 [11], może dojść do zarysowania ścian wypełniających, zabudowanych na stropie.

Rysy powstałe na skutek ugięć podpierającej je konstrukcji mają najczęściej zróżnicowany przebieg. Obserwuje się zarówno zarysowania pionowe, jak i rysy o wyraźnym przebiegu poziomym (rys. 3) oraz ukośnym (rys. 4). Zarysowania poziome przebiegają zazwyczaj przez spoiny wsporne, zaś rysy ukośne wzdłuż spoin wspornych i czołowych lub także przez elementy murowe.

Sposób zarysowania ścian wypełniających spowodowany ugięciem konstrukcji je podpierającej jest podobny do zarysowań ścian pod wpływem nierównomiernego osiadania gruntu [18]. Przebieg rys zależy przede wszystkim od stosunku wysokości H do długości L ściany (rys. 5). Elementy o H/L zbliżonym do 1 wykazują najczęściej zarysowanie w układzie



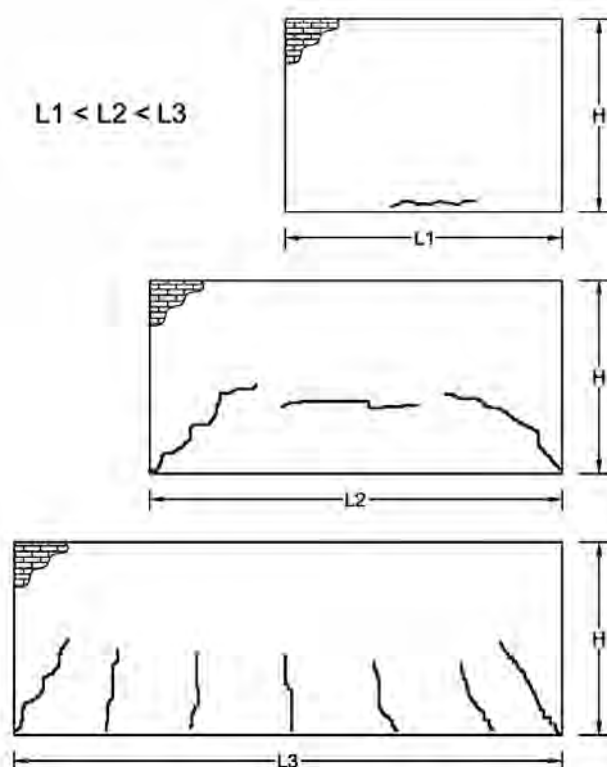
Rys. 3. Pozioma rysa w dolnej części ściany.



Rys. 4. Ukośne i poziome zarysowanie ściany działowej.

horyzontalnym, tuż przy poziomie stropu, lub na niewielkiej wysokości, licząc od powierzchni stropu. Ściany o nieco większej długości najczęściej rysują się ukośnie, a dodatkowo mogą wtedy także wystąpić zarysowania poziome, usytuowane bliżej środka wysokości ściany. Natomiast w murach o długości znacznie większej niż wysokość najczęściej występują pionowe zarysowania oraz ukośne rysy w narożach. Dokładne określenie granic przedziałów opisujących różne sposoby zarysowania muru nie jest możliwe, gdyż układ uszkodzeń zależy nie tylko od proporcji geometrycznych ściany, ale również od stosunku sztywności ściany do sztywności stropów.

Na rysoodporność murowanych ścian wypełniających wykonanych na podłożach ulegających znaczącym ugięciom wpływa również sposób wykonania spoin pionowych. W murach z niewypełnionymi spoinami pionowymi pomiędzy sąsiednimi elementami murowymi pozostają przeważnie wolne przestrzenie, a naprężenia ścinające przenoszone są praktycznie tylko przez spoiny wsporne (poziome). Każde takie miejsce stanowi osłabienie muru – można przyjąć, że jest to jego pęknięcie. Dlatego zaleca się wykonywanie ścian wypełniających z wypełnionymi zaprawą spoinami pionowymi, a szczególnie wówczas, gdy długość takiej ściany jest ponad dwa razy większa od jej wysokości ($H/L < 0,5$).

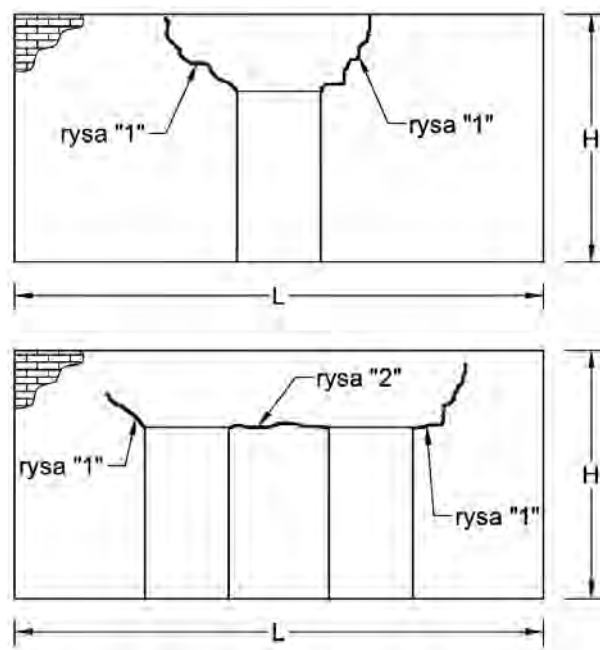


Rys. 5. Zarysowanie ścian działowych w zależności od stosunku wysokości do szerokości



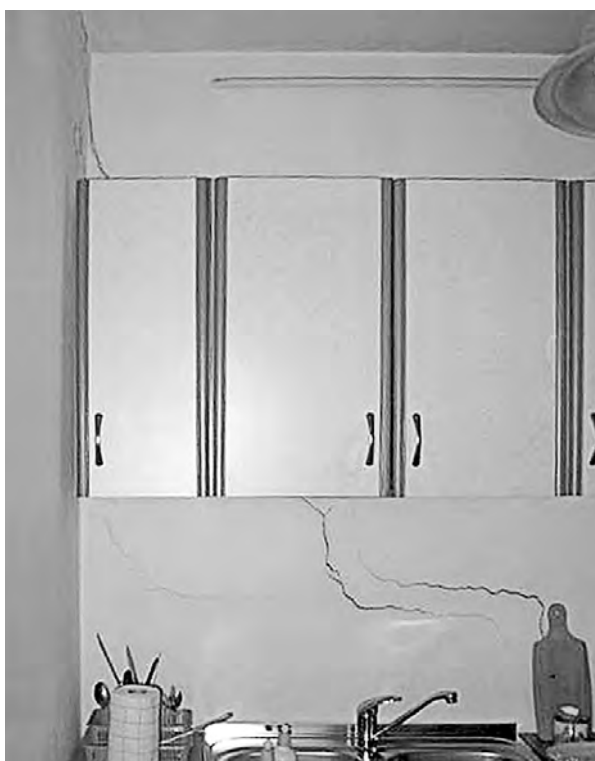
Rys. 6. Zarysowanie w rejonie naroży otworu drzwiowego.

W przypadku, gdy w ścianie wypełniającej występują otwory drzwiowe lub okienne, rysy występują zazwyczaj w rejonie naroży otworów i często mają ukośny bądź poziomy przebieg (rys. 6). Układ uszkodzeń zależy wtedy zarówno od stosunku H/L , jak i stopnia perforacji ściany otworami (rys. 7) oraz lokalizacji otworu w ścianie. W wypadku pojedynczego otworu zarysowania mają zazwyczaj ukośny przebieg, w górę od naroża otworu (rysy oznaczone jako „1” na rys. 7). Gdy w ścianie znajduje się kilka otworów, tworzyć się mogą poziome rysy łączące ich górne narożniki (rysa „2” na rys. 7). Przykłady różnych zarysowań ścian wypełniających spowodowanych ugięciem stropu pokazano na rys. 8 i 9.



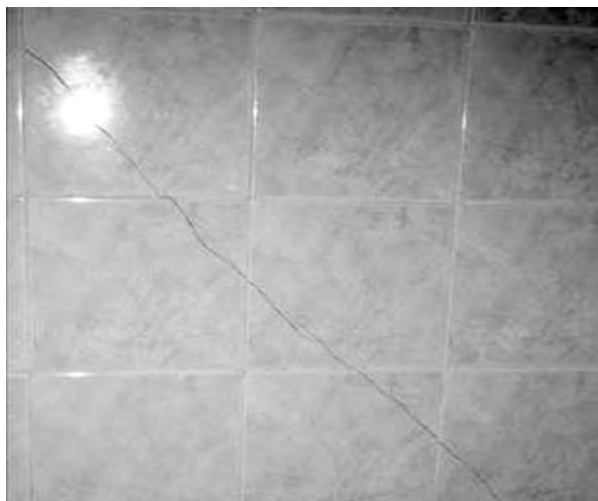
Rys. 7. Zarysowanie ścian wypełniających z otworami.

Ugięcia stropów mogą być przyczyną uszkodzeń nie tylko ścian wypełniających, ale również i ścian nośnych. Gdy docisk ścian wyższych kondygnacji jest na tyle mały, że umożliwia obrót uginającego się stropu na podporze, wówczas istnieje niebezpieczeństwo powstania rysy wewnętrznej rozwarstwiającej ścianę w płaszczyźnie ocieplenia wieńca (rys. 10). Jeżeli wieńiec nie jest ocieplony, wtedy dodatkowo powstaje zazwyczaj rysa pozioma na elewacji budynku.



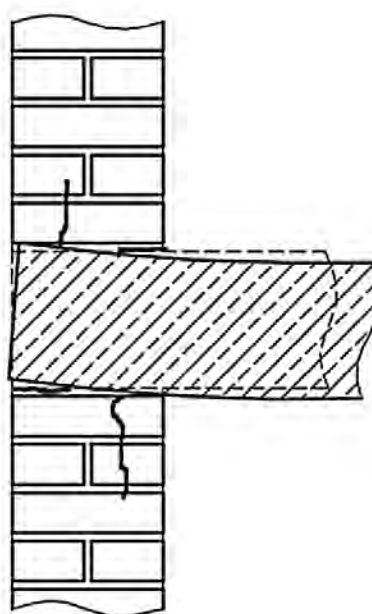
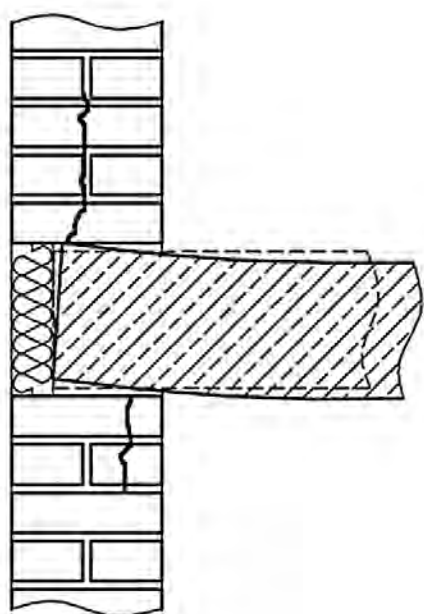
Rys. 8. Przykłady zarysowań ścian wypełniających.



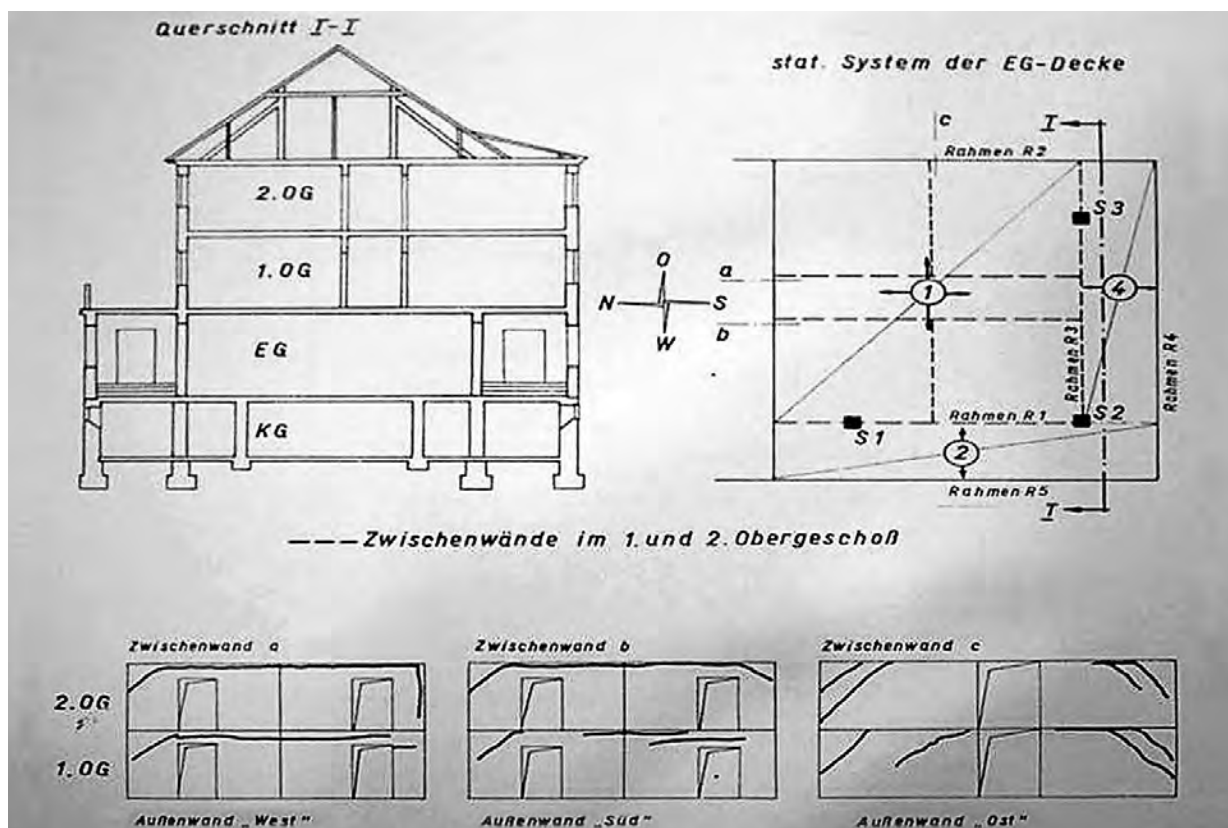


Rys. 9. Przykłady zarysowań ścian wypełniających.

a)



Rys. 10. Zarysowania ścian nośnych wywołane ugięciem stropu i jego obrotem na podporze.



Rys. 11. Zarysowania ścian wypełniających w budynku z ugiętymi stropami [19].

Problem zarysowań ścian wypełniających nie jest problemem nowym. W wielu dawnych krajowych i zagranicznych publikacjach znaleźć można opis problemu i sposoby zabezpieczenia przed zarysowaniem spowodowanym ugięciem stropu. Na rys. 11 i 12 pokazano, za pracą [19], przykłady uszkodzeń ścian w budynku z ugiętymi stropami.

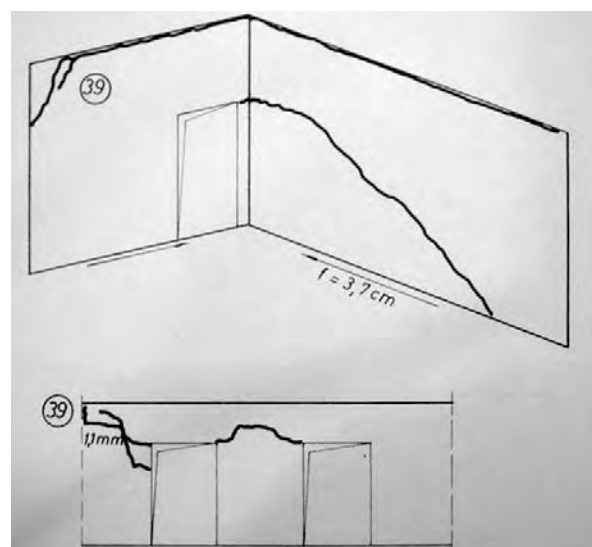
W pracy [20] podawano, że ścianki działowe z cegły dziurawki należy zabezpieczać przed zarysowaniami spowodowanymi ugięciem stropu przez zastosowanie zbrojenia w postaci płaskowników (rys. 13).

Problem i pewne sposoby jego rozwiązania są więc znane od lat. Niestety, w praktyce często nie korzysta się z tych doświadczeń. Ograniczenie ryzyka wystąpienia zarysowań spowodowanych ugięciami stropów można uzyskać na jeden z czterech sposobów:

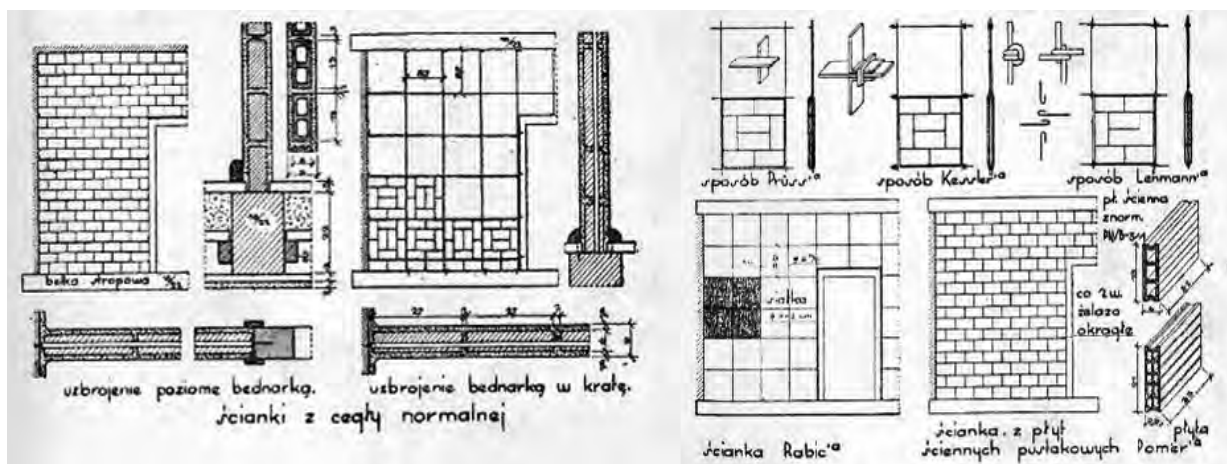
- Należy ograniczyć do minimum ugięcia stropów lub belek poprzez odpowiednie ukształtowanie konstrukcji
 - Chodzi o to, aby stosować najbardziej optymalne rozwiązania konstrukcyjne i schematy statyczne. Zamiast pracy stropów oraz belek w schemacie jednoprzęsłowej belki swobodnie podpartej, jeżeli jest to tylko możliwe, stosować rozwiązania belek częściowo lub całkowicie utwierdzonych oraz stropy jako wielopolowe, ciągłe. Dodatkowo należy zastosować takie

rozwiązania materiałowe, które maksymalnie ograniczą wartości obciążeń przekazywanych na stropy bądź belki.

- Następnie należy zaprojektować strop lub element belkowy, na których będą zabudowane ściany murowane, z warunku nieprzekroczenia dopuszczalnych wartości odkształceń



Rys. 12. Zarysowania ścian wypełniających w budynku z ugiętymi stropami [19].

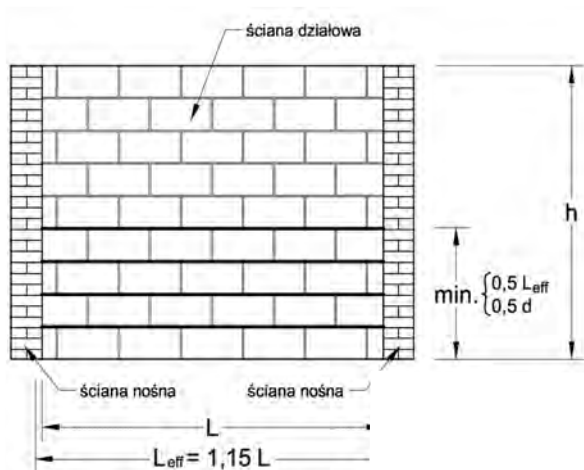


Rys. 13. Sposoby wykonywania ścian działowych obowiązujące przed 100 laty [20].

postaciowych muru lub przynajmniej projektować tak, aby warunek ugięć był spełniony z dużym nadstatkiem.

- Zabezpieczenie się przed wystąpieniem zarysowania ściany poprzez usztywnienie jej zbrojeniem umieszczanym w spoinach wspornych

- Jeżeli na etapie projektowania nie można zapewnić (z przyczyn technicznych lub ekonomicznych) nieprzekroczenia wartości dopuszczalnych odkształceń postaciowych w ścianie, można – szczególnie jest to efektywne w przypadku ścian bez otworów drzwiowych – zastosować zbrojenie konstrukcyjne w dolnej strefie takiej ściany (rys. 14). Zbrojenie takie przyjmuje się zazwyczaj konstrukcyjnie i umieszcza w dolnych spoinach wspornych na wysokości równej minimum połowy rozpiętości efektywnej ściany $0,5 l_{\text{eff}}$ lub połowy wysokości użytecznej przekroju $0,5 d$ – decyduje wartość mniejsza. Jeżeli zachodzi taka potrzeba, ilość potrzebnego zbrojenia wyznacza się, przyjmując założenie, że całkowite naprężenie rozciągające winno być



Rys. 14. Sposób dozbrojenia ścian działowych.

przejęte przez stal zbrojeniową oraz zakładając prostokątny wykres naprężeń w strefie ściskanej muru. W zależności od geometrii ściany, oblicza się jako wolno podparte elementy belkowe lub belki wysokie. Odpowiednie wzory zamieszczono w normie PN-EN 1996-1-1 [2]. Należy przy tym pamiętać, że zbrojenie to powinno spełniać wymagania podane w normie PN-EN 845-3 [21].

- W przypadku ścian z otworami drzwiowymi lub ścian osłonowych z otworami okiennymi, w celu zabezpieczenia tych konstrukcji przed wystąpieniem rys ukośnych biegnących od narożników otworów (jak to schematycznie pokazano na rys. 7), można w górnej strefie ściany zastosować konstrukcyjnie także zbrojenie w spoinach wspornych. Należy jednakże pamiętać, że może dojść wtedy do powstania zarysowania rysami poziomymi, rozpoczynającymi się z tych narożników.

- Zastosowanie ścian o konstrukcji mało wrażliwej na ugięcia stropu

Jeżeli z jakichkolwiek względów nie jest możliwe zapewnienie nieprzekroczenia wartości dopuszczalnych odkształceń postaciowych w murywanej ścianie wypełniającej, można ostatecznie zastosować ściany o konstrukcji, która jest mało wrażliwa na ugięcia stropów.

- Projektowanie pod ścianami wypełniającymi żelbetonowych belek lub belek odwróconych

Reasumując, trzeba wyraźnie podkreślić, że w wypadku ścian wypełniających wznoszonych na żelbetonowych stropach o dużej rozpiętości wskazana jest daleko posunięta ostrożność i rozważa przy projektowaniu. Konieczne jest projektowanie kompleksowe, uwzględniające rzeczywiste zachowanie się wszystkich składowych elementów budynku.



Rys. 15. Murowanie ścian wypełniających i osłonowych na podpartych stropach.

4. Częste błędy wykonawcze

Jak już wspomniano wyżej, błędy wykonawcze związane są najczęściej z nieprzestrzeganiem podstawowych wymogów konstrukcyjnych zawartych w normach (np. PN-EN 1996-1-1 [2]). Szczegółowy opis wymogów konstrukcyjnych zamieszczono w pracach [22, 23]. Szczególną uwagę należy zwrócić na przewiązanie elementów murowych i właściwe zamykanie pionowych zamków w murach bez spoiny czołowej. Brak

odpowiednich przewiązań elementów murowych w ścianie oraz niewłaściwe zamykanie pionowych zamków powoduje, że rysoodporność muru znacznie spada

Drugim podstawowym problemem jest niestosowanie się do zaleceń projektowych. W takim wypadku cała odpowiedzialność za powstanie uszkodzeń spada na wykonawcę robót. Często zdarza się również, że prace budowlane prowadzone są niezgodnie ze sztuką budowlaną. Do takich niezgodności zaliczyć należy np. murowanie ścian wypełniających na



Rys. 16. Murowanie ścian wypełniających i osłonowych na podpartych stropach.



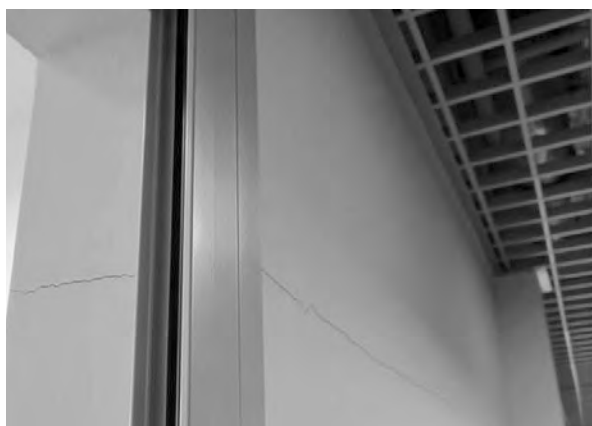
Rys. 17. Zarysowanie ścian wypełniających w budynku pokazanym na rys. 15 i 16.

podstemplowanych stropach. Na krajowych budowach, w związku z napiętymi terminami, ściany murowane się w czasie, gdy dwie kondygnacje wyżej trwa betonowanie kolejnego stropu. Stropy pośrednie są wówczas podparte w celu rozłożenia ciężaru niezwiązanego betonu stropu nowego. Do pełnego rozdeskowania stropu dochodzi często po wzniesieniu wszystkich kondygnacji i wymurowaniu większości ścian wypełniających. W takim wypadku ściany wypełniające obciążone są ugięciami nie tylko od obciążeń użytkowych i części wykończenia, ale i od obciążeń stałych (ciężaru stropu). Ryzyko ich zarysowania wyraźnie wzrasta. Na rys. 15 i 16 pokazano budynek, w którym murowano ścianki wypełniające na podstemplowanych stropach, a na rys. 17 i 18 pokazano uszkodzenia tych ścian, spowodowane ugięciem stropów. W budynku projektowano strzałkę odwrotną, aby zniwelować ugięcie od ciężaru własnego i części obciążenia użytkowego. Niestety, na skutek podparcia stropów na czas murowania ścian wypełniających zabieg ten nie przyniósł spodziewanych rezultatów.

Na rys. 19a pokazano ścianki wypełniające wykonane przed zabetonowaniem stropu. Na zdjęciu widać, że w ich pobliżu prowadzone są roboty budowlane i jeździ ciężki sprzęt. Ściany nie mają odpowiedniego przewiązania. Na rys. 19b pokazano uszkodzenia ścian z rys. 19a.

Innym przypadkiem wznoszenia obiektu niezgodnie ze sztuką budowlaną jest stosowanie niewłaściwych materiałów. Materiały o złej jakości oraz niewysezonowane (cechujące się znacznym skurczem) mogą być powodem powstawania uszkodzeń ścian wypełniających.

Klasyczne zarysowanie spowodowane skurczem materiału ściany bez otworów zlokalizowane powinno być w środku jej długości i powinno zanikać w okolicy górnego i dolnego stropu (rys. 20). Pokazany na rys. 20 schemat dotyczy ściany podpartej u góry i u dołu. W wypadku ścian wypełniających niezamocowanych na górnej krawędzi lub podpartych w inny sposób



Rys. 18. Zarysowanie ścian wypełniających w budynku pokazanym na rys. 15 i 16.

zarysowania od skurczu mogą mieć inny przebieg. Na rys. 21 pokazano przykład ściany z klasyczną rysą skurczową.

5. Podsumowanie

Błędy popełnione na etapie projektowania i wykonawstwa ścian wypełniających mogą mieć istotny wpływ na ich uszkodzenia. Zarówno podczas projektowania, jak i podczas wznoszenia tych ścian należy dokładać wszelkich starań, aby wyeliminować ryzyko powstania uszkodzeń. Należy pamiętać, że uszkodzenia ścian wypełniających ujawniają się zazwyczaj po dopuszczeniu obiektu do użytkowania, a wówczas koszt ich naprawy jest bardzo duży.

Na etapie projektowania informacje dotyczące zasad prowadzenia robót budowlanych powinny być ujęte w wytycznych do planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Plan BIOZ, sporządzony przez kierownika

budowy zgodnie z Prawem Budowlanym [26], powinien szczegółowo opisywać kolejność prac, sposób ich wykonywania oraz poziom bezpieczeństwa.



Rys. 21. Przykład ściany z klasyczną rysą skurczową.

Literatura:

- [1] Drobiec Ł., Kubica J.: *Zapobieganie zarysowaniom ścian murowych opartych na stropach żelbetowych*. Materiały Budowlane, nr 4, 2006, s. 21–23, 72.
- [2] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych*.
- [3] Drobiec Ł.: *Zasady projektowania ścian wypełniających na podstawie norm europejskich*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [4] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6 *Projektowanie konstrukcji murowych Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów*.
- [5] Jasiński R.: *Kształtowanie i wykonawstwo ścian wypełniających*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [6] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: *Murowane zbrojone ściany osłonowe*. Materiały Budowlane, nr 4, 2003, s. 2–8.
- [7] Schubert P.: *Beitragsserie: Schadenfreies bauen mit Mauerwerk. Thema 2: Innen/Außenwände – Risse durch zu große Verformungsunterschiede in vertikaler Richtung*. Das Mauerwerk, nr 4, 2001, s. 142–144.
- [8] Schubert P.: *Mauerwerk. Risse vermeiden und instandsetzen*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2004.
- [9] PN-B-03002:1999: *Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie*.
- [10] PN-B-03002:2007: *Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie*.
- [11] PN-B-03264:2002: *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [12] PN-EN 1992-1-1: 2008/AC:2011P, Eurokod 2: *Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- [13] PN-EN 13747+A2:2011P: *Prefabrykaty z betonu. Płyty stropowe do zespolonych systemów stropowych*.
- [14] ACI 318-02: *Building Code Requirements for Structural Concrete*.
- [15] ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05: *Building Code Requirements for Masonry Structures*.
- [16] DIN 1045-1:2001: *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion*.
- [17] Praca zbiorowa. *Mauerwerksbau Aktuell. Nichttragende innere Trennwände*. Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, 3. Auflage, August 2004.
- [18] Drobiec Ł.: *Przyczyny uszkodzeń murów*. XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczyrk, 7–10 marca 2007, t. I, s. 105–147.
- [19] Mayer H., Rüsch H.: *Bauschäden als Folge der Durchbiegung von Stahlbeton-Bauteilen*. Deutscher Ansschluss für Stahlbeton, Heft 193, 1967.
- [20] Mielnicki S.: *Ustroje budowlane*. Spółka Wydawnicza K. Miarki, Katowice 1938.
- [21] PN-EN 845-3:2013E: *Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów, Część 3: Stalowe zbrojenie do spoin wspornych*.
- [22] Jasiński R.: *Warunki konstruowania ścian wypełniających*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [23] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: *Konstrukcje murowe. Według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [24] Brameshuber W., Schubert P., Schmidt U., Hannawald J.: *Rißfreie Wandlänge von Porenbeton-Maurewerk*. Mauerwerk, vol. 10., nr 4, 2006, s. 132–139.
- [25] Lewicki B., Kubica J., Drobiec Ł., Gajownik R., Jarmontowicz R., Jasiński R., Kubiak D., Piekarczyk A., Sieczkowski J.: *Rozszerzenie podstaw naukowych ustaleń Eurokodu 6 „Projektowanie konstrukcji murowych”*. Komentarz naukowo-badawczy do PN-EN 1996-1-1:2008, PN-EN 1996-2:2008 i PN-EN 1996-3:2008. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2008, tom 1 i tom 2.
- [26] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz.U. 1994, nr 89, poz. 414 z późniejszymi zmianami).

dr hab. inż. Łukasz Drobiec
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Śląska

ZASADY PROJEKTOWANIA ŚCIAN WYPEŁNIAJĄCYCH NA PODSTAWIE NORM EUROPEJSKICH

W opracowaniu scharakteryzowano zasady projektowania ścian wypełniających. Omówiono typowe obciążenia takich ścian oraz przypadki, kiedy sprawdzenie ich nośności jest konieczne. Opisano schematy statyczne ścian wypełniających oraz zasady obliczania takich ścian zgodnie z Eurokodami oraz na podstawie innych metod.

1. Wprowadzenie

Rynek budowlany wymusza obecnie szybkie wznoszenie budynków. Coraz większa liczba obiektów powstaje w technologii szkieletowej – wykonuje się żelbetowe ustroje płytowo-słupowe, następnie na stropach murowane są ściany wypełniające i osłonowe. Pod pojęciem ścian wypełniających należy rozumieć wszelkie ściany nieodgrywające istotnej roli w statyce obiektu. Ściany te tworzą podział wewnętrzny, wydzielając odrębne pomieszczenia i przestrzenie, stąd dawniej nazywano je ścianami działowymi. Ściany wypełniające to jednak nie tylko typowe ściany działowe. Mogą one bowiem pełnić rolę nie tylko przegród wizualnych, ale również stanowić barierę ogniową (ściany oddzielenia przeciwogniowego), akustyczną (przegrody akustyczne), mogą również pełnić funkcję barier lub być ścianami ograniczającymi w rozumieniu PN-EN 1991-1-1 [1].

Ściany osłonowe wykonuje się na elewacji budynku. Podobnie jak ściany wypełniające, nie przenoszą one obciążeń pionowych poza ciężarem własnym, muszą jednak przenieść obciążenia poziome od parcia i ssania wiatru. Eurokod 6 nie zajmuje się szczegółowo problematyką projektowania ścian wypełniających i osłonowych. Elementy te często nie są w ogóle przez projektantów konstrukcji sprawdzane obliczeniowo, co jest sporym błędem. W pracy opisano problemy projektowania ścian wypełniających i osłonowych zgodnie z przepisami norm europejskich.

2. Obciążenia ścian wypełniających

Niezależnie od funkcji, jaką pełnią ściany wypełniające w budynku (np. przegroda wizualna, ograniczająca, akustyczna, ogniowa), muszą one mieć odpowiednią stateczność oraz przenosić na konstrukcję budynku obciążenia na nie działające, w tym ciężar własny, tynk, urządzenia na niej zawieszone, poziome obciążenia użytkowe oraz obciążenia wyjątkowe. W przypadku ścian wydzielających strefy ogniowe w budynku muszą one spełniać kryterium odporności ogniowej na oddziaływanie mechaniczne.

Ciężar własny i ciężar tynku ścian wypełniających jest obciążeniem ściskającym, działającym w osi ściany. Masa wszelkich elementów podwieszanych do ściany (meble, urządzenia) obciąża ścianę mimośrodowo, co powoduje ich zginanie z płaszczyzny. Oddziaływania te ustala się na podstawie zaleceń normy [1], a kombinacje oddziaływań stanu granicznego nośności określać należy na podstawie zaleceń normy PN-EN 1990 [2].

Norma [1] zaleca, aby w ścianach działowych i ograniczających uwzględniać poziome charakterystyczne obciążenie liniowe q_k , przyłożone na wysokości nie większej niż 1,2 m. Wielkość tego obciążenia przyjmuje się w zależności od kategorii użytkowania z tablicy 1. Jak widać, obciążenia te mogą przyjmować duże wartości, szczególnie w częściach budynku, gdzie może przebywać dużo osób (kategorie użytkowania C2, C4, C5, D). Obciążenia poziome q_k ściśle zależą od sposobu użytkowania, a podane w tablicy 1 wartości są wartościami minimalnymi. Norma podkreśla, że projektując

Tablica 1. Wartości obciążenia liniowego na wysokości do 1,2 m w ścianach działowych i ograniczających według PN-EN 1991-1-1 [1].

Kategoria użytkowania	Charakterystyczne obciążenie liniowe q_k [kN/m ²]
A (powierzchnie mieszkalne)	0,2÷1,0 (0,5)
B (powierzchnie biurowe) i C1 (powierzchnie ze stołami)	0,2÷1,0 (0,5)
C2 (powierzchnie z zamocowanymi siedzeniami), C4 (powierzchnie, na których jest możliwa aktywność fizyczna) i D (powierzchnie handlowe)	0,8÷1,0
C5 (powierzchnie ogólnie dostępne dla tłumu)	3,0÷5,0
E (powierzchnie składowania i działalności przemysłowej)	0,8÷2,0
F (powierzchnie ruchu i parkowania pojazdów lekkich)	Według załącznika B normy [1]
G (powierzchnie ruchu i parkowania pojazdów średnich)	Według załącznika B normy [1]

obiekt, należy dokładnie przeanalizować obciążenia użytkowe i określić poziom obciążenia liniowego.

W ścianach pełniących funkcje oddzielenia pożarowego i wydzielających strefy pożarowe w budynku norma PN-EN 1996-1-2 [3] nakazuje spełnienie kryterium odporności ogniowej z uwagi na oddziaływanie mechaniczne. Odporność taką określa się przez wykonanie badań ogniowych lub wykonanie obliczeń zgodnie z załącznikiem D normy [3]. Zgodnie z normą PN-EN 1363-2 [4], badanie to polega na sprawdzeniu zachowania się ściany pod wpływem energii uderzenia. Energię tę wywołuje się przez wahadłowe opadnięcie eliptycznego worka wypełnionego śrutem ołowianym. Ciężar elementu uderzającego o ścianę od strony nieogrzewanej wynosi 200 kg, długość wahadła 2750 ± 50 mm, a wysokość opadania worka 1500 ± 50 mm. Element uderzający powinien trafić w środek badanego modelu. Element próbny powinien być poddany trzem uderzeniom w ciągu pięciu minut, po zakończeniu okresu klasyfikacji ogniowej. W przypadku ścian nośnych dwa pierwsze uderzenia należy wykonać, gdy element próbny znajduje się pod obciążeniem. Trzecie natomiast należy zastosować po usunięciu obciążenia. Alternatywą badań jest wykonanie obliczeń numerycznych konstrukcji, obciążonych temperaturą zgodnie z odpowiednią krzywą nagrzewania (według [3]) oraz obciążeniem symulującym uderzenie worka o masie 200 kg. Zgodnie z normą [3], do oceny konstrukcji w warunkach pożarowych należy stosować

kombinację wyjątkową. Stosowanie innych obciążeń wyjątkowych w analizie ścian wypełniających nie jest z reguły przewidziane przepisami, co nie znaczy, że projektant nie może takiego obciążenia zastosować.

Ściany osłonowe należy obciążać parciem lub ssaniem wiatru zgodnie z PN-EN 1991-1-4 [5]. Przy obciążeniu liniowym według tablicy 1 ssanie będzie dawało najniekorzystniejszą kombinację oddziaływań, natomiast w przypadku obciążania ściany od wewnątrz budynku znacznym obciążeniem na mimośrodzie niekorzystne będzie parcie wiatru. W ścianach osłonowych należy również rozważyć konieczność analizowania obciążeń termicznych. Obciążenia takie należy przyjmować zgodnie z normą PN-EN 1991-1-5 [6].

Ściany wypełniające wznosi się na innych konstrukcjach (najczęściej żelbetowych stropach lub belkach). Projektant obiektu powinien zastanowić się nad uwzględnieniem wpływu ewentualnych ugięć tych elementów na ściany wypełniające. W referacie pt. „Ściany wypełniające. Błędy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne” [16] problem ten wskazano jako jedną z podstawowych przyczyn uszkodzeń ścian wypełniających. Na etapie projektowania obiektu zaleca się zatem obliczeniowe sprawdzenie wpływu ugięcia (np. przez wywołanie przemieszczenia lub zadanie momentów zginających w numerycznym modelu ściany) i w razie potrzeby zaprojektowanie odpowiedniego zabezpieczenia (zmniejszenie ugięć stropu przez jego pogrubienie, wykonanie żeber pod ścianą lub dobrojenie ściany).

Dodatkowo projektant powinien przewidzieć możliwość podwieszenia do ścian urządzeń AGD i innych elementów (np. szafek kuchennych) oraz rozważyć konieczność uwzględnienia wpływów reologicznych. Na etapie ustalania obciążeń projektant powinien zatem dodatkowo rozważyć zasadność przyjmowania:

- dodatkowego obciążenia użytkowego od urządzeń i instalacji, które będą na ścianie zawieszane,
- obciążenia skurczem ściany.

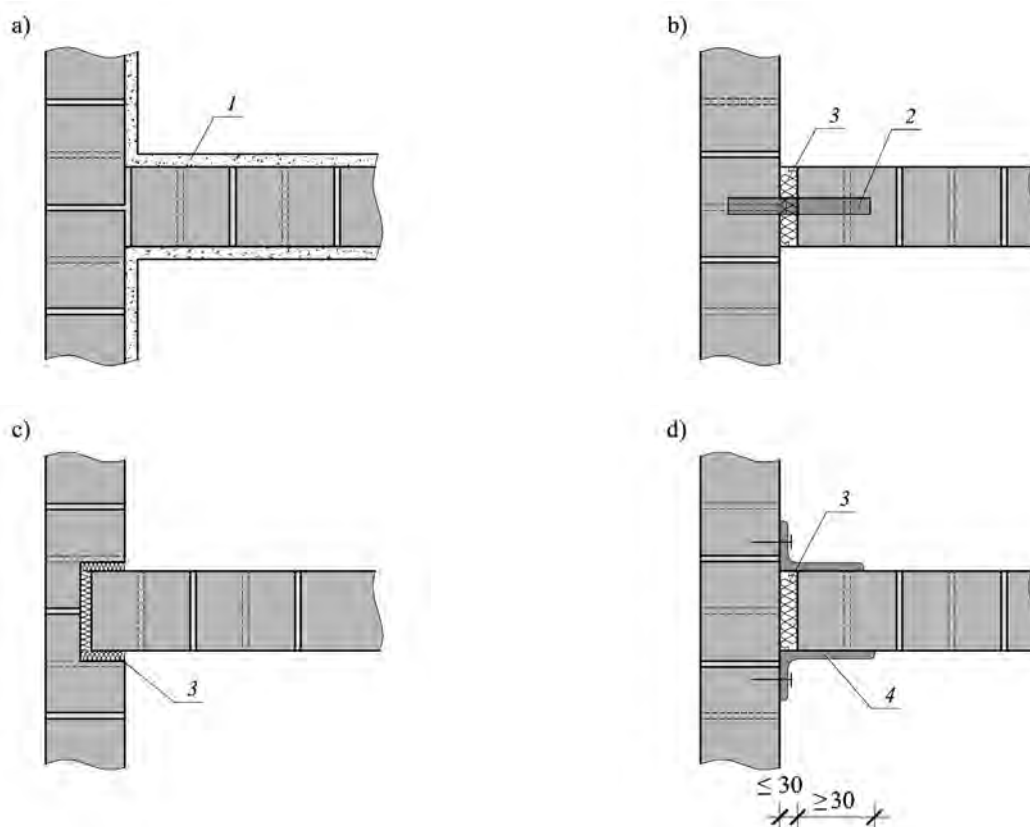
Szczegółowy opis obciążeń działających na muryne ściany oraz opis zasad tworzenia kombinacji oddziaływań zamieszczono w pracy [7].

Ściany wypełniające zabudowane między elementami żelbetowymi bez dylatacji (np. ze stykami wypełnionymi zaprawą) biorą udział w przenoszeniu sił ścinających i powinno się je uwzględniać w analizie ścian usztywniających. Podobnie w przypadku stosowania łączników w celu powiązania ściany z elementami konstrukcyjnymi należy pamiętać, że łączniki te nie są więzami jednostronnymi. Oprócz przekazywania obciążeń ze ściany wypełniającej na konstrukcję przekazują również przemieszczenia z konstrukcji na ścianę wypełniającą. Oznacza to, że w przypadku wystąpienia przemieszczeń poziomych obiektu ściany wypełniające mogą być poddane ścinaniu w kierunku równoległym do poziomu spoin wspornych.

Podsumowując, stwierdzić należy, że ściany wypełniające poddane są wielu obciążeniom, których wartości wcale nie są małe. Nieuwzględnienie tych obciążeń na etapie projektowania może w pewnych przypadkach prowadzić do powstania uszkodzeń (najczęściej zarysowań). Oczywiście nie wszystkie ściany wypełniające muszą być sprawdzane obliczeniowo. Próbę odpowiedzi na pytanie, kiedy należy takie ściany liczyć, zamieszczono w kolejnych punktach.

3. Schematy statyczne ścian wypełniających

Istotne znaczenie dla stateczności ścian wypełniających ma sposób ich połączenia z konstrukcją. Nawet niewielkie błędy projektowe lub wykonawcze popełnione w tym obszarze mogą powodować powstanie zarysowań i spękań ścian. Ściany mogą być wspornikowe (bardzo rzadko stosowane), oparte na dwóch krawędziach (u dołu i u góry lub u dołu i na krawędzi bocznej), oparte na trzech krawędziach (z niepodpartą krawędzią górną lub boczną) oraz oparte na czterech krawędziach. Ścianę uważa się za opartą na krawędzi bocznej (pionowej), jeżeli jest ze ścianą prostopadłą połączona wiązaniem murarskim, gdy zastosowano metalowe łączniki

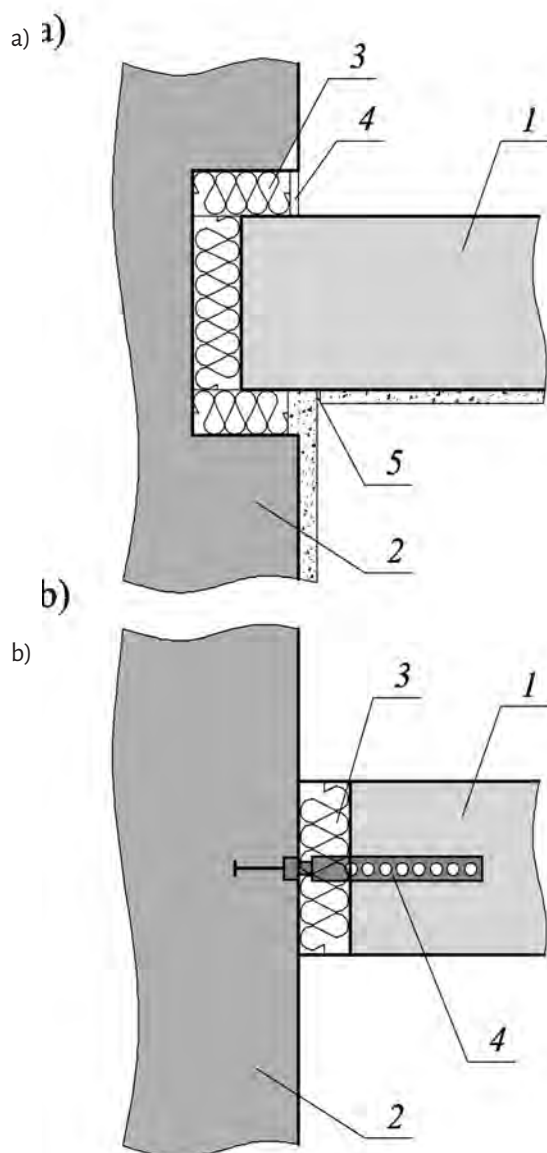


Rys. 1. Przykłady połączeń ścian wypełniających z inną ścianą przy krawędzi pionowej: a) za pomocą tynku, b) za pomocą kotew, c) na jaskółczy ogon, d) przy pomocy stalowych kątowników, 1 – tynk, 2 – kotwa z płaskownika stalowego, 3 – warstwa izolacyjna z wełny mineralnej klasy A, 4 – stalowy kątownik.

– rys. 1b (oczywiście w odpowiedniej liczbie), gdy zastosowano połączenie na jaskółczy ogon (rys. 1c) oraz za pomocą stalowych kątowników (rys. 1d).

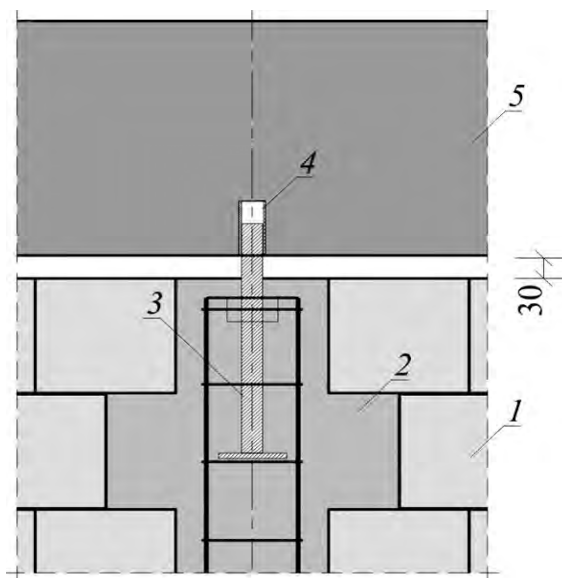
Połączenie przez wiązanie murarskie nie jest z reguły stosowane w ścianach wypełniających. Połączenie przez tynk (dostawienie ściany wypełniającej na styk do nośnej i zatynkowanie – rys. 1a) nie jest traktowane jako podparcie ściany.

Podparcie krawędzi pionowej ściany wypełniającej z elementami żelbetowymi (ścianami, słupami) wykonać można na jaskółczy ogon lub za pomocą kotew umożliwiających kompensację poziomych przemieszczeń (rys. 2).

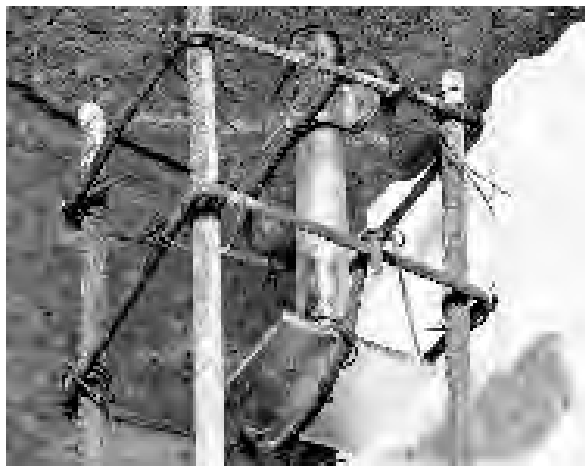


Rys. 2. Przykłady podparcia ścian wypełniających elementami żelbetowymi w płaszczyźnie pionowej: a) na jaskółczy ogon, b) za pomocą kotew, 1 – murowana ściana, 2 – element żelbetowy, 3 – warstwa izolacyjna z wełny mineralnej klasy A, 4 – uszczelnienie masą elastyczną, 5 – dylatacja tynku, 6 – kotwa zapewniająca przesuw.

Ze względu na normowe ograniczenie długości ściany może być konieczne zaprojektowanie podparcia krawędzi pionowych ścian za pomocą żelbetowych rdzeni, zakotwionych w stropach z możliwością kompensacji pionowych przemieszczeń. Konstrukcję żelbetowego rdzenia stanowiącego podparcie pionowych krawędzi ścian pokazano na rys. 3 i 4.

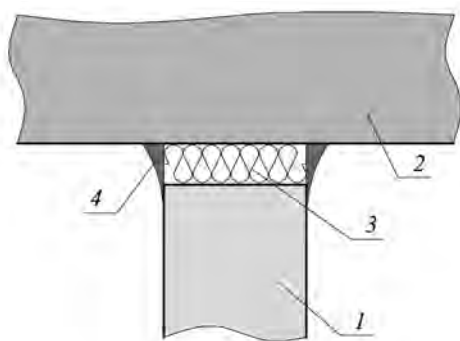


Rys. 3. Połączenie żelbetowego rdzenia ze stropem wg [8], 1 – murowana ściana wypełniająca, 2 – żelbetowy rdzeń, 3 – kotwa, 4 – tuleja przymocowana do stropu zaprawą montażową, 5 – strop.



Rys. 4. Widok tulei osadzonej w stropie, stanowiącej górną podporę rdzenia.

Gdy u góry ściany, w płaszczyźnie pionowej, nie przewiduje się podparcia, można pozostawić do 30 mm szczeliny między stropem a wierzchem ściany i przestrzeń tę wypełnić wełną mineralną klasy A1 wg PN-EN 13501-1 [17] oraz zabezpieczyć powierzchnie boczne wełny odpowiednią masą uszczelniającą (rys. 5). Jest to rozwiązanie zalecane przez normę [3] jako spełniające wymogi odporności ogniowej.

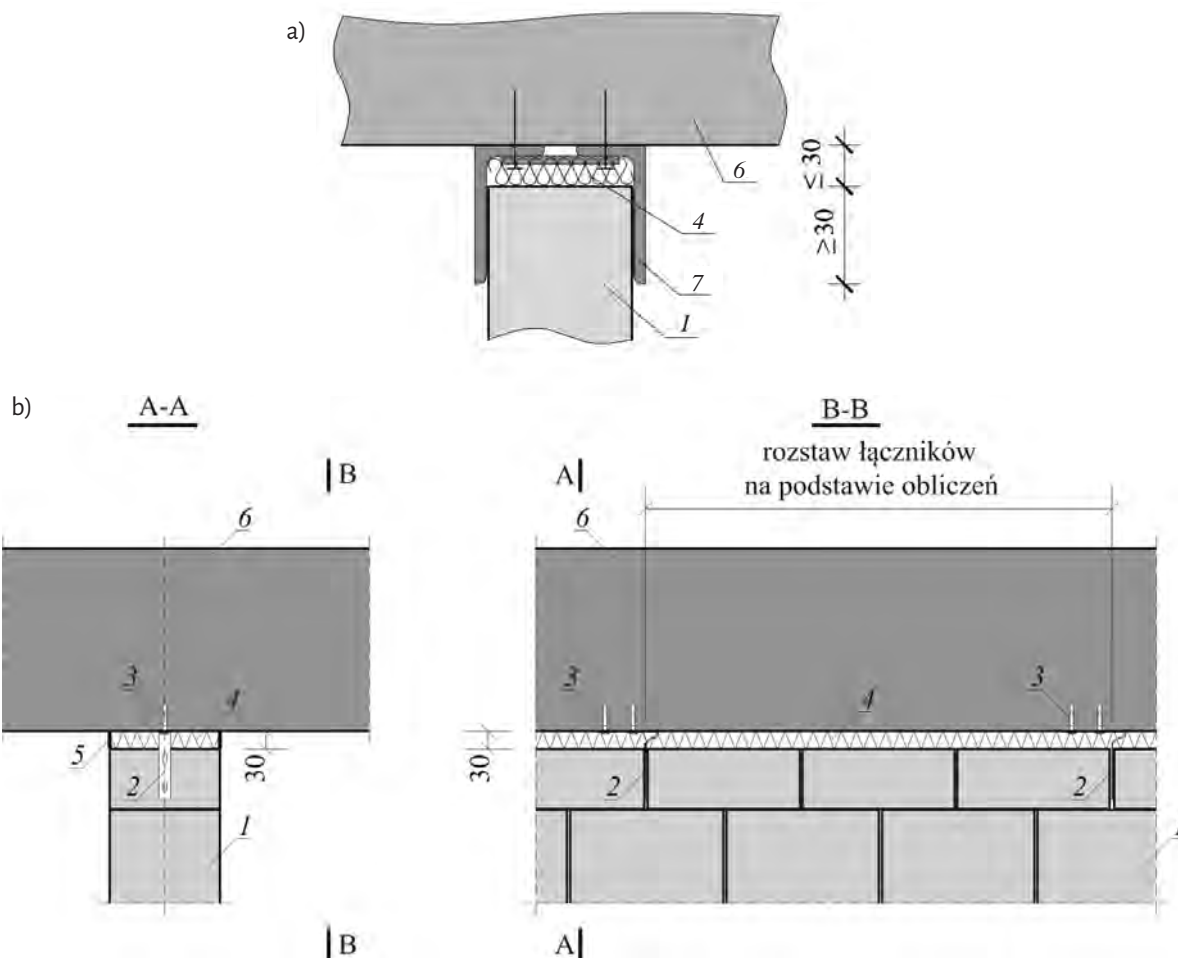


Rys. 5. Przykłady połączenia ściany wypełniającej ze stropem nietraktowanego jako podparcie ściany, lecz spełniającego wymogi odporności ogniowej, 1 – mur, 2 – żelbetowy strop, 3 – warstwa izolacyjna z wełny mineralnej klasy A, 4 – uszczelnienie połączenia.

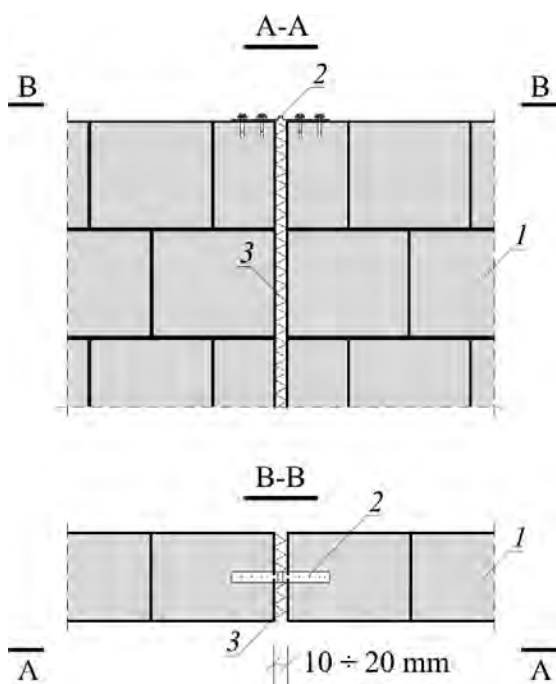
Podparcie między ścianą wypełniającą a stropem można zapewnić przez zastosowanie stalowych kątowników (rys. 6a) lub stalowych kotew umożliwiających kompensację pionowych przemieszczeń między ścianą a stropem (rys. 6b).

Zgodnie z normą [3], podparcie między stropem a ścianą można również uzyskać, stosując złącza całkowicie wypełnione zaprawą. Należy mieć jednak świadomość, że dokładne wypełnienie styku ściana-strop jest zadaniem trudnym. Zaprawa lub beton wypełniający powinny cechować się bardzo niskim skurczem.

W przypadku długich ścian wypełniających niezbędne może być podzielenie jej na krótsze odcinki. Krawędzie pionowe takich ścian można zaprojektować jako krawędzie swobodne (dylatacje) lub jako utwierdzone w pionowych rdzeniach (rys. 3 i 4). Projektując krawędzie swobodne, zakłada się, że odległość między sąsiednimi odcinkami ścian wynosi od 10 do 20 mm. Pionową szczelinę można wypełnić jak w przypadku szczeliny powstałej między krawędzią górną ściany i konstrukcją wypełnianą lub zastosować rozprężne taśmy dylatacyjne. Zaleca się, aby sąsiednie odcinki ścian łączyć konstrukcyjnie górą za pomocą odpowiedniego łącznika pozwalającego na niewielkie wzajemne przemieszczenia konstrukcji murowanej, co pokazano na rys. 7.



Rys. 6. Przykłady prawidłowych połączeń ściany wypełniającej ze stropem: a) przy pomocy stalowych kątowników, b) przy pomocy stalowych kotew, 1 – ściana wypełniająca, 2 – łączniki, 3 – śruba samogwintująca, 4 – wełna mineralna, 5 – masa trwale elastyczna, 6 – strop żelbetowy, 7 – stalowy kątownik.



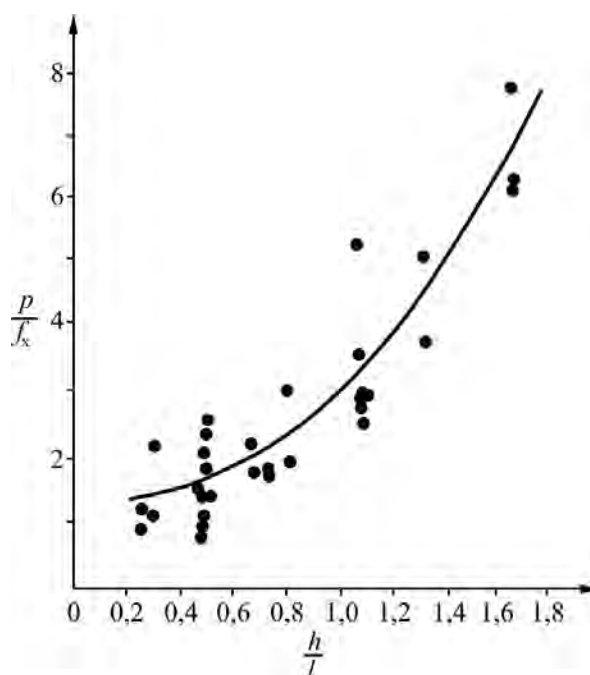
Rys. 7. Konstrukcja swobodnych krawędzi ścian wypełniających wg [7]: 1 – ściana murowana, 2 – łącznik, 3 – taśma dylatacyjna.

Sposób podparcia ścian należy uwzględniać w ewentualnych obliczeniach ściany, stosownie do przyjętego schematu statycznego ściany.

4. Badania ścian zginanych z płaszczyzny

Dominującym stanem w ścianach wypełniających jest zginanie z płaszczyzny (od wiatru i obciążeń użytkowych). Ściany są dodatkowo ściskane od ciężaru własnego i ciężaru elementów do niej podwieszonych oraz mogą być zginane w płaszczyźnie (zginanie wymuszone ugięciem konstrukcji podpierającej ścianę), lecz są to zazwyczaj obciążenia o małych wartościach i nie decydują one o nośności ściany.

Badania w skali naturalnej zginanych z płaszczyzny ścian podpartych wzdłuż trzech i czterech krawędzi prowadzili West, Hodgkinson, Haseltine i Tutt [10, 11]. Na rys. 8 przedstawiono wyniki badań ścian podpartych wzdłuż trzech krawędzi wykonanych przy użyciu różnego rodzaju elementów murowych i zapraw. Pokazano, jak zależy stosunek granicznego równomiernie rozłożonego obciążenia prostopadłego do powierzchni ściany p w kN/m^2 i wytrzymałości na zginanie muru f_x w N/mm^2 od proporcji wysokości ściany h do jej długości l , przy czym jest to wytrzymałość większa z obydwu określanych zwykle w ortogonalnych kierunkach, to znaczy uzyskanych przy zniszczeniu muru zginanego w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do płaszczyzny spoin wspornych.



Rys. 8. Wyniki badań ścian podpartych wzdłuż trzech krawędzi obciążonych prostopadłe do swojej powierzchni wg [10, 11].

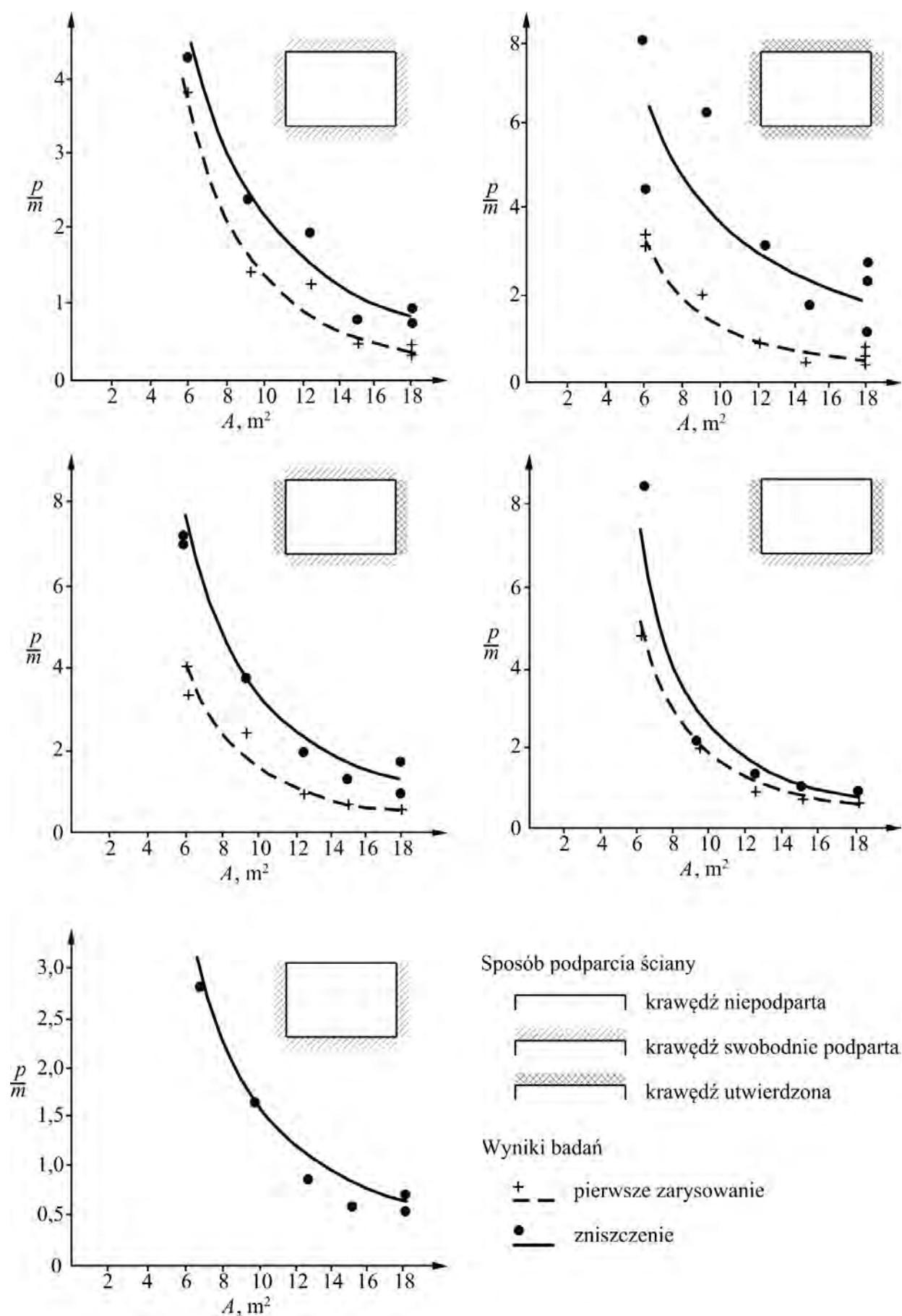
Uzyskane wyniki badań aproksymowano paraboliczną funkcją o równaniu:

$$\frac{p}{f_x} = 2,27 \left(\frac{h}{l} \right)^2 - 0,82 \frac{h}{l} + 1,40. \quad (1)$$

Anderson [12] na podstawie serii badań eksperymentalnych ścian z cegieł i bloczków o różnym sposobie podparcia, obciążonych prostopadłe do ich powierzchni, zauważył, że podpora pozioma w postaci ściany prostopadłej może być traktowana jak ciągła, jeżeli jej grubość jest nie mniejsza niż grubość ściany podpieranej, natomiast długość musi być większa niż $\frac{1}{3}$ wysokości.

Wyniki badań ścian o różnych warunkach brzegowych przeprowadzonych przez Lawrence'a [13] pokazano na rys. 9.

Na wykresach pokazano stosunek granicznego obciążenia prostopadłego do powierzchni ściany p do nośności na zginanie m w stanie granicznym w zależności od pola powierzchni ściany A o różnym sposobie podparcia w chwili powstania pierwszego zarysowania oraz zniszczenia ściany. Lawrence uznał za bardziej miarodajne porównanie nośności ściany do jej pola powierzchni niż do stosunku wysokości do długości, ponieważ zauważył, że nośność jest w przybliżeniu proporcjonalna odwrotności kwadratu pola powierzchni ściany, czyli wartości $1/A^2$.



Rys. 9. Stosunek maksymalnego obciążenia prostopadłego do powierzchni ściany do granicznej nośności na zginanie w zależności od pola powierzchni ściany oraz sposobu podparcia ściany wg badań Lawrence'a [13].

Baker [14], na podstawie wyników badań doświadczalnych, doszedł do następujących wniosków:

- nośność murowanej prostokątnej ściany swobodnie podpartej wzdłuż wszystkich czterech krawędzi i obciążonej prostopadłe do jej powierzchni jest w przybliżeniu równa sumie nośności pionowo i poziomo rozpiętych pasm,
- nośność ściany swobodnie podpartej na trzech krawędziach jest w przybliżeniu równa nośności odpowiadającej jej ścianie opartej wzdłuż czterech krawędzi, lecz o dwukrotnie większej wysokości,
- ograniczenie możliwości obrotu ściany nad podporą wpływa na wzrost nośności pasma poziomego i nie ma większego wpływu na nośność pasma rozpiętego pionowo,
- pionowe naprężenie ściskające wpływa na wzrost nośności pasm rozpiętych poziomo i pionowo.

Na podstawie tych obserwacji Baker zaproponował przybliżoną metodę empiryczną wyznaczania nośności ścian bez otworów równomiernie obciążonych prostopadłe do ich powierzchni. W metodzie tej nośność pasma rozpiętego w kierunku pionowym można wyznaczyć ze wzoru

$$p_v = \frac{\alpha_v f_{x1} Z}{h^2}, \quad (2)$$

w którym f_{x1} to wytrzymałość muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny spoin wspornych, Z jest sprężystym wskaźnikiem zginania przekroju, h to wysokość ściany, natomiast α_v to współczynnik zależny od sposobu podparcia pasma, na przykład równy 8 w przypadku swobodnego podparcia pasma pionowego.

Składnik nośności wynikający z oddziaływania obciążenia pionowego wywołującego naprężenia ściskające prostopadłe do spoin wspornych σ_c należy obliczyć z zależności

$$p_c = \frac{\alpha_h \sigma_c Z}{h^2}. \quad (3)$$

Efektywna wytrzymałość muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych $f_{x2,ef}$ jest według Bakera mniejszą z dwóch wartości obliczonych według wzoru

$$f_{x2,ef} = f_{x2} \cdot 1 + \frac{\sigma_c}{f_{x1}} \quad (4)$$

lub

$$f_{x2,ef} = \frac{1}{9}(4f_b + 5f_{x1}) \leq f_{x2} \quad (5)$$

gdzie f_{x2} jest wytrzymałością muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych, natomiast f_b jest wytrzymałością na zginanie elementów murowych.

Nośność poziomo rozpiętego pasma ściany należy wyznaczyć następująco:

$$p_h = \frac{\alpha_h f_{x2,ef} Z}{l^2} \quad (6)$$

przy czym l jest długością ściany, a współczynnik α_h , podobnie jak α_v , zależy od warunków podparcia pasma poziomego.

Nośność ściany z uwagi na obciążenie prostopadłe do jej powierzchni jest sumą poszczególnych składników

$$p = p_v + p_c + p_h. \quad (7)$$

5. Nośność ścian wypełniających

Podejście do obliczania murowanych ścian wypełniających może być dwojakie. Można wyznaczyć graniczne obciążenie prostopadłe do ściany z uwzględnieniem efektu przesklepienia łukowego. Można także wyznaczyć momenty zginające w sposób klasyczny, jak w ścianie opartej wzdłuż trzech lub czterech krawędzi, i wyznaczyć nośność, mnożąc sprężysty wskaźnik zginania przez odpowiednią wytrzymałość muru na zginanie i na końcu sprawdzić warunek stanu granicznego nośności na zginanie.

Pierwszy sposób, z uwzględnieniem kształtowania się łuku na grubości ściany, wymaga, aby ściana murowana miała kontakt ze słupami i ryglami konstrukcji ramowej, którą wypełnia, najlepiej na całej długości podpartej krawędzi. Efekt przesklepienia łukowego może wystąpić w sytuacji, kiedy rozpór łuku zostanie przejęty przez elementy podpierające ścianę, które będą blokowały możliwość swobodnego obrotu ściany na jej końcach. Dlatego w sytuacji, gdy między ścianą wypełniającą i elementami ramy występuje niewielka nawet szczelina, nośność łuku będzie mocno ograniczona. W takim przypadku efekt przesklepienia łukowego może wystąpić, lecz dopiero po wstępnym zarysowaniu ściany. Problemem tym zajmowali się Gabrielsen i Kaplan [15], którzy stwierdzili, że szczelina występująca między górną krawędzią ściany wypełniającej i ramą spowodowała spadek nośności ściany do około 16% nośności ściany mającej pełen kontakt z wypełnianą konstrukcją. Nośność takiej ściany wypełniającej, niestety nie się z ramą wzdłuż górnej krawędzi, była jednak około

trzykrotnie większa od nośności ściany swobodnie podpartej na wszystkich czterech krawędziach.

Zapewnienie styku ściany ze wszystkimi krawędziami ramy może być zadaniem trudnym, a przede wszystkim dosyć kosztownym. Z drugiej strony, takie ściany wypełniające charakteryzują się bardzo dużą nośnością z uwagi na obciążenia poziome, prostopadłe do ich powierzchni. W literaturze przedmiotu rozważa się sytuacje, kiedy ściana murowana opiera się na dwóch krawędziach poziomych, dolnej i górnej, lub na wszystkich czterech krawędziach. Taki sposób podparcia, zakładając wystąpienie efektu przesklepienia, zrealizować jest najtrudniej, a szczególnie niełatwe jest zapewnienie kontaktu górnej krawędzi ściany z rygłem. W pewnych sytuacjach, głównie w przypadku ścian wewnętrznych, stykanie się ściany murowanej z rygłem ramy lub stropem żelbetowym jest niepożądane, głównie ze względu na chęć uniknięcia uszkodzenia ściany na skutek ugięcia rygla lub stropu. Ściany wypełniające, w obliczeniach których uwzględnia się efekt przesklepienia łukowego, można również podeprzeć jedynie wzdłuż krawędzi pionowych. Takie podparcie zrealizować jest stosunkowo najprościej, na przykład poprzez monolityzację strzępi ściany z żelbetowymi słupami. Wówczas nie ma potrzeby zapewnienia kontaktu górnej krawędzi ściany, natomiast krawędź dolna może być również uważana za niepodpartą, zwłaszcza że często stosuje się warstwę poślizgową pomiędzy stropem a ścianą w celu zmniejszenia niepożądanych sił przekazywanych na ścianę, wynikających z ugięcia stropu lub rygla ramy.

Obliczenia z uwzględnieniem kształtowania się łuku na grubości ściany należy prowadzić przy założeniu łuku trójkątowego, gdzie odległość punktów podparcia oraz wierzchołka łuku od powierzchni ściany przyjmuje się równą $t/10$, gdzie t jest grubością ściany, w której wykształcił się łuk – patrz rys. 10.

Jeżeli w pobliżu linii rozparcia łuku występują wnęki lub bruzdy, należy uwzględnić wpływ ich obecności na nośność ściany.

Rozpór łuku należy wyznaczać na podstawie znajomości obciążenia prostopadłego do powierzchni ściany, wytrzymałości muru na ściskanie, efektywności połączenia między ścianą i podporem, które przejmują rozpór łuku, oraz sprężystym i długotrwałym odkształceniom wywołującym skrócenie ściany.

Strzałkę łuku r należy obliczać ze wzoru

$$r = 0,9t - d_a, \quad (8)$$

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

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

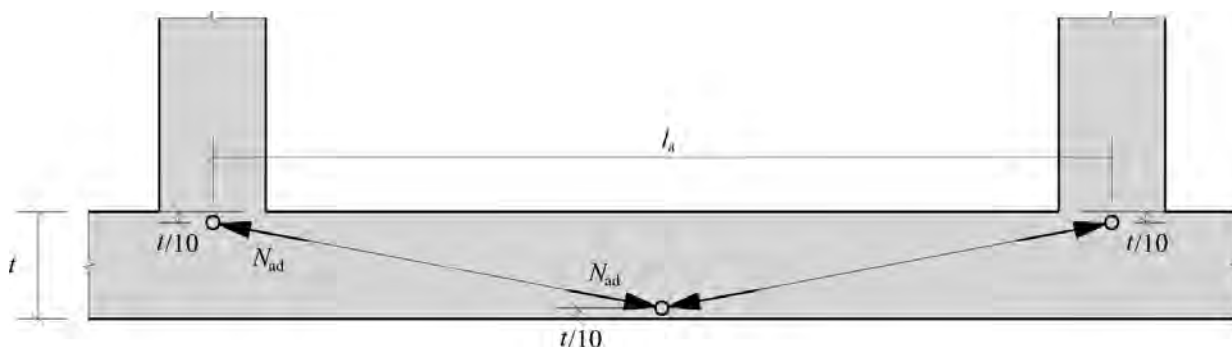
$$N_{ad} = 1,5f_d \frac{t}{10}, \quad (9)$$

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

$$q_{lat,d} = f_d \frac{t^2}{l_a}, \quad (10)$$

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

Obliczeniowy rozpór łuku i nośność ściany na obciążenie prostopadłe do jej powierzchni można wyznaczać z powyższych wzorów pod warunkiem, że przez każdą warstwę o niskiej zdolności do



Rys. 10. Efekt przesklepienia łukowego w ścianie murowanej wg PN-En 1996-1-1 [9].

przenoszenia naprężenia stycznego w postaci izolacji lub innej warstwy o małej nośności z uwagi na tarcie mogą zostać przekazane odpowiednie siły poziome, obliczeniowe naprężenie od obciążeń pionowych ściany jest nie mniejsze niż $0,1 \text{ N/mm}^2$ oraz smukłość ściany w rozważanym kierunku nie przekracza 20. Należy podkreślić, że dużą nośność w metodzie tej uzyskuje się tylko w ścianach o znacznej grubości. Ściany wypełniające z reguły mają małą grubość i wtedy oblicza się je metodą klasyczną.

W drugiej, klasycznej metodzie obliczania ścian wypełniających wyznacza się momenty zginające i nośność na zginanie. Graniczne obciążenie ściany uzyskiwane tą metodą jest dużo niższe niż w przypadku metody z uwzględnieniem efektu przesklepienia łukowego. Konstrukcja ścian wypełniających i połączenie ich z elementami ramy żelbetowej lub stalowej są dużo prostsze oraz mniej kosztowne. Przy założeniu swobodnego podparcia wszystkich krawędzi wystarczy, aby połączenie takie było zdolne do przeniesienia sił poprzecznych.

Obydwa sposoby obliczania ścian obciążonych prostopadle do ich powierzchni występują w normie PN-EN 1996-1-1 [9] i zostały opisane w rozdziale 3.1. i 3.2. książki [7].

Zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [9], w ścianach zginanych z płaszczyzny w stanie granicznym nośności moment zginający przyłożony do ściany murowanej M_{Ed} nie może być większy od obliczeniowej nośności ściany na zginanie M_{Rd} . Prawdziwa musi być zatem nierówność:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}. \quad (11)$$

W obliczeniach momentu zginającego należy uwzględnić ortotropowe właściwości muru poprzez uwzględnienie współczynnika ortogonalności μ .

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

$$M_{Rd} = f_{xd} Z, \quad (12)$$

gdzie f_{xd} jest obliczeniową wytrzymałością muru na zginanie, natomiast Z jest sprężystym wskaźnikiem zginania przekroju obliczanej ściany. Wytrzymałość f_{xd} , w zależności od płaszczyzny oddziaływania momentu zginającego, może być obliczeniową wytrzymałością na zginanie, gdy do zniszczenia dochodzi w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych f_{xd1} , lub wytrzymałością określaną przy założeniu płaszczyzny zniszczenia prostopadłej do spoin

wspornych muru f_{xd2} . Kiedy uwzględnia się pozytywny wpływ naprężenia ściskającego, normalnego do płaszczyzny spoin wspornych, wówczas zamiast wartości f_{xd1} można w obliczeniach nośności na zginanie przyjąć obliczeniową, zastępczą wytrzymałość na zginanie $f_{xd1,app}$. W tej sytuacji należy jednak pamiętać o odpowiedniej modyfikacji współczynnika ortogonalności μ przy wyznaczaniu wartości momentów zginających obciążających ścianę. Szczegóły dotyczące określania wytrzymałości muru na rozciąganie i zginanie można znaleźć w rozdziale 3.6.3. książki [7].

Wyznaczając sprężysty wskaźnik zginania Z ściany z pilastrami, długość współpracującej z pilastrem części ściany przyjmować należy jako najmniejszą z trzech wartości, to jest:

- $h/10$ w przypadku ścian rozpiętych pionowo między podporami,
- $h/5$ dla ścian wspornikowych,
- połowa rozpiętości ściany w świetle między pilastrami,
- przy czym h jest wysokością ściany w świetle podpór.

Zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [9], w przypadku ścian szczelinowych obliczeniowe obciążenie wiatrem na jednostkę powierzchni ściany W_{Ed} można rozdzielić na obydwie warstwy ściany pod warunkiem, że kotwy lub inne łączniki znajdujące się między warstwami są w stanie przenieść obciążenia oddziałujące na ścianę szczelinową. Rozdział obciążeń może być proporcjonalny do nośności na zginanie poszczególnych warstw lub ich sztywności. Gdy dokonuje się rozdziału obciążenia z uwagi na sztywność warstw ściany, każda warstwa powinna spełniać warunek stanu granicznego nośności z uwagi na część momentu M_{Ed} , określoną zgodnie z zasadą proporcjonalnego do sztywności rozdziału momentu zginającego. Warto zauważyć, że obliczając kotwy łączące dwie warstwy ściany szczelinowej, oprócz obciążenia prostopadłego do powierzchni muru, należy brać pod uwagę siły wynikające z różnych odkształceń warstw ściany spowodowanych wpływami termicznymi, wilgotnościowymi oraz obciążeniem stałym i zmiennym o charakterze grawitacyjnym.

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

Ściany wypełniające, oprócz obciążenia prostopadłego do płaszczyzny, mogą pełnić rolę ścian usztywniających i przejmować obciążenia ścinające. Informacje dotyczące sprawdzania warunków stanu

Tablica 2. Dopuszczalne wartości kąta odkształcenia postaciowego Θ_{adm} , w miliradianach [19].

Grupa elementów murowych	Zaprawa cementowa	Zaprawa cementowo-wapienna
Grupa 1 poza elementami z autoklawizowanego betonu komórkowego	0,4	0,5
Grupa 2, 3 i 4	0,3	0,4
Elementy z autoklawizowanego betonu komórkowego	0,2	0,3

granicznego nośności niezbrojonych ścian poddanych ścinaniu podano w pkt. 6.2. Eurokodu PN-EN 1996-1-1 [9]. Zasadą w tej normie jest, że w stanie granicznym nośności obliczeniowe obciążenie ścinające działające na ścianę murową V_{Ed} nie powinno być większe od obliczeniowej nośności na ścinanie ściany V_{Rd} :

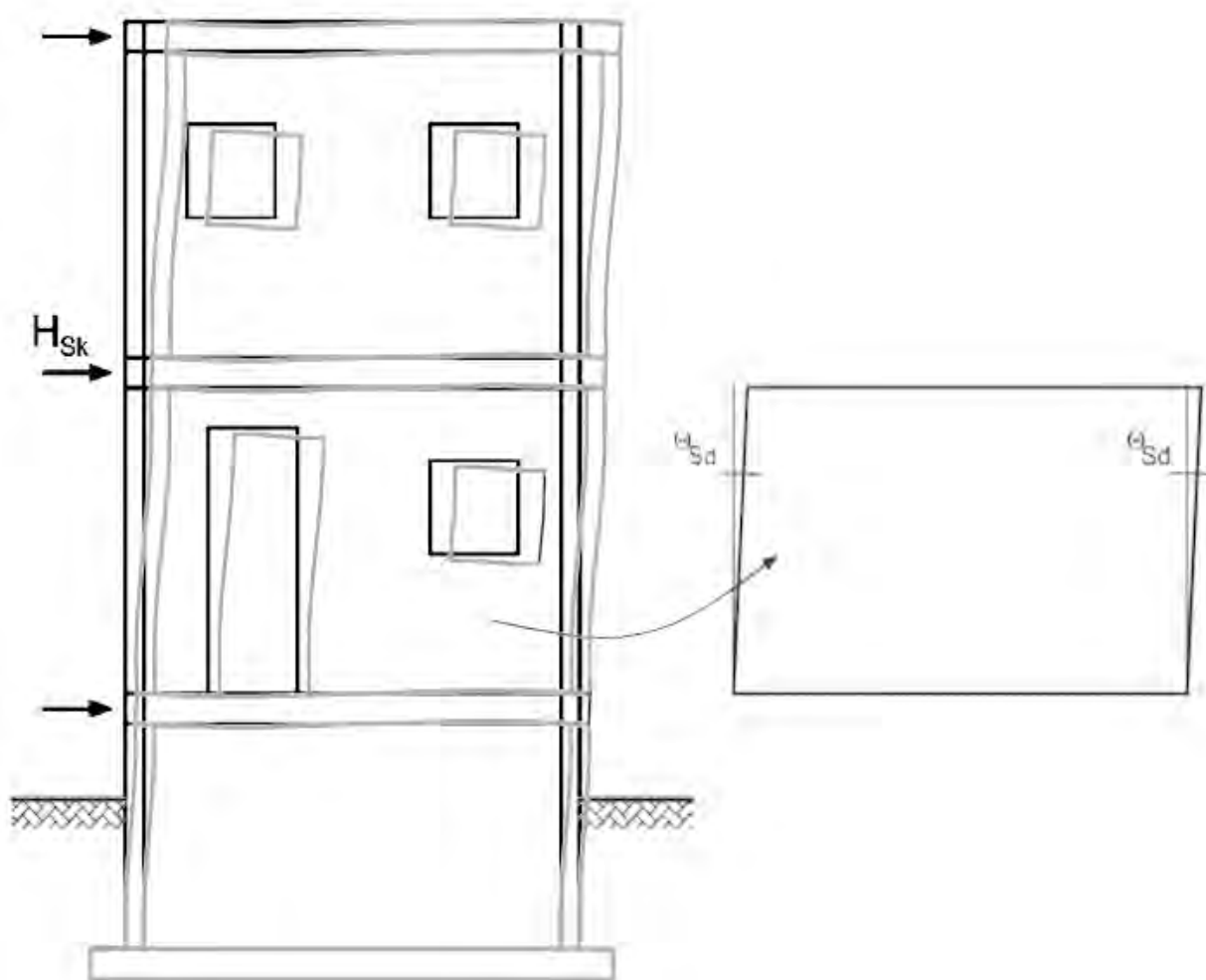
$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{vd} t l_c, \quad (13)$$

gdzie:

f_{vd} – wytrzymałość obliczeniowa muru na ścinanie, wyznaczona zgodnie z pkt. 2.4.1. i pkt. 3.6.2. oraz pkt. NA.4 załącznika krajowego normy PN-EN 1996-1-1 [9], od średnich naprężeń pionowych nad ściskaną częścią ściany, w której ustalana jest nośność na ścinanie,

t – grubość ściany,

l_c – długość ściskanej części ściany.

**Rys. 11.** Kąt odkształcenia postaciowego, określany zgodnie z normą PN-B-03002:2007 [19].

Szczegółowe zasady obliczeń ścian poddanych ścinaniu, a w szczególności ścian usztywniających, zamieszczono w pracy [18].

Warto tu jeszcze wspomnieć o ciekawym sposobie sprawdzania stanu granicznego użytkowania ścian ścinanych, przyjętym w normie PN-B-03002:2007 [19]. W normie tej znaleźć można zapis mówiący, że gdy ściana nie przenosi innego obciążenia pionowego poza ciężarem własnym z jednej kondygnacji, sprawdzić należy nieprzekroczenie dopuszczalnej wielkości kąta granicznego odkształcenia postaciowego ściany θ_{adm} , wywołanego obciążeniem działającym w jej płaszczyźnie. Jeżeli ściana taka jest ścianą zewnętrzną, należy sprawdzić dodatkowo jej nośność z uwagi na obciążenie poziome działające prostopadle do płaszczyzny ściany. Warunek na nieprzekroczenie dopuszczalnej wielkości kąta θ_{adm} ma postać:

$$\theta_{sd} \leq \theta_{adm}, \quad (14)$$

gdzie:

θ_{sd} – kąt odkształcenia postaciowego obliczony dla charakterystycznych wartości poziomych sił ścinających V_{sk} (rys. 11) równy:

$$\theta_{sd} = \frac{V_{sk}}{0,2 E A}, \quad (15)$$

E – moduł sprężystości muru,

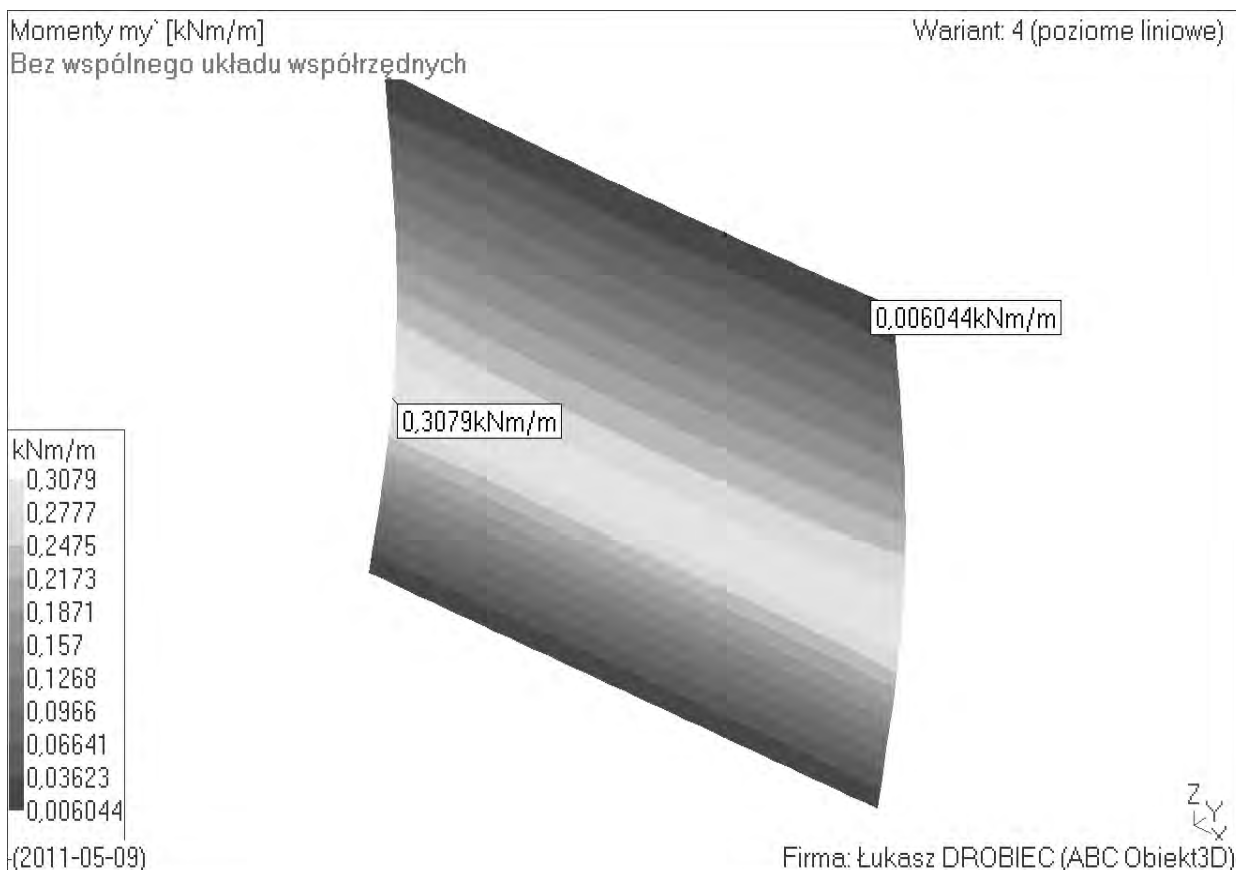
A – przekrój poziomy ściany,

θ_{adm} – dopuszczalna wartość kąta odkształcenia postaciowego.

Wartości θ_{adm} przyjmować można dla murów z wypełnionymi spoinami pionowymi z tablicy 2, a dla murów z niewypełnionymi spoinami pionowymi – wartości z tablicy 2 zmniejszone o 50% [20, 21].

6. Określenie sił wewnętrznych i reakcji w podporach

Po przyjęciu obciążeń działających na ścianę wypełniającą lub osłonową należy przystąpić do określenia sił wewnętrznych w ścianie. W załączniku E norma PN-EN 1996-1-1 [9] podaje uproszczony sposób wyznaczania momentów zginających w ścianach obciążonych prostopadle do swej płaszczyzny. Sposób ten dotyczy jednak ścian o grubości nie większej niż 250 mm i obciążonych w sposób równomierny. Podstawowe obciążenie użytkowe ścian wypełniających lub osłonowych jest liniowe i dlatego do określania sił wewnętrznych nie można wykorzystać załącznika E.



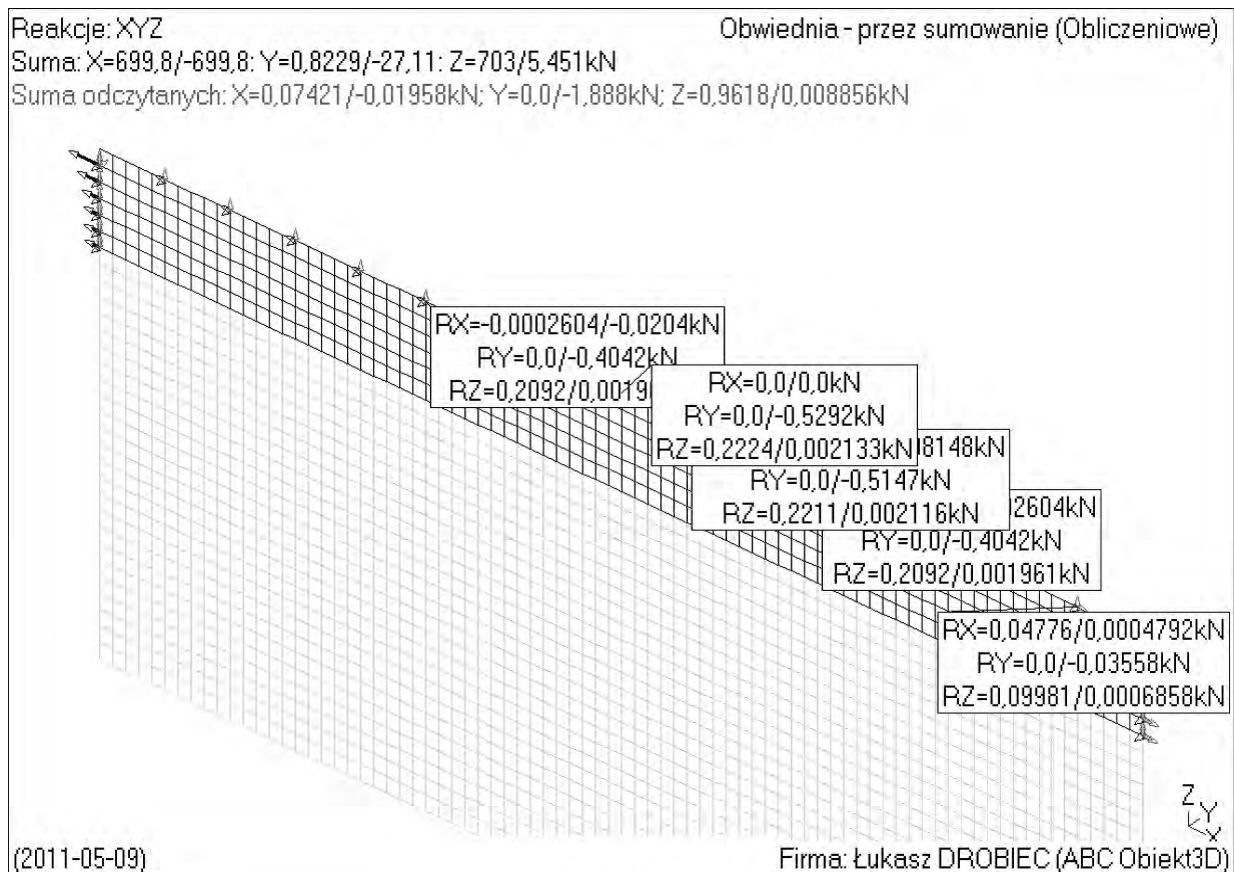
Rys. 12a. Wyniki obliczeń prowadzonych oprogramowaniem bazującym na MES – momenty zginające od użytkowego obciążenia liniowego.

Norma PN-EN 1996-1-1 [9] zezwala dla ścian o nieregularnych kształtach lub z projektowanymi znacznymi otworami wykorzystywać znane sposoby określania momentów zginających w płytach wieloprzęślowych, na przykład metodą elementów skończonych (MES) lub metodą linii załomów. W analizach tych należy uwzględnić anizotropię muru, np. przez zastosowanie współczynnika ortogonalności μ . W przypadku ścian wypełniających lub osłonowych oprogramowanie bazujące na MES musi mieć możliwość przyłożenia obciążeń w dwóch kierunkach. Obciążenie od ciężaru własnego oraz obciążenia od wpływów termiczno-reologicznych działają w płaszczyźnie ściany, natomiast obciążenia od wiatru i obciążenia użytkowe działają w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ściany. Model obliczeniowy jest prosty, gdyż analizuje się zazwyczaj ściany prostokątne, ewentualnie ściany z otworami. Zaleca się zagęszczenie siatki MES w okolicy podparć oraz w rejonie otworów, jeżeli takie występują w ścianie. Przy tworzeniu modelu ściany należy zwrócić uwagę, aby podpory znajdowały się miejscach projektowanych łączników. Podpory te zaleca się przyjmować w modelu jako podatne. Po zamodelowaniu ściany, przyjęciu schematów obciążeń przeprowadza się obliczenia, stosując standardowe kombinacje obciążeń. Wynikiem przeprowadzonych obliczeń są wartości momentów zginających oraz reakcji podporowych (rys. 12a, b).

Po uzyskaniu wartości sił wewnętrznych należy wykazać, że obliczeniowy moment w murowej ścianie nie jest większy od nośności obliczeniowej na zginanie ściany M_{Rd} według wzoru (11). W przypadku przekroczenia nośności konieczne będzie zmniejszenie wymiarów ściany lub zwiększenie jej grubości. Następnie należy sprawdzić, czy wielkość reakcji podporowych nie jest większa od obliczeniowej nośności łączników, deklarowanej przez jej producenta. Gdy nośność jest przekroczona, należy zwiększyć liczbę łączników lub zastosować łączniki podwójne. W przypadku ścian osłonowych należy dodatkowo sprawdzić warunek ugięcia.

7. Algorytmy projektowania

W tablicy 3 podano algorytm sprawdzania stanu granicznej nośności murowanej ściany bez otworów zginanej z płaszczyzny obciążonej prostopadle do jej powierzchni, natomiast w tablicy 4 zamieszczono algorytm wyznaczania granicznej wartości równomierne rozłożonego prostopadłego do płaszczyzny ściany obciążenia przypadającego na jednostkę powierzchni. Numery wzorów w tablicach są zgodne z numeracją według normy PN-EN 1996-1-1 [9].



Rys. 12b. Wyniki obliczeń prowadzonych oprogramowaniem bazującym na MES – reakcje na górnej krawędzi – obwiednia.

Tablica 3. Algorytm sprawdzania stanu granicznego nośności ściany murowanej bez otworów obciążonej równomiernie w kierunku prostopadłym do jej powierzchni.

1	Dane: rodzaj elementów murowych i zaprawy, grubość ściany t , długość ściany l , wysokość ściany h , obliczeniowa wytrzymałość muru na ściskanie f_d , charakterystyczna wytrzymałość muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych f_{xk1} , charakterystyczna wytrzymałość muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych f_{xk2} , obliczeniowe obciążenie ściany wiatrem (parcie lub ssanie wiatru) W_{Ed} , obliczeniowe pionowe naprężenie ściskające występujące na górnej krawędzi ściany σ_d .	
2	Określenie wytrzymałości obliczeniowej muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych:	
	$f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{\gamma_M \gamma_{Rd}},$	
gdzie: γ_M – częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla muru wg tablicy NA.1 normy [9], γ_{Rd} – według tablicy NA.2 w Załączniku Krajowym, gdy pole powierzchni przekroju poprzecznego elementu konstrukcji murowej jest mniejsze niż 0,30 m ² .		
3	Określenie wytrzymałości obliczeniowej muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych:	
	$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{\gamma_M \gamma_{Rd}}.$	
4	Obliczenie zastępczej wytrzymałości muru na zginanie przy zniszczeniu w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych:	
	$f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d,$	(6.17)
gdzie: σ_d – obliczeniowe pionowe naprężenie ściskające na górnej krawędzi ściany.		
5	Określenie współczynnika ortogonalności:	
	$\mu = \frac{f_{xd1,app}}{f_{xd2}}.$	
Współczynnik ortogonalności wyznacza się zgodnie z zasadami zapisanymi w uwadze do punktu 5.5.5(7) normy [9]. Błąd: Nie znaleziono źródła odwołania.		
6	Wyznaczenie momentów zginających działających na jednostkę długości ściany	
	Momenty w obu kierunkach określić należy na podstawie modelu w programie MES.	
7	Określenie sprężystego wskaźnika zginania na jednostkę długości/wysokości ściany:	
	$Z = \frac{t^2}{6}.$	
9	Wyznaczenie nośności na zginanie na jednostkę długości ściany:	
	$M_{Rd1} = Z f_{xd1,app}.$	(6.16)
10	Wyznaczenie nośności na zginanie na jednostkę wysokości ściany:	
	$M_{Rd2} = Z f_{xd2}.$	(6.16)
11	Sprawdzenie stanu granicznego nośności na zginanie:	
	$M_{Ed1} \leq M_{Rd1},$ $M_{Ed2} \leq M_{Rd2}.$	(6.15)
12	Jeżeli warunek stanu granicznego nośności nie jest spełniony lub nośność na zginanie jest znacznie większa od obliczeniowego momentu zginającego, wówczas należy odpowiednio zwiększyć lub zmniejszyć grubość ściany, bądź zmienić zastosowane elementy murowe lub/i zaprawę, tak aby uzyskać większą lub mniejszą wytrzymałość muru na zginanie.	

Tablica 4. Algorytm wyznaczania granicznej wartości równomiernie rozłożonego obciążenia prostopadłego do powierzchni ściany bez otworów przy założeniu wystąpienia efektu przesklepienia łukowego.

1	Dane: rodzaj elementów murowych i zaprawy, grubość ściany t , długość ściany l , wysokość ściany h , obliczeniowa wytrzymałość muru na ściskanie w kierunku równoległym do oddziaływania rozporu łuku f_d , obliczeniowe pionowe naprężenie ściskające występujące na górnej krawędzi ściany σ_d , obliczeniowe obciążenie ściany wiatrem (parcie lub ssanie wiatru) W_{Ed} .
2	Sprawdzenie smukłości: $\frac{l}{t} \leq 20.$
3	Sprawdzenie warunku naprężenia ściskającego na poziomie górnej krawędzi ściany: $\sigma_d \geq 0,1 \text{ N/mm}^2.$
4	Sprawdzenie warunku dotyczącego warstw o niskiej nośności na ścinanie: Należy sprawdzić, czy warstwa izolacji przeciwwilgociowej lub innej warstwy w murze o niskiej nośności z uwagi na ścinanie jest w stanie przenieść odpowiednie siły poziome.
5	Wyznaczenie maksymalnego obliczeniowego rozporu łuku na jednostkę wysokości ściany: $N_{ad} = 1,5 f_d \frac{t}{10}. \quad (6.19)$
6	Określenie granicznego równomiernego obciążenia ściany prostopadłego do jej powierzchni: $q_{lat,d} = f_d \frac{t^2}{l}. \quad (6.20)$
7	Sprawdzenie warunku nieprzekroczenia dopuszczalnej wartości obciążenia wiatrem: $q_{lat,d} \geq W_{Ed}.$
8	Jeżeli warunek w punkcie 7 nie jest spełniony lub obciążenie graniczne jest znacznie większe od obliczeniowego równomiernie rozłożonego obciążenia prostopadłego do płaszczyzny ściany, należy odpowiednio zwiększyć lub zmniejszyć grubość ściany, bądź zmienić zastosowane elementy murowe lub/i zaprawę, tak aby uzyskać większą lub mniejszą wytrzymałość muru na ściskanie w kierunku oddziaływania rozporu łuku.

8. Ściany, które należy sprawdzać obliczeniowo

Oczywiście nie wszystkie ściany wypełniające wymagają obliczeniowego sprawdzenia. Przez blisko 100 lat funkcjonowania norm do projektowania konstrukcji murowych nie prowadzono obliczeń ścian działowych, choć co jakiś czas słyszy się o awariach i zniszczeniach spowodowanych przez przewrócenie się takiej ścianki. Norma PN-EN 1991-1-1 [1] zaleca uwzględnianie obciążeń poziomych w analizach ścian działowych i ograniczających, co jest podstawą do prowadzenia obliczeń statyczno-wytrzymałościowych tych elementów. Wydaje się jednak, że wykonywanie obliczeń ścianek o obciążeniu mniejszym od 0,5 kN/m nie jest konieczne. Obliczenia prowadzić natomiast należy tam, gdzie takie obciążenie jest duże, gdy rozpiętości stropów są znaczne, a architektura wymusza stosowanie cienkich ścianek o małej nośności. Należy

rozważyć konieczność uwzględnienia w analizach obliczeniowych poziomych przemieszczeń konstrukcji, wywołujących w ścianach wypełniających naprężenia ścinające. Jest to szczególnie istotne w przypadku, gdy ściany są znacznie oddalone od środka ścinania budynku. Analizie poddawać należy przede wszystkim ściany wzdłuż traktów komunikacyjnych, ściany pomieszczeń, gdzie może przebywać dużo osób (pomieszczenia o kategorii użytkowania C2, C4, C5, D), ściany obciążone ciężarem montowanych na nich urządzeń, wielkopowierzchniowe ściany osłonowe obciążone wiatrem oraz ściany narażone na uderzenia pojazdami.

Zgodnie z zaleceniami normy [1], każdy obiekt należy rozpatrzyć indywidualnie, przeanalizować obciążenia użytkowe, określić poziom obciążenia liniowego. Następnie należy zastanowić się nad koniecznością przeprowadzenia obliczeń. W przypadku stosowania łączników mechanicznych obciążenia powinny obejmować nie tylko nośność ściany, ale i nośność łączników.

9. Podsumowanie

Ściany wypełniające i osłonowe w wielu przypadkach nie są w ogóle sprawdzane obliczeniowo na etapie projektu budowlanego ani nawet przy sporządzaniu projektów wykonawczych. Ze względu na duże wymagania odnośnie do kształtowania i wielkości obciążeń

takich ścian projektowanie bywa czasochłonne, a nośność ścian o małej grubości często nie zostaje spełniona. Projektant ponosi pełną odpowiedzialność za zaprojektowany obiekt, w tym i za ściany wypełniające oraz osłonowe. W przypadku braku stosownych analiz obliczeniowych w projekcie oraz wystąpienia uszkodzeń lub awarii ponosi on pełne konsekwencje tych zdarzeń.

Literatura:

- [1] PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2010P, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [2] PN-EN 1990:2004/AC:2010P, Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.
- [3] PN-EN 1996-1-2:2010/AC:2011P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [4] PN-EN 1363-2:2001P: Badania odporności ogniowej. Część 2: Procedury alternatywne i dodatkowe.
- [5] PN-EN 1991-1-4:2008P, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- [6] PN-EN 1991-1-5:2005/AC:2009P, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne.
- [7] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe. Według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [8] Drobiec Ł.: Problemy projektowania ścian wypełniających i osłonowych wg EC-6. Materiały Budowlane, 1/2012, s. 92–96.
- [9] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [10] Haseltine B.A., West H.W.H., Tutt J.N., The Resistance of Brickwork to Lateral Loading. Part 2, Design of Walls to Resist Lateral Loading. The Structural Engineer, 55, 1977, s. 422–430.
- [11] West H.W.H., Hodgkinson H.R.: Haseltine B.A., The Resistance of Brickwork to Lateral Loading. Part 1, Experimental Methods and Results of Tests on Small Specimens and Full Sized Walls. The Structural Engineer, 55, 1977, s. 411–421.
- [12] Anderson C., Transverse Laterally Loaded Test on Single Leaf and Cavity Walls. Proceedings of the Third International Symposium on Wall Structures, CIB (COBPBO), Warszawa, 1984, s. 93–103.
- [13] Lawrence S.J.: Behaviour of Brick Masonry Walls under Lateral Loading. Praca Doktorska. University of New South Wales, 1983.
- [14] Baker L.R.: Lateral Loading of Masonry Panels – A State of the Art Report. Seminar/Workshop on Planning, Design, Construction of Load Bearing Brick Buildings for Developing Countries, Delhi 1981. Department of Civil Engineering and Building Science, University of Edinburgh, 1981.
- [15] Gabrielsen B.L., Kaplan K.: Arching in Masonry Walls Subjected to Out-of-Plane Forces. Earthquake Resistant Masonry Construction: National Workshop, NBS Building Science Series No. 106, Boulder, Colorado, USA, 1976, s. 283–313.
- [16] Drobiec Ł.: Ściany wypełniające. Błędy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [17] PN-EN 13501-1+A1:2010P: Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków, Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień.
- [18] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe. Według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014 (w przygotowaniu).
- [19] PN-B-03002:2007: Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie.
- [20] Lewicki B.: Projektowanie konstrukcji murowych. Komentarz do PN-B-03002:1999. ITB, Warszawa, 2002.
- [21] Lewicki B., Kubica J., Drobiec Ł., Gajownik R., Jarmontowicz R., Jasiński R., Kubiak D., Piekarczyk A., Sieczkowski J.: Rozszerzenie podstaw naukowych ustaleń Eurokodu 6 „Projektowanie konstrukcji murowych”. Komentarz naukowo-badawczy do PN-EN 1996-1-1:2008, PN-EN 1996-2:2008 i PN-EN 1996-3:2008. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2008, tom 1 i tom 2.

dr inż. Radosław Jasiński
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Śląska

WARUNKI KONSTRUOWANIA ŚCIAN WYPEŁNIAJĄCYCH

W pracy omówiono warunki konstruowania murów, w tym także ścian wypełniających, według obowiązujących wymogów Eurokodu 6 i norm stowarzyszonych. Omówiono również zalecenia dotyczące konstruowania murów skrępowanych, które traktować należy jako ściany konstrukcyjne współpracujące z konstrukcją żelbetową. Ten typ konstrukcji stosowany jest bardzo powszechnie w obiektach wielkopowierzchniowych i pełni rolę wypełnienia. Przedstawiono zalecenia w zakresie materiałów do wznoszenia murów, wymiarów murów, zbrojenia oraz kotew i łączników służących do połączeń ścian wypełniających ze szkieletem żelbetowym. Scharakteryzowano również ustalenia w zakresie konstruowania dylatacji ścian.

1. Wprowadzenie

Przepisy normowe, oprócz zaleceń dotyczących zagadnień materiałowych oraz zasad obliczania konstrukcji, zawierają także szereg mniej lub bardziej szczegółowych zaleceń oraz wymagań konstrukcyjnych [27]. Podane w normach zalecenia projektowe dotyczące sprawdzania stanów granicznych obowiązują jedynie, gdy konstrukcja spełnia odpowiednie wymagania konstrukcyjne, ponieważ przyjęte uproszczenia modelu obliczeniowego pozwalają zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa konstrukcji przy zachowaniu warunków konstrukcyjnych. Dlatego wszelkie zalecenia i wymagania konstrukcyjne, które zawierają normy projektowania, należy traktować jako równorzędne z zaleceniami dotyczącymi prowadzenia obliczeń. W niniejszym referacie ograniczono się do zaleceń obowiązujących w normie PN-EN 1996-1-1 [1] i normach stowarzyszonych, pomijając świadomie wieloletnie tradycje w tym zakresie, których omówienie znaleźć można w publikacjach [2 i 3].

2. Materiały do wykonywania murów

Do wznoszenia konstrukcji zaleca się stosować elementy murowe odpowiednie do danego rodzaju muru, ich umiejscowienia i wymaganej trwałości. Zaprawa,

beton wypełniający i zbrojenie powinny być odpowiednie do typu elementów murowych i wymagań dotyczących trwałości. Dodatkowo wymaga się także, aby w murach zbrojonych pręty były układane w zaprawie o wytrzymałości co najmniej 4 MPa, a w murach z prefabrykowanym zbrojeniem do spoin wspornych powinno być ono układane w zaprawie o wytrzymałości nie mniejszej niż M2.

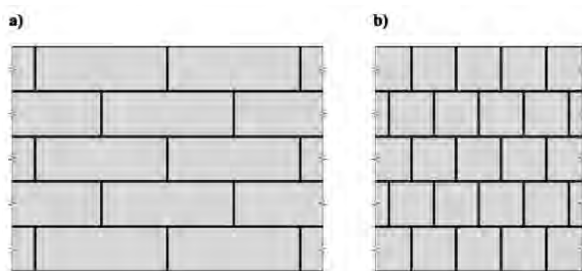
3. Grubość i przekrój poprzeczny ścian

Grubość muru jest jednym z ważniejszych czynników wpływających na parametry wytrzymałościowe muru. Z grubością muru wyrażoną jako wielokrotność dłuższego wymiaru elementów murowych zwiększa się liczba spoin, a szczególnie spoin podłużnych i czołowych. Obecność spoin podłużnych lokalnie nieprzewiązanych oraz niejednorodność ich wypełniania powstająca w trakcie ich wykonywania powodują obniżenie wytrzymałości muru na ściskanie, ścinanie i zginanie. Zjawiska te potwierdzają stosunkowo obszerne badania zagraniczne jak i krajowe. Minimalna grubość ścian (t_{min}) powinna być dobierana na podstawie obliczeń wykonywanych zgodnie z zaleceniami normowymi, tak aby spełnione zostały warunki stateczności konstrukcji. Istnieje jednak możliwość szczegółowego

doprecyzowania wartości t_{min} ścian nośnych w poszczególnych krajach, w załącznikach krajowych. Według polskiego Załącznika Krajowego normy [1], przyjmuje się minimalną grubość ścian konstrukcyjnych z muru o wytrzymałości $f_k \geq 5$ MPa równą co najmniej 100 mm. Przy mniejszych wytrzymałościach muru, gdy $f_k < 5$ MPa, minimalna grubość ścian nie powinna być mniejsza niż 150 mm. Minimalna grubość ścian usztywniających powinna wynosić 180 mm. Przyjęte zalecenia zostały w niezmienionej formie przetransponowane z normy PN-07 [4]. W związku z tym, jeżeli ściana wypełniająca pełni rolę ściany konstrukcyjnej, minimalna grubość powinna wynosić 100–150 mm, a kiedy stanowi wypełnienie ustroju szkieletowego i nie przejmuje pionowych obciążeń, powinna mieć grubość co najmniej 180 mm.

4. Przewiązanie muru, informacje ogólne

Obecnie ściany wykonywane są z elementów większych formatów, dzięki czemu zwiększa się efektywność i wydajność pracy przy jednoczesnym zmniejszeniu zapotrzebowania na zaprawę. Z elementów wielkoformatowych, takich jak pustaki i bloczki, wykonuje się najczęściej ściany jednowarstwowe. Różnorodność wiązań elementów murowych jest zdecydowanie mniejsza niż wiązań cegieł [2], najczęściej stosuje się wiązanie wozówkowe lub wiązanie główkowe (rys. 1).



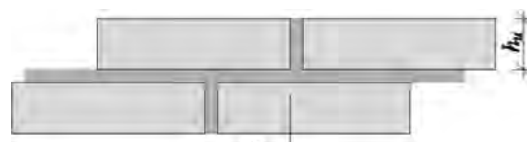
Rys. 1. Stosowane wązki elementów murowych średnio- i wielkogabarytowych: a) wiązanie wozówkowe, b) wiązanie główkowe.

Prawidłowe przenoszenie obciążeń przez niezbrojony mur jest możliwe, gdy elementy murowe odpowiednio na siebie zachodzą i występuje wiązanie murarskie. Jak dowodzą nieliczne badania przeprowadzone w tym zakresie, rodzaj wiązania elementów murowych wpływa na wytrzymałość muru na ściskanie. Zagadnienie przewiązania muru jest na tyle istotne, że zostało znormalizowane w postaci pewnych wymagań szczegółowych we wszystkich przepisach normowych.

W EC-6 zaleca się, aby elementy murowe były odpowiednio wzajemnie przewiązane, a spoiny były wypełnione zaprawą zgodnie ze sprawdzoną praktyką.

Na rys. 2 pokazano wymagane wielkości zakładów prefabrykowanych elementów murowych, które należy zrealizować, stosując przycinanie elementów murowych. W murach niezbrojonych elementy murowe o wysokości mniejszej lub równej 250 mm powinny zachodzić na siebie na długości co najmniej 0,4 wysokości elementu murowego lub 40 mm, decyduje wartość większa. W przypadku elementów o wysokości większej niż 250 mm, zakład powinien być większy od 0,2 wysokości elementu lub 100 mm. W narożach i na skrzyżowaniach ścian uzyskanie zakładu o długości pokazanej na rys. 2 może być niemożliwe do zrealizowania, w związku z tym dopuszcza się odstępstwo od tej reguły i zastosowanie zakładu o długości nie mniejszej od wysokości elementu murowego. Ze względu na ograniczenie odkształceń zaprawy w spoinach wspornych przy użyciu zbrojenia dopuszcza się stosowanie przewiązania niespełniającego wymagań normowych. Odstępstwo takie powinno być zweryfikowane badaniami.

W normie PN-07 przyjęto jedynie wymagania dotyczące przewiązania elementów murowych, podane na rys. 2. Nie dopuszczono, co jest wyraźnym niedopatrzaniem, możliwości odstępstwa od tych zasad w sytuacji stosowania w murach zbrojenia do spoin wspornych. W efekcie uniemożliwiono wykonywanie ścian nośnych (w tym i samonośnych ścian osłonowych) z ortogonalnym układem spoin nieprzewiązanych.



$$\text{gdy } h_u \leq 250 \text{ mm} \rightarrow u \geq \max \begin{cases} 0,4h_u \\ 40 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{gdy } h_u > 250 \text{ mm} \rightarrow u \geq \max \begin{cases} 0,2h_u \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

Rys. 2. Zakład prefabrykowanych elementów murowych.

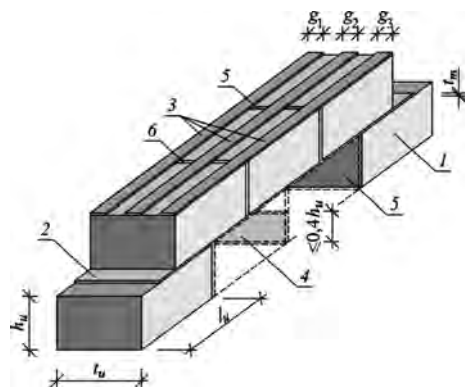
5. Spoiny w murze

Grubość spoin, a w szczególności spoin wspornych, niweluje wpływy odchytek wymiarowych i ułożenia elementów murowych oraz zjawisko odsysania wody ze świeżej zaprawy. Generalnie zmniejszenie grubości spoin prowadzi do wzrostu wytrzymałości muru na ściskanie i ścinanie, jednak zbyt mała grubość spoin wspornych wywołuje koncentracje naprężeń w murze,

zmniejszając wytrzymałość muru. Również utrata wody ze świeżej zaprawy absorbowanej przez elementy murowe powoduje obniżenie wytrzymałości zaprawy w spoinach muru. Zjawiska te zostały częściowo rozpoznane w sposób ilościowy, jednak udział wymienionych czynników jest zróżnicowany.

Obecnie w procesie produkcji elementów murowych stosuje się technologie minimalizujące problem imperfekcji geometrycznych przez zastosowanie odpowiednich procesów produkcji (szlifowanie, cięcie) oraz stosowanie technologii materiałowych ograniczających absorpcję wody ze spoin. W zależności od zorientowania położenia w murze rozróżnia się spoiny wsporne, które najczęściej są poziome, ale EC-6 dopuszcza także spoiny wsporne pochylone, spoiny czołowe oraz spoiny podłużne. Grubość spoin wspornych lub raczej proporcje grubości elementu murowego i grubości spoin wspornych w dość znaczący sposób wpływa na parametry mechaniczne muru, a w konsekwencji na bezpieczeństwo projektowanych i wykonywanych konstrukcji murowych. Zwiększenie lub zaniżenie grubości spoin znacznie zmniejsza wytrzymałość muru na ściskanie. Należy więc mieć na uwadze, że wszelkie znaczące odstępstwa, na etapie wykonawstwa, od zalecanych grubości spoin prowadzą do obniżenia parametrów mechanicznych muru.

W odniesieniu do spoin wspornych i spoin pionowych wykonanych przy użyciu zapraw zwykłych oraz zapraw lekkich EC-6 zaleca, aby ich grubość była nie mniejsza niż 6 mm i nie większa niż 15 mm. Natomiast grubość spoin wspornych i pionowych wykonanych z zaprawy do cienkich spoin powinna być mniejsza niż 0,5 mm i nie większa niż 3 mm. Mury z zastosowaniem zapraw zwykłych można wykonywać ze spoinami o grubości od 3 mm do 6 mm, jeżeli receptura zapraw została specjalnie opracowana do takich zastosowań. Dodatkowo przyjęto, że gdy elementy murowe są tego typu, że zaprawa znajduje się w pustych przestrzeniach



Rys. 3. Rodzaje spoin w murze wg EC-6 [1]

1 – element murowy, 2 – pełna spoina wsporna zwykła lub cienka, 3 – pasmowa spoina wsporna o całkowitej szerokości $g = g_1 + g_2 + g_3$, 4 – częściowo wypełniona spoina pionowa, 5 – wypełniona spoina pionowa, 6 – pusta spoina pionowa.

między nimi, spoiny pionowe można uważać za wypełnione, jeśli zaprawa jest na całej wysokości spoiny na szerokości powyżej 40% szerokości elementu murowego. W murach zbrojonych poddanych zginaniu i ściananiu (w wypełniających ścianach usztywniających) powinny być całkowicie wypełnione zaprawą. W rozdziale poświęconym wymaganiom konstrukcyjnym nie podano stosownych zaleceń dotyczących spoin pasmowych, które należy uwzględnić w modelach analitycznych. Z zapisów tam zawartych wynika, że szerokość każdego paska spoiny g_i nie powinna być mniejsza niż 30 mm, a stosunek sumy szerokości spoin i grubości muru nie jest mniejszy niż $g/t \leq 0,4$ (rys. 3).

W poprzednich edycjach polskich norm w PN-07 [4] i PN-99 [23] podano, że grubość spoin poziomych (wspornych) i pionowych wykonywanych z użyciem zapraw zwykłych i lekkich była nie mniejsza niż 8 mm i nie większa niż 15 mm. Pozostałe zalecenia przyjęto identyczne z zawartymi w EC-6 [1]. Wcześniejsze normy krajowe PN-87 [24] nie precyzowały zakresu grubości spoin w murze.

6. Wymagania dotyczące zbrojenia

Jako podstawowe założenie EC-6 przyjmuje, że zbrojenie powinno być tak sytuowane i skonstruowane, aby występowała pełna współpraca z murem w przenoszeniu sił wewnętrznych. Identycznie jak w przypadku konstrukcji żelbetowych zbrojenie powinno być zlokalizowane wszędzie tam, gdzie jawnie lub potencjalnie wystąpić mogą naprężenia rozciągające lub gdy należy ograniczyć odkształcenia poprzeczne muru.

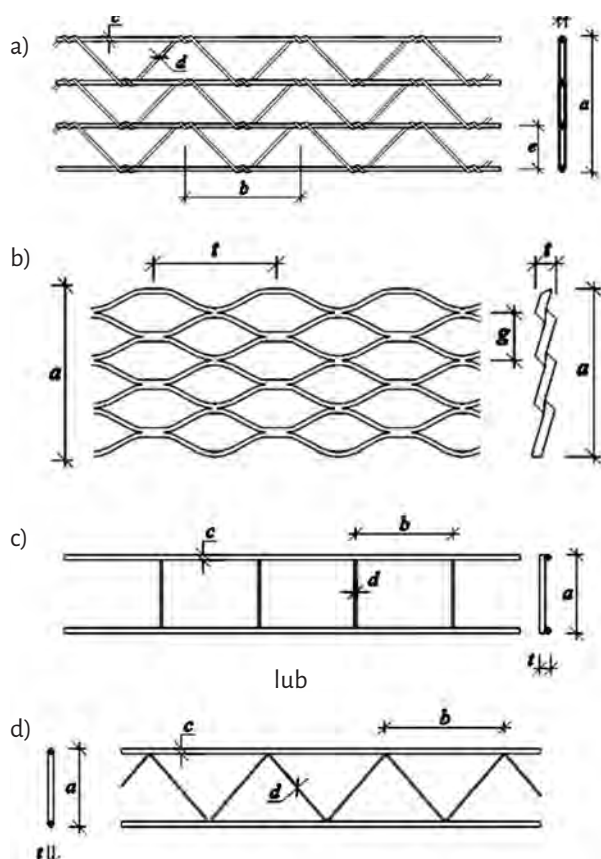
Zgodnie z ogólnymi zasadami dotyczącymi trwałości konstrukcji murowych podanymi w Rozdziale 4 PN-EN 1996-1-1 [1] oraz w PN-EN 1996-2 [5], stal zbrojeniową do wykonywania zbrojonych konstrukcji murowych należy dobrać z uwagi na trwałość konstrukcji, w zależności od klasy środowiska, w jakim konstrukcja się znajduje, materiału, w którym układane jest zbrojenie (zaprawa, beton) oraz minimalnej grubości otuliny. Jeżeli stosuje się cynkowanie stali w celu zapewnienia ochrony przed korozją, zaleca się, aby ocynkowanie następowało po nadaniu prętom ich wymaganego kształtu. Końce wszystkich prętów zbrojeniowych, z wyjątkiem prętów z austenitycznej stali nierdzewnej, powinny mieć otulenie jak pręty z niezabezpieczonej stali węglowej.

Ustanowiona w 2003 r. norma europejska, a następnie wprowadzona w Polsce w 2005 r. norma PN-EN 845-3 [6] podaje wymagania dotyczące zbrojenia do spoin wspornych w konstrukcjach murowych. Zgodnie

z jej postanowieniami, zaleca się stosować do spoin wspornych prefabrykowane zbrojenie w postaci (rys. 4):

- kratowniczek,
- drabinek,
- siatek plecionych,
- siatek cięto-ciągnionych.

Dodatkowo EC-6 zaleca, aby zbrojenie do spoin wspornych spełniało zalecenia w zakresie ochrony antykorozyjnej zawarte w [5].



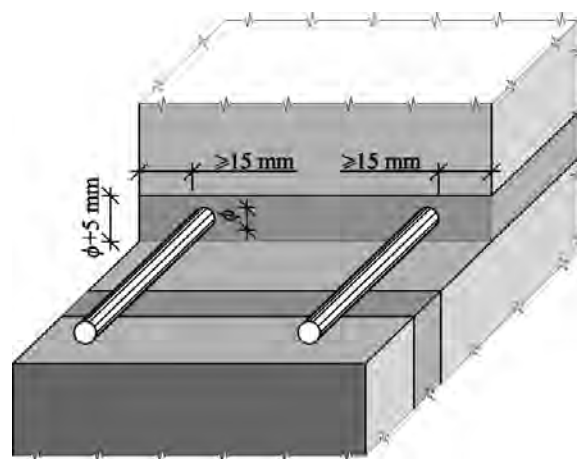
Rys. 4. Prefabrykowane zbrojenie do spoin wspornych zgodnie z PN-EN 845-3 [6]: a) typu kratowniczka, b) typu drabinka, c) siatka pleciona, d) siatka cięto-ciągniona.

Przedstawione zbrojenie strukturalne w zasadzie wyklucza w praktycznych zastosowaniach niepowiązane ze sobą pręty oraz płaskowniki stalowe w postaci bednarek. Do murów wykonanych na cienie spoiny pręty zbrojenia strukturalnego powinny być wykonane z płaskowników lub drutów o maksymalnej grubości lub średnicy nieprzekraczającej 1,5 mm. Obecnie w kraju stosowane jest powszechnie zbrojenie typu kratowniczka [7], odpowiednio zabezpieczone antykorozyjnie i przeznaczone do murów na zwykłe i cienie spoiny.

W starszych przepisach krajowych zawartych w PN-87 [23] zalecono, że do zbrojenia poprzecznego konstrukcji stosować można siatki wiązane lub zgrzewane o oczkach od 30 do 100 mm, pręty wygięte w kształcie wężyka z walcówki okrągłej lub gładkiej.

Istotą zbrojonych konstrukcji murowych, analogicznie jak konstrukcji żelbetowych, jest prawidłowe usytuowanie zbrojenia w zaprawie lub betonie i ochrona przed wpływami środowiskowymi. Jako zasadę w EC-6 [1] przyjmuje się, że stal zbrojeniowa powinna być dostatecznie trwała jako stal antykorozyjna lub odpowiednio zabezpieczona i spełniać swoje zadania w lokalnych warunkach środowiskowych oraz w przewidywanym w czasie użytkowania budynku. W celu spełniania powyższych wymagań EC-6 [1] zaleca, aby:

- minimalna grubość otuliny zaprawą, liczona od lica muru, wynosiła 15 mm (rys. 5),
- grubość otuliny zaprawą zwykłą i lekką nad i pod prętem zbrojeniowym w spoinach wspornych powinna być tak ustalona, aby całkowita grubość spoiny była co najmniej 5 mm większa niż średnica pręta zbrojeniowego, ale nie większa niż grubość maksymalna.



Rys. 5. Zasady przyjmowania otuliny zbrojenia w spoinach wspornych według PN-EN 1996-1-1 [1].

Doboru sposobu zabezpieczenia stali zbrojeniowej, w zależności od przewidywanych warunków środowiskowych, dokonuje się według szczegółowych zaleceń podanych w rozdziale 4 normy [1], dotyczącym zapewnienia trwałości w zależności od tego, czy stal stosowana jest w zaprawie, czy w betonie wypełniającym. Zaostrzone kryteria co do grubości otuliny w zaprawie stosuje się w przypadku niezabezpieczonej antykorozyjnie stali węglowej. W zasadzie w klasach ekspozycji MX2, MX3 i MX4 w murach otynkowanych od strony zewnętrznej grubość otuliny pokazanej na rys. 5 powinna być zwiększona do 30 mm, przy stosowaniu zaprawy klasy co najmniej M4. Również obcięte końce prętów występujące w strefach zakotwienia lub zakładu wykonanych z niechronionej stali węglowej powinny być otulone zaprawą grubości co najmniej 30

Tablica 1. Zalecane wartości minimalnej otuliny betonowej c_{nom} dla stali węglowej.

Klasa ekspozycji	Zawartość cementu ^a kg/m ³				
	275	300	325	350	400
	Stosunek wodno-cementowy nie większy niż				
	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Minimalna grubość otuliny betonem [mm]				
MX1 ^b	20	20	20 ^c	20 ^c	20 ^c
MX2	–	35	30	25	20
MX3	–	–	40	30	25
MX4 i MX5	–	–	–	60 ^d	50

^a Wszystkie mieszanki bazują na kruszywie o maksymalnej, nominalnej średnicy 20 mm. Gdy są stosowane kruszywa o innym uziarnieniu, zawartość cementu powinna być odpowiednio zwiększona o +20% w przypadku uziarnienia 14 mm i +40% dla uziarnienia 10 mm.

^b W przypadku klasy środowiska MX1, gdy otulina zbrojenia jest nie mniejsza niż 15 mm, można alternatywnie zastosować zaprawę 1 : 0,1/4 : 3 : 2 (cement : wapno : piasek : kruszywo o uziarnieniu 10 mm).

^c Wartości otuliny mogą być zredukowane do minimum 15 mm w sytuacji, gdy maksymalne uziarnienie kruszywa nie przekracza 10 mm.

^d Gdy zawilgocony beton wypełniający może być poddany działaniu mrozu, należy zastosować beton mrozoodporny.

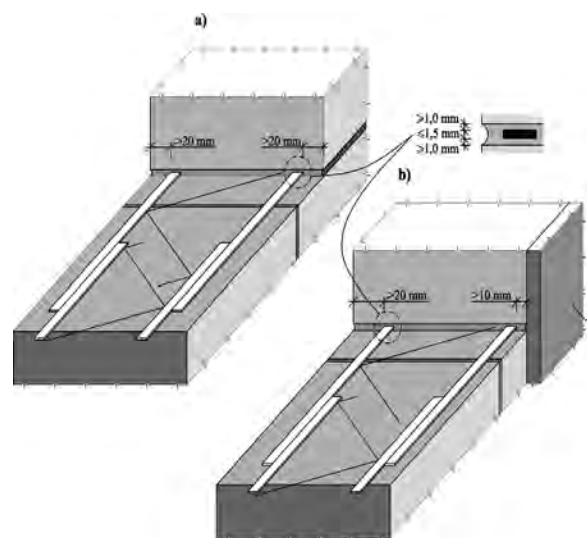
mm. Jeżeli zastosowano specjalne środki zabezpieczające, takie jak np. powłoki ochronne z tworzywa sztucznego lub warstwy cynku, czy też stosowana jest stal nierdzewna, grubość otulenia można zmniejszyć do wartości minimalnej równej 15 mm. W przypadku ścian wykonanych z elementów murowych z pionowymi drążeniami przeznaczonymi do późniejszego wypełniania, a także szczególnego przewiązania muru zaleca się dodatkowo, aby grubość otuliny zaprawą lub betonem była nie mniejsza niż 20 mm lub średnicy pręta.

Nominalne grubości otulenia c_{nom} prętów zbrojeniowych wykonanych z niezabezpieczonej stali węglowej umieszczonych w betonie przedstawiono w tablicy 1.

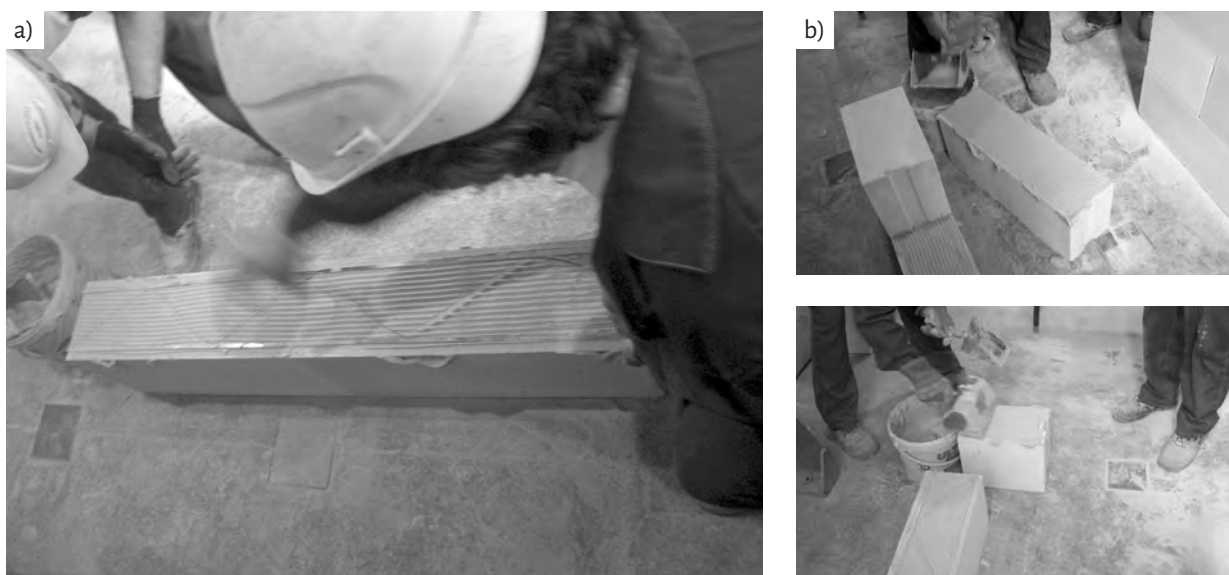
Identyczne zalecenia dotyczące minimalnej otuliny zbrojenia przyjęto w normie PN-07 [4]. Jeżeli stal zbrojeniowa w spoinach wspornych dobrana została w zależności od klasy ekspozycji oraz w zależności od tego czy zbrojenie ułożone jest w zaprawie, czy też w betonie wypełniającym, otulenie zbrojenia stali powinno spełniać wymagania identyczne jak pokazane na rys. 5.

W normie PN-89 [8] podano wymagane grubości otulin betonem w spoinach wspornych: dla prętów zbrojenia podłużnego 20 mm, a 15 mm dla prętów strzemion (o średnicy 6 mm).

W starszych przepisach krajowych PN-99 [9] i PN-07 [4] oraz w EC-6 [1] jak również w normach innych krajów nie podano zaleceń szczegółowych dotyczących zasad określania otuliny zbrojenia umieszczonego w cienkich spoinach wspornych. Przy konstruowaniu tego typu ścian posłużyć mogą zalecenia producentów zbrojenia przeznaczonego do cienkich spoin (rys. 6).

**Rys. 6.** Zasady przyjmowania otuliny zbrojenia w cienkich spoinach wg zaleceń [7] (1 – tynk wykończeniowy).

Według zaleceń producenta [7], minimalne otulenie pasów kratowniczek powinno wynosić co najmniej 20 mm. W celu zapewnienia współpracy zbrojenia z zaprawą grubość otuliny nad i pod płaskownikiem nie powinna być mniejsza niż 1,0 mm. Uzyskanie właściwego otulenia zbrojenia uzyskać można wyłącznie przy nanoszeniu zaprawy na spoiny wsporne istniejącej warstwy oraz warstwy nakładanej z góry (nakładania podwójne) – rys.7. W przypadku pojedynczego nałożenia zaprawy można nie uzyskać właściwego otulenia zbrojenia, co skutkować może wyraźnym obniżeniem nośności muru zginanego lub ścinanego.



Rys. 7. Układanie zbrojenia typu kratowniczka w spoinach wspornych: a) metoda tradycyjna – jednostronne nałożenie zaprawy, b) podwójne nanoszenie zaprawy.

Stosowanie zbrojenia w konstrukcjach murowych powinno uwzględniać dodatkowe wymagania w zakresie minimalnej jego ilości w zależności od funkcji, które pełni.

EC-6 w kwestii przyjmowania zbrojenia w spoinach wspornych podaje następujące minimalne wartości procentu zbrojenia:

- $\rho = 0,05\%$ pola przekroju efektywnego muru obliczonego jako iloczyn efektywnej szerokości i wysokości muru, jeżeli zbrojenie w murze ma na celu zwiększenie nośności,
- $\rho = 0,03\%$ całego przekroju poprzecznego ściany (tzn. $0,015\%$ w każdej płaszczyźnie licowej) w ścianach, w których zbrojenie w spoinach wspornych ma na celu zwiększenie nośności na obciążenie poziome działające prostopadle do lica ściany,
- $\rho = 0,03\%$ całego przekroju poprzecznego ściany, jeżeli zbrojenie w spoinach wspornych ma na celu ograniczenie zarysowania lub zapewnienie ciągłości ściany,
- $\rho = 0,05\%$ przekroju poprzecznego ściany, za który przyjmuje się iloczyn całej szerokości i wysokości efektywnej w zbrojonych jednokierunkowo ścianach szczelinowych z wypełnioną szczeliną; zbrojenie układane powinno być w kierunku prostopadłym do zbrojenia głównego,
- $\rho = 0,05\%$ przekroju poprzecznego ściany, za który przyjmuje się iloczyn całej szerokości i wysokości efektywnej w elementach konstrukcyjnych, w których wymagane jest zbrojenie na ścinanie.

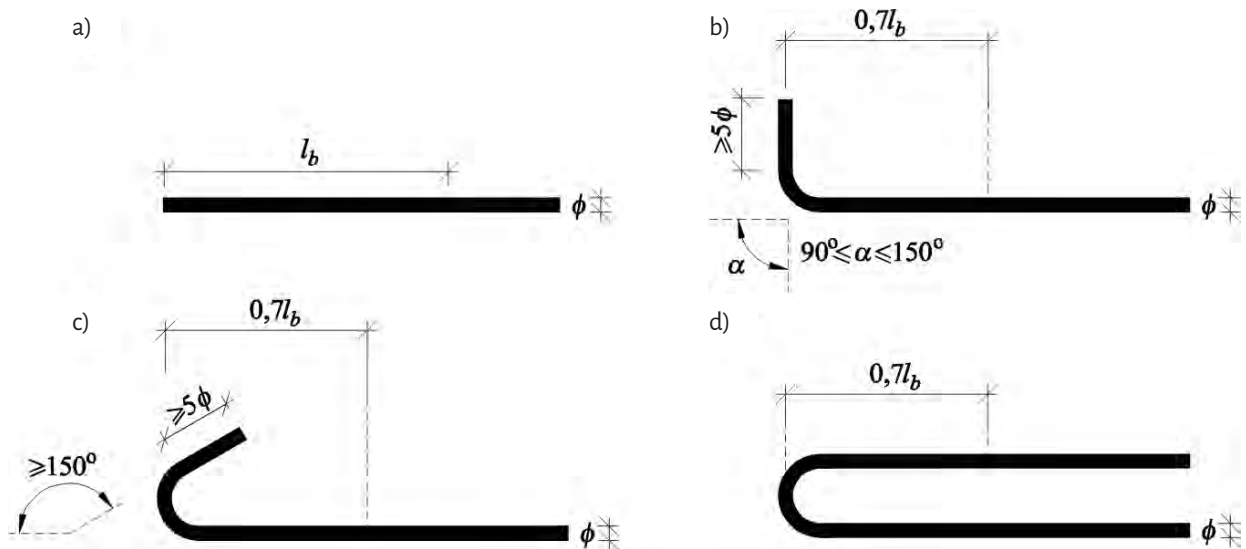
W podstawowych przypadkach obciążenia konstrukcji murowych, czyli ściskania, ścinania i zginania, minimalny przekrój zbrojenia nie powinien być mniejszy niż $0,05\%$ pola przekroju efektywnego muru.

We wcześniejszych wersjach Eurokodu 6 zawartych w prenormie ECV-6 [10] minimalny procent zbrojenia, którego zadaniem było podwyższenie nośności, nie powinien być mniejszy niż $0,10\%$, a zwiększenie rysoodporności $0,03\%$. Tak więc w ostatecznej wersji EC-6 [1] wartość ta została zredukowana o 50% .

Eurokod 8 [11] z kolei nakazuje, aby w przypadku ścian narażonych na wpływy sejsmiczne stosować zbrojenie poziome w spoinach wspornych w pionowym rozstawie, nie większym niż 600 mm , dotrzymując warunku minimalnego procentu zbrojenia, wynoszącego nie mniej niż $0,05\%$. W przypadku pionowego zbrojenia nakazuje umieszczać pręty zbrojenia w obetonowanych rdzeniach w ten sposób, aby procent zbrojenia był nie mniejszy niż $0,08\%$.

PN-07 [4] przyjęła wszystkie zalecenia dotyczące minimalnego stopnia zbrojenia zawarte w EC-6 [1], a dodatkowo podano zalecenia dotyczące budynków obciążonych dynamicznie. Zalecono w tym względzie, żeby w ścianach obiektów narażonych na oddziaływania sejsmiczne, zlokalizowanych na terenach górniczych lub obszarach intensywnego ruchu kołowego lub szynowego, w celu ograniczenia zarysowania lub zapewnienia ciągłości minimalny procent zbrojenia nie był mniejszy niż $0,07\%$ pola przekroju poprzecznego muru.

Norma PN-89 [8] dotycząca zespolonych konstrukcji murowych zalecała, aby stosować minimalny stopień zbrojenia podłużnego przy rozciąganej krawędzi muru w ilości nie mniejszej niż $0,015\%$. Podano również, że przy stosowaniu zbrojenia poprzecznego w postaci strzemion zabezpieczających rdzenie przed zdeformowaniem, ich rozstaw nie powinien być większy niż co 5 spoin wspornych.



Rys. 8. Szczegóły zakotwienia: a) zakotwienie proste, b) hak prosty, c) hak półokrągły, d) pętla.

Polska norma PN-B-03340:1999 [9] podawała minimalną ilość zbrojenia na poziomie 0,1%, jeżeli zbrojenie miało na celu zwiększenie nośności, oraz 0,03% w przypadku, kiedy chodzi o poprawienie rysoodporności. W zmianie Az1 minimalny procent zbrojenia w ścianach narażonych na wpływy parasejsmiczne ustalono na poziomie 0,07%.

EC-6 [1] zaleca, aby maksymalny wymiar stosowanego zbrojenia był tak dobierany, by zapewnione było odpowiednie jego osadzenie w zaprawie lub betonie wypełniającym, przy czym, średnica stosowanych prętów zbrojeniowych powinna być nie mniejsza niż 5 mm. Spełnione powinny być również wymagania w zakresie zakotwienia zbrojenia oraz otulenia.

W polskiej normie PN-07 [4] przyjęto w tym względzie podane wyżej ustalenia EC-6 [1]. W praktyce oznacza to, że w przypadku stosowania pojedynczych, niepowiązanych ze sobą pionowych prętów umieszczanych w bruzdach i kanałach średnica powinna być nie mniejsza niż 5 mm. Podobnie traktować należy powyższe zalecenia odnośnie do elementów łączących w ścianach szczelinowych zgodnych z PN-EN 845-1 [12] i prefabrykowanego zbrojenia w spoinach wspornych, które powinno spełniać wymagania normy PN-EN 845-3 [6].

W normie podano, że długość zakotwienia stali zbrojeniowej powinna być dostateczna do przekazywania sił rozciągających lub ściskających w niej występujących do zaprawy lub betonu wypełniającego. Jednocześnie w strefie zakotwienia nie powinny powstać rysy podłużne w zaprawie jak również rysy spowodowane rozłupywaniem muru. Prawidłowe zakotwienie zbrojenia uzyskuje się przy zastosowaniu:

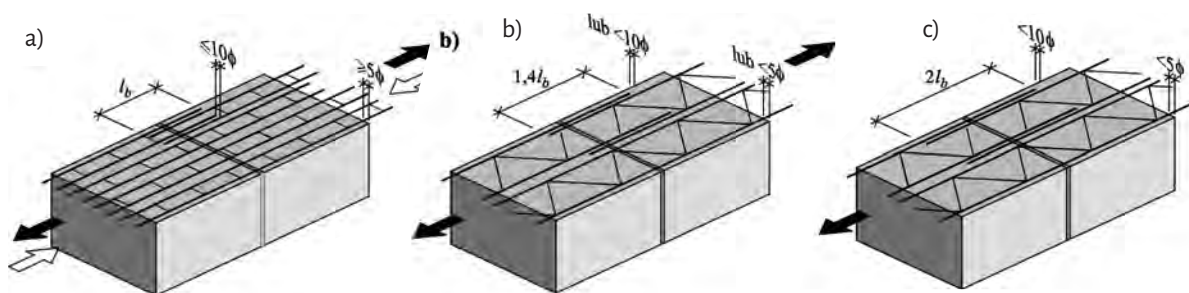
zakotwienia prostego, haków prostych, haków półokrągłych oraz pętli (rys. 8). Alternatywnie dopuszcza się także stosowanie innych typów zakotwień, np. zakotwień mechanicznych, pod warunkiem odpowiedniego sprawdzenia eksperymentalnego.

Zakotwienie proste (rys. 8a) oraz hak prosty (rys. 8b) nie powinny być stosowane do prętów gładkich o średnicy większej niż 8 mm. Do zakotwienia prętów ściskanych stosować można wyłącznie zakotwienie proste (rys. 8a), pozostałe zakotwienia w postaci haków oraz pętli nie powinny być stosowane.

Ponadto, długość zakładu prętów zbrojenia powinna być równa uzyskanej z obliczeń i nie mniejsza niż:

- l_b w przypadku prętów ściskanych i rozciąganych, jeżeli mniej niż 30% prętów w przekroju łączonych jest na zakład i jeżeli odległość w świetle łączonych prętów jest nie większa niż 10 średnic pręta, a grubość otulenia pręta betonem lub zaprawą jest nie mniejsza niż 5 średnic pręta (rys. 9a),
- $1,4 l_b$ w przypadku prętów rozciąganych, jeżeli 30% lub więcej prętów w przekroju łączonych jest na zakład lub jeżeli odległość w świetle między łączonymi prętami jest mniejsza niż 10 średnic pręta, lub grubość otulenia pręta betonem, lub zaprawą jest mniejsza niż 5 średnic pręta (rys. 9b),
- $2 l_b$ w przypadku prętów rozciąganych, jeżeli jednocześnie 30% lub więcej prętów w przekroju łączonych jest na zakład, a odległość w świetle między łączonymi prętami jest mniejsza niż 10 średnic pręta lub grubość otulenia pręta betonem lub zaprawą jest mniejsza niż 5 średnic zbrojenia (rys. 9c).

Połączeń na zakład nie należy wykonywać w strefach dużych naprężeń, a także w miejscach zmiany



Rys. 9. Długości zakładów zbrojenia wg PN-EN 1996-1-1 [1].

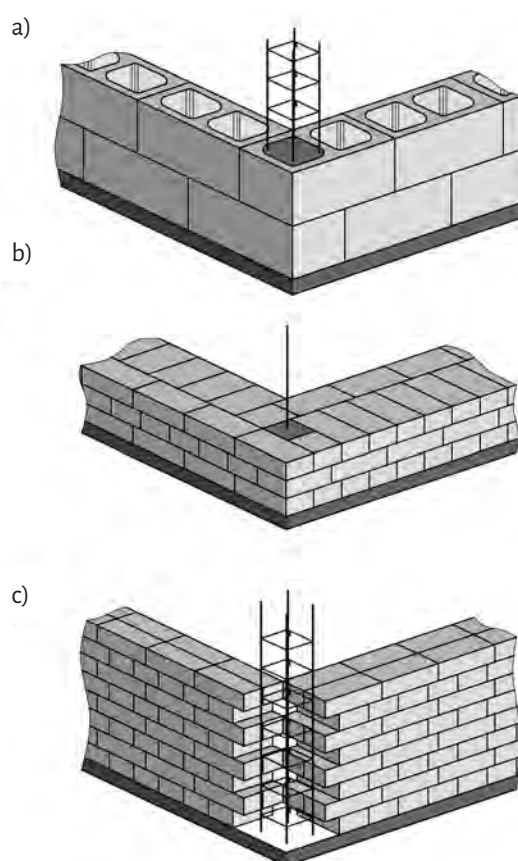
wymiarów przekroju, np. w miejscu uskoku grubości ściany. Odległość w świetle prętów łączonych na zakład powinna być nie mniejsza niż dwie średnice pręta lub 20 mm; miarodajna jest wartość większa.

Jeżeli stosuje się łączenie zbrojenia prefabrykowanego w spoinach wspornych, to zaleca się, aby długość zakładu wyznaczać w zależności od wartości przyczepności charakterystycznej prętów zbrojenia, określonej z badań zgodnie z PN-EN 846-2 [13].

7. Mury skrzepowane, informacje ogólne

Eurokod 6 za skrzepowany uważa mur, którego odkształcenia zostały w pionie i w poziomie ograniczone przez przylegającą do niego konstrukcję żelbetową lub mur zbrojony. Mur skrzepowany jest więc szczególnym typem ściany wypełniającej, której konstrukcja umożliwia przejście obciążeń pionowych, poziomych i ścinających. Definicja muru skrzepowanego i przepisy dotyczące tej konstrukcji pojawiły się w krajowych zaleceniach normowych dopiero z chwilą wprowadzenia Eurokodu. Nie oznacza to, że murów skrzepowanych w Polsce nie wykonywano. Przed wprowadzeniem EC-6 w kraju projektowano i wykonywano mury skrzepowane w oparciu o wytyczne ITB, publikacje oraz lokalne tradycje. Pomimo powszechnego stosowania w Polsce murów skrzepowanych, instrukcja ITB [14] jest jednym z nielicznych dokumentów określających zasady ich projektowania.

W przypadku wznoszenia w pierwszej kolejności konstrukcji żelbetowej lub stalowej, a następnie murowania ścian w przestrzeni między słupami konstrukcji trudno jest zapewnić pełny kontakt między słupami i belkami (konstrukcją) a ścianą wypełniającą. Wówczas nie jest spełniony warunek ograniczenia odkształceń wynikający z definicji przyjętej przez EC-6 [1] i takiej ściany nie można traktować jak muru skrzepowanego, ale jako ścianę wypełniającą. Technologia prawidłowego wykonania murów skrzepowanych wymaga w pierwszej kolejności wymurowania ścian, a następnie wykonania konstrukcji żelbetowej powiązanej z murem.



Rys. 10. Pionowe elementy krępujące wg instrukcji ITB nr 391/2003 [14].

W Polsce od wielu lat wykonuje się mury skrzepowane, szczególnie na obszarach, gdzie występują wpływy od eksploatacji górniczej. Jako czynnika krępującego nie stosuje się pasm muru zbrojonego, a ograniczanie odkształceń ścian uzyskuje się poprzez wykonanie żelbetowych rdzeni i wieńców. Poziome wieńce żelbetowe, zapewniające sztywność przestrzenną obiektu i stanowiące podparcie dla stropów, wykonuje się powszechnie, zresztą zgodnie z normami PN-99 [9] i PN-07 [4]. Za mur skrzepowany uważa się jednak ścianę ograniczoną zarówno w poziomie, jak i w pionie. Instrukcja ITB nr 391/2003 [14] rozróżnia trzy sposoby kształtowania pionowych elementów krępujących: usytuowanie zbrojenia w drążeniach



Rys. 11. Przykłady murów skrzepowanych.

elementów murowych (rys. 10a), wykształcenie w murze możliwości przeprowadzenia pojedynczego pręta (rys. 10b) lub wykonanie w ścianie żelbetowego słupka (rdzenia) – rys. 10c. W Polsce stosowane były i są nadal wszystkie trzy metody. Jednak najczęściej stosuje się żelbetowe rdzenie. Takie rozwiązania dopuszczała również wycofana norma PN-89 [8] dotycząca konstrukcji zespolonych. Wszystkie te metody stanowią ograniczenie odkształceń i wpisują się w eurokodowską definicję muru skrzepowanego.

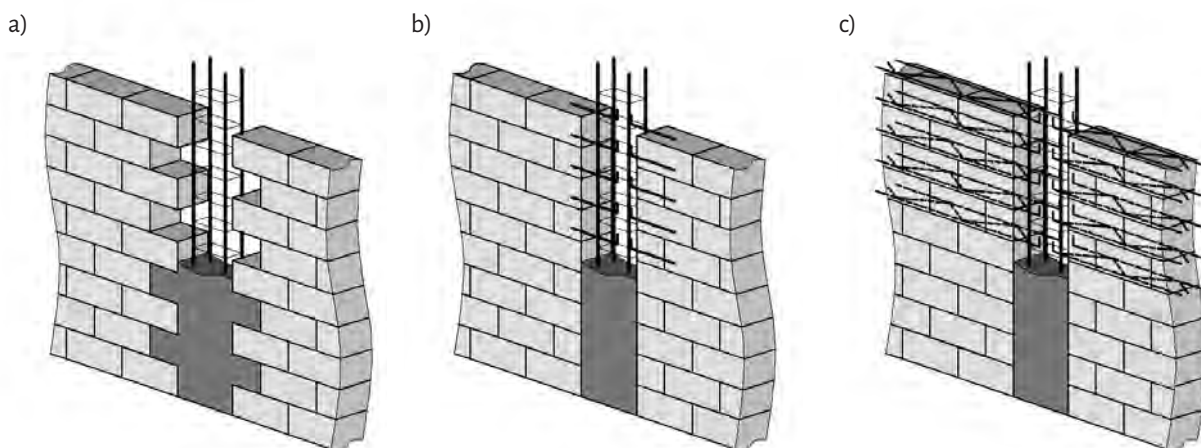
Zgodnie z instrukcją ITB nr 391/2003 [14], stosowanie pionowych elementów krępujących (zwanymi w instrukcji pionowymi wieńcami) jest konieczne, gdy budynek podlega wpływowi wstrząsów wywołanych eksploatacją górniczą. Pionowe elementy krępujące należy stosować, gdy wstrząsy o intensywnościach charakteryzowanych przez przyspieszenia podłoża są większe od 500 mm/s^2 . Konieczność stosowania pionowych elementów krępujących w murach narażonych na działanie wstrząsów o znacznej intensywności potwierdza również literatura [15, 16]. W praktyce pionowe żelbetowe rdzenie projektuje się i wykonuje często przy mniejszych wartościach przyspieszania podłoża oraz w obiektach narażonych na ciągłe i nieciągłe deformacje terenu.

Przekrój poprzeczny żelbetowego rdzenia wynika z grubości ściany, dlatego zazwyczaj stosuje się rdzenie o przekroju od $18 \times 18 \text{ cm}$ do $40 \times 40 \text{ cm}$. W przypadku większych grubości ścian rdzenie bywają od strony zewnętrznej docieplane styropianem, w taki sposób, aby suma grubości docieplenia i rdzenia była równa

grubości ściany. W celu zapewnienia odpowiedniej współpracy między rdzeniem a murem w murowanej ścianie często pozostawia się strzępia, które są wypełniane betonem podczas betonowania rdzeni (rys. 11). W przypadku murowania ściany bez strzępi połączenie można zapewnić przez wpuszczenie zbrojenia ze spoin wspornych ściany w żelbetowy rdzeń.

Pionowe rdzenie żelbetowe w budynkach narażonych na wstrząsy od eksploatacji górniczej powinny przenosić w ścianach usztywniających siły rozciągające powstające pod działaniem momentów zginających w płaszczyźnie ścian oraz współpracować przy przenoszeniu sił poprzecznych wzbudzanych przez drgania podłoża. Zgodnie z instrukcją [14], odległości między rdzeniami powinny wynikać z analizy obliczeniowej ściany obciążonej głównie poziomo (zginanej z płaszczyzny). Rdzenie powinny być sytuowane w połączeniach ścian nośnych z usztywniającymi, a więc w narożnikach ścian oraz w miejscach połączeń nośnych ścian zewnętrznych ze ścianami wewnętrznymi. Zbrojenie wieńców i rdzeni przyjmuje się najczęściej z warunku na minimalny procent zbrojenia według normy żelbetowej. Instrukcja ITB nr 391/2003 zaleca, aby minimalny przekrój zbrojenia pionowego rdzenia wynosił $A_{sv,min} = 0,0004 \text{ m}^2$.

PN-EN 1996-1-1 [1] zaleca, aby murowane ściany skrzepowane miały pionowe i poziome elementy krępujące wykonane z żelbetu lub z muru zbrojonego w sposób zapewniający pełną współpracę w przenoszeniu oddziaływań. Aby zapewnić taką współpracę, górne i boczne elementy krępujące powinny być



Rys. 12. Sposoby połączenia żelbetu i muru: a) przez strzępia, b) przez zbrojenie, c) przez zbrojenie spoin wspornych.

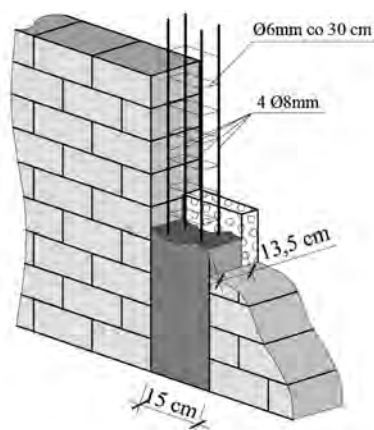
wykonywane po wybudowaniu muru w sposób zapewniający ich połączenie ze ścianą. Uzyskuje się to przez pozostawienie w murze strzępi (rys. 12a), które są wypełniane betonem, lub przez zastosowanie w spoinach wspornych ścian zbrojenia wpuszczanego w monolityczne rdzenie (rys. 12b). Eurokod zaleca stosowanie strzępi w murach wykonanych z elementów murowych grupy 1 i grupy 2. Jako zbrojenie łączące mur z rdzeniem przyjąć można pręty o średnicy nie mniejszej niż 6 mm, w rozstawie nie większym niż 300 mm. Gdy w ścianach projektuje się zastosowanie zbrojenia spoin wspornych (np. z uwagi na zginanie), zakotwienie może być zrealizowane przez przedłużenie tego zbrojenia do wnętrza rdzenia (rys. 12c) na długość zakotwienia.

Zgodnie z EC-6 [1], elementy krępujące powinny być wykonane na poziomie każdej kondygnacji. Pionowe elementy krępujące (rdzenie) należy sytuować w połączeniach ścian nośnych oraz na obydwu bokach każdego otworu o powierzchni większej niż $1,5 \text{ m}^2$. Poziome elementy krępujące (wieńce) wykonuje się w poziomach stropów. Dodatkowe elementy krępujące mogą być potrzebne w ścianach, w których maksymalna rozpiętość zarówno w pionie, jak i w poziomie wynosi 4,0 m. Zalecenia EC-6 [1] dotyczące sytuowania elementów krępujących przy otworach o powierzchni większej niż $1,5 \text{ m}^2$ oraz co 4,0 m w poziomie i w pionie są bardzo rygorystyczne. Chcąc spełnić te wymagania, trzeba w ścianach wykonywać znacznie więcej rdzeni w porównaniu do liczby wynikającej z dotychczasowych zaleceń. Na szczęście, zalecenie dotyczące rozstawu wieńców i rdzeni co 4,0 m nie jest obligatoryjne [1], pozostawiając projektantowi pewną swobodę w tym zakresie. Należy podkreślić, że norma [1] nie dotyczy projektowania na wpływy sejsmiczne, którym zajmuje się PN-EN 1998-1 [11]. Wpływ skrępowania muru na zachowanie się ścian obciążonych statycznie lub quasi-statycznie nie jest dobrze

rozeznany i badań oraz analiz takich konstrukcji jest znacznie mniej niż murów skrępowanych poddanych wpływom sejsmicznym. Co ciekawe, według normy [11] maksymalny rozstaw elementów krępujących na terenach sejsmicznych wynosi 5,0 m, czyli więcej, niż podano w [1]. Zapis o możliwej potrzebie stosowania elementów krępujących w rozstawie 4,0 m, wobec braku dostatecznej liczby badań, przyjęto bowiem w PN-EN 1996-1-1 [1] bezpiecznie na podstawie ogólnych zaleceń zamieszczonych w literaturze i w wielu innych normach. Trzeba podkreślić, że maksymalny rozstaw elementów krępujących co 4,0 m jest jednym z najmniejszych, jakie przyjmują normy do projektowania na terenach sejsmicznych, a wiele z nich (łącznie z EC-8) pozwala przyjmować ten rozstaw jako 5,0 m i więcej.

O ile w przypadku rozstawu rdzeni co 4,0 m Eurokod 6 [1] używa określenia, że „mogą być potrzebne”, tak w przypadku otworów o powierzchni większej niż $1,5 \text{ m}^2$ norma podaje, że rdzenie przy takich otworach „powinno się stosować”. Z tego zapisu wynika, że rdzenie należy stosować przy prawie każdym otworze okiennym i każdym otworze drzwiowym. Zdaniem Tomazevica, $1,5 \text{ m}^2$ jest wielkością za małą i w pracy [17] proponuje on zwiększenie maksymalnego pola otworu, przy którym nie trzeba wykonywać elementów krępujących do $2,5 \text{ m}^2$.

Według PN-EN 1996-1-1 [1], elementy krępujące powinny mieć przekrój poprzeczny nie mniejszy niż $0,02 \text{ m}^2$, z najmniejszym wymiarem nie mniejszym niż 150 mm w płaszczyźnie ściany oraz mieć zbrojenie podłużne o minimalnym przekroju równym 0,8% przekroju poprzecznego elementu krępującego, ale nie mniej niż 200 mm^2 . Należy stosować strzemiona o średnicy nie mniejszej niż 6 mm, w rozstawie nie większym niż 300 mm. Przykład rozwiązania najmniejszego dopuszczalnego przez EC-6 [1] rdzenia pokazano na rys. 13.



Rys. 13. Minimalny przekrój i minimalne zbrojenie elementu krępującego wg EC-6 [1].

W murowych ścianach skrępowanych, gdzie zastosowano elementy murowe grupy 1 i grupy 2, elementy przylegające do elementów krępujących powinny zachodzić na siebie zgodnie z zasadami przewiązania muru przedstawionymi w EC-6. Alternatywnie, można przyjąć zbrojenie o średnicy nie mniejszej niż 6 mm lub odpowiadającej, w rozstawie nie większym niż 300 mm, zakotwione w betonie wypełniającym i spoinach wypełnionych zaprawą.

Zbrojenie pionowych rdzeni i poziomych rygli oraz wieńców należy projektować zgodnie z zaleceniami Eurokodu żelbetowego. Niezmiernie istotne jest przyjmowanie odpowiednich sposobów zakotwień prętów, szczególnie w rejonie naroży wieńców i rygli oraz połączenia elementów poziomych z rdzeniami.

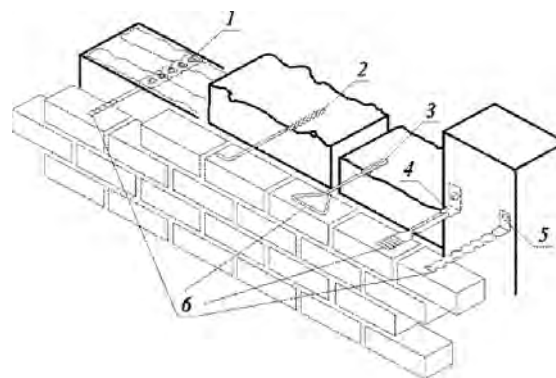
8. Wymagania dotyczące łączników

EC-6 wymaga, żeby ściany wzajemnie prostopadłe lub ukośne łączyć ze sobą w sposób zapewniający przekazanie z jednej ściany na drugą obciążeń pionowych i poziomych. W przypadku ścian wypełniających odpowiednie połączenie ścian wypełniających ze szkieletem [3] determinuje przyjęcie odpowiedniego schematu statycznego, a w konsekwencji sprawdzenie warunków stanu granicznego.

Połączenie takie uzyskać można także przez wiązanie elementów murowych w murze. Może to być zrealizowane przez:

- przewiązanie muru,
- łączniki lub zbrojenie przedłużone w każdą ze ścian.

W przypadku ścian wypełniających [3] dopuszcza się również połączenie ścian przez tynk lub przez odpowiednio wykształtowaną bruzdę w przylegającej ścianie. Zaleca się także, aby krzyżujące się ściany nośne były wznieszone równocześnie, co zapewni właściwe przewiązanie elementów murowych w płaszczyźnie ich styku.



Rys. 14. Niesymetryczne kotwy ścienne (6): 1 – mocowane w zaprawie (bliższy koniec) – w cienkiej spoinie (dalszy koniec), 2 – łącznik wkręcany, 3 – kotew mocowana na żywicę, 4 – przykręcenie do ramy drewnianej, 5 – przybite do ramy drewnianej.

Identyczne zalecenia znajdują się we wcześniejszych polskich normach PN-99 [9] i PN-07 [4] oraz w ECV-6 [10], nie sprecyzowano jednak zaleceń szczegółowych. Niemniej jednak modele obliczeniowe ścian obciążonych głównie pionowo oraz ścian usztywniających jednoznacznie potwierdzają, że najlepszym rozwiązaniem zapewniającym współpracę krzyżujących się ścian jest stosowanie tradycyjnych węzłów murarskich.

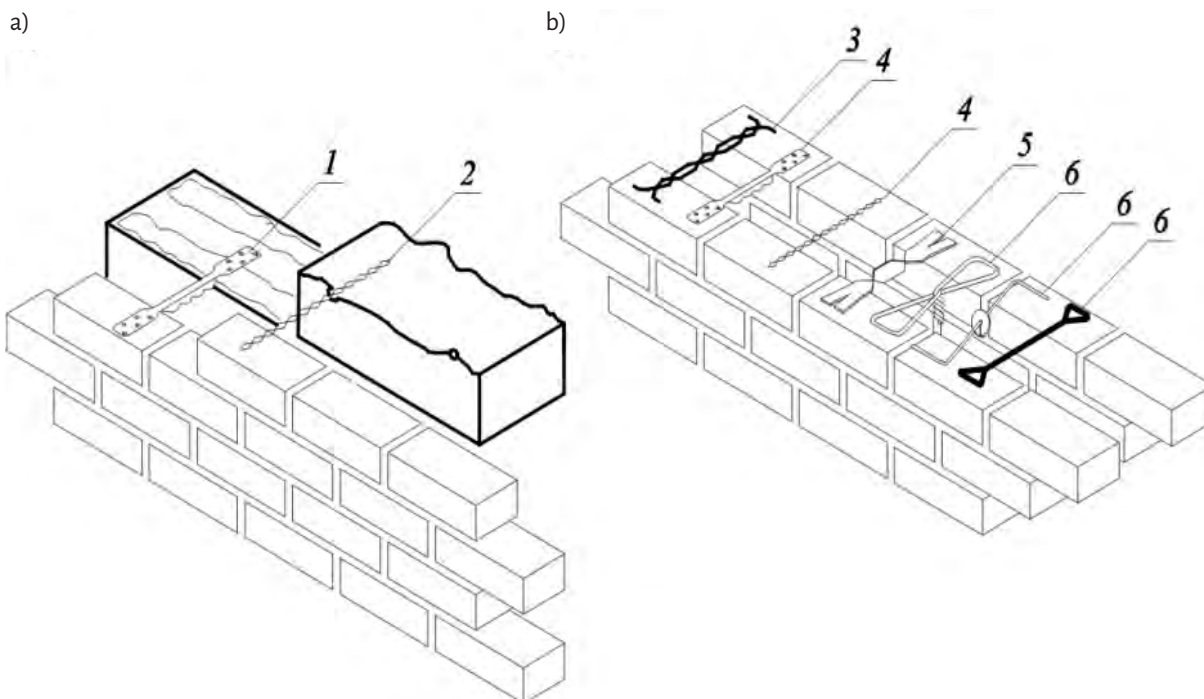
Do połączenia warstw ścian szczelinowych, łączenia warstwy zewnętrznej z ustrojem szkieletowym oraz łączenia ścian wypełniających z ustrojem szkieletowym należy stosować kotwy, których zadaniem jest połączenie przez szczelinę obydwu warstw muru w celu zmniejszenia przemieszczeń warstwy zewnętrznej, przeniesienia sił rozciągających i ograniczenia występujących momentów zginających w płaszczyźnie. Stosować należy kotwy zgodne ze specyfikacją zawartą w zharmonizowanej z EC-6 normie PN-EN 854-1 [18].

Norma [18] dzieli kotwy na:

- kotwy niesymetryczne o zróżnicowanym kształcie obydwu końców i części środkowej ukształtowanej symetrycznie lub niesymetrycznie (rys. 14),
- kotwy symetryczne o identycznym kształcie każdego końca (rys. 15a,b).

Dopuszcza się również traktowanie jako kotwy części prefabrykowanego zbrojenia strukturalnego umieszczanego w spoinach wspornych płata zewnętrznego i wewnętrznego ściany.

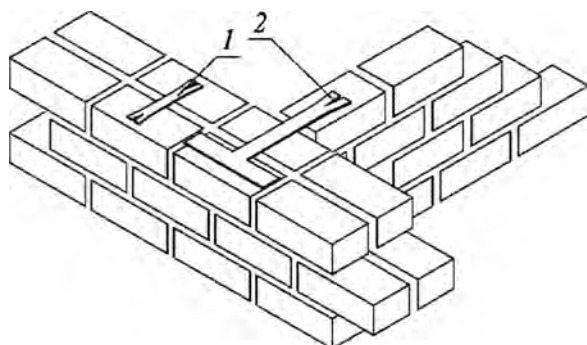
Badania nośności kotew przeprowadza się metodami podanymi w PN-EN 846-5 [19] lub PN-EN 846-6 [20] i PN-EN 846-7 [21], zgodnie z przeznaczeniem. Nośność na rozciąganie nie powinna być mniejsza niż 600 N, a nośność na ściskanie nie mniejsza niż 350 N. W obydwu przypadkach żaden pojedynczy element próbny nie może charakteryzować się nośnością mniejszą niż 70% wartości określonej przez producenta. W przypadku kotew niesymetrycznych, gdy obydwa końce bada się oddzielnie, nośność na rozciąganie i ściskanie



Rys. 15. Symetryczne kotwy ścienne mocowane niesymetrycznie: a) kotwy do montażu w cienkich spoinach, b) asortyment stosowanych kotew (1 – podatna na deformacje kotwa osadzona w zaprawie spoiny (bliższy koniec) – w cienkiej spoinie (dalszy koniec), 2 – spiralna kotwa osadzona w zaprawie spoiny (bliższy koniec) – wkręcona w bloczek (dalszy koniec), 3 – typy prętowe, 4 – typ płaskownikowy, 5 – typ skręcany (spiralny), 6 – typy cienkościenne).

określana jest w odniesieniu do słabszego końca. Nośność na rozciąganie i ściskanie żadnego z dwóch dodatkowych badań dla szczeliny o szerokości większej niż 15 mm nie powinna być mniejsza niż 50% wartości określonej przez producenta. Przesunięcie jakiegokolwiek kotwy pod obciążeniem równym $\frac{1}{4}$ nośności na rozciąganie i ściskanie określonej przez producenta nie powinno przekraczać 1 mm. W dwóch dodatkowych badaniach dla szczeliny o szerokości większej niż 15 mm przesunięcia żadnej z kotew pod działaniem obciążenia równego $\frac{1}{4}$ wartości nośności określonej przez producenta nie powinny przekroczyć 1 mm.

Nośność kotew pracujących na ścinanie (rys. 16) określana jest wg PN-EN 846-7 [21] i powinna być równa lub większa niż wartość określona przez producenta dla



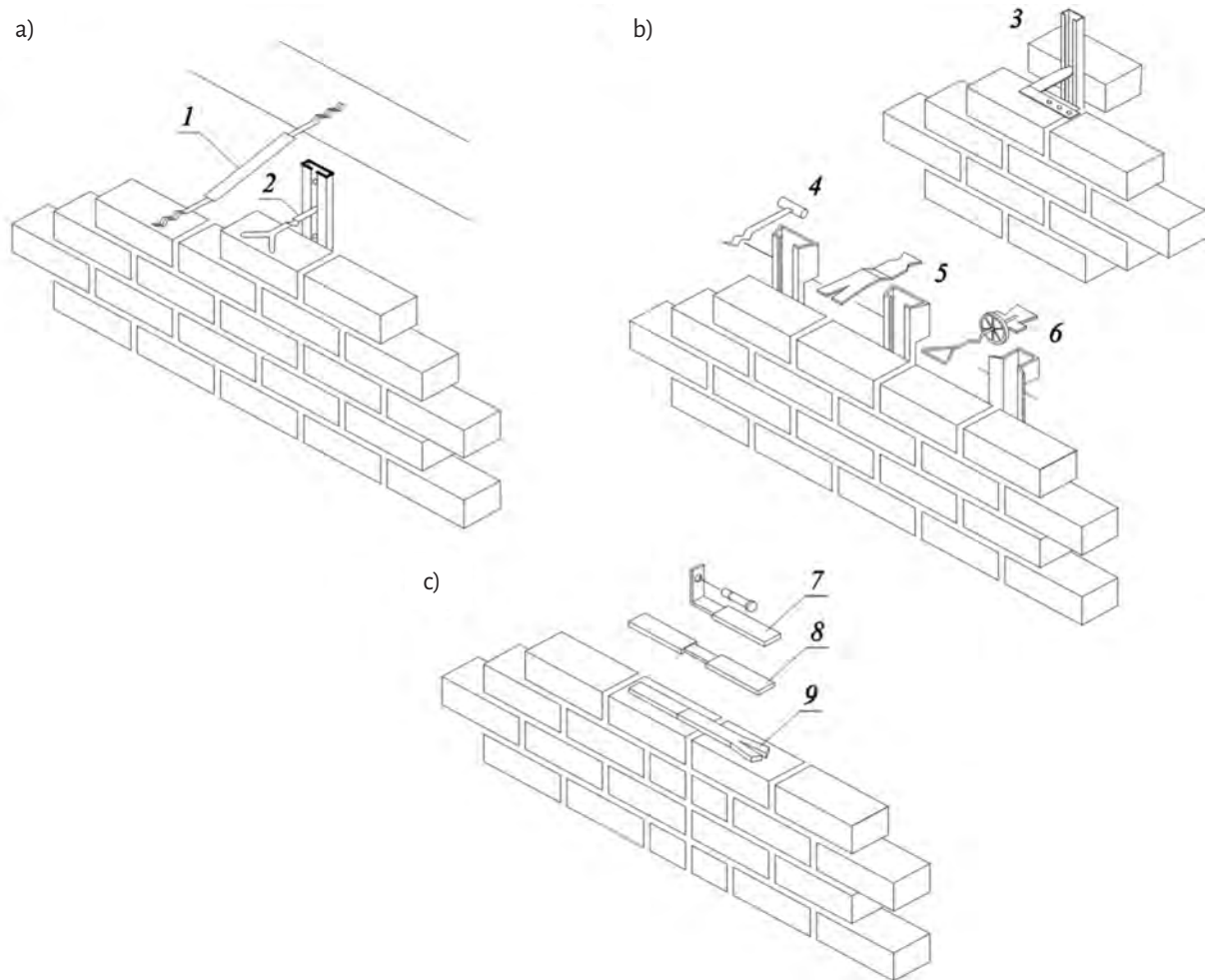
Rys. 16. Przykłady kotew ściennych ścinanych (1 – typ symetryczny z rozszczepionymi końcami, 2 – typ niesymetryczny, teowy).

kierunku poziomego lub pionowego lub dla obydwu kierunków. Dodatkowo, nośność na ścinanie żadnego z elementów próbnych nie powinna być mniejsza niż 70% wartości określonej przez producenta. Przesunięcie kotwy pod obciążeniem równym $\frac{1}{3}$ nośności na ścinanie określonej przez producenta nie powinno przekraczać 1 mm.

W praktyce przy wznoszeniu ścian szczelinowych lub wypełniających stosować można również kotwy podatne na wyginanie, poślizgowe i ślizgowe (symetryczne lub niesymetryczne), pozwalające na pionowe przesunięcia ściany (rys. 17). Kotwy te powinny charakteryzować się nośnością na ścinanie wyznaczoną zgodnie z postanowieniami normy PN-EN 846-7 [21]. Nośność na ścinanie powinna być równa lub większa od wartości określonej przez producenta dla kierunku poziomego lub pionowego lub dla obydwu kierunków. Dodatkowo, nośność na ścinanie żadnego z elementów próbnych nie powinna być mniejsza niż 70% wartości określonej przez producenta. Gdy pomiary wykonuje się zgodnie z PN-EN 846-7, przesunięcie kotwy pod obciążeniem równym $\frac{1}{3}$ nośności określonej przez producenta nie powinno przekraczać 2 mm.

Jako zasadę EC 6 nakazuje, aby w obliczeniach nośności kotew uwzględnić:

- różnicę ruchów pomiędzy połączonymi elementami konstrukcyjnymi, np. na skutek różnic temperatur, zmian wilgoci,



Rys. 17. Kotwy podatne na odkształcenia: a) kotwy podatne na wyginanie, b) kotwy ślizgowe, c) kotwy poślizgowe (1 – typ uniwersalnie przegubowy, 2 – typ kotwy ślizgającej się w listwie szczelinowej, 3 – szyna kotwy ze szczeliną w kształcie jaskółczego ogona, 4 – szyna kotwy ze szczeliną zamkową, 5 – typ kotwy ślizgającej się w listwie szczelinowej, 6 – kotwa czołowo osadzana w szczelinie zamkowej, 7 – typ asymetryczny z końcem rozszczepionym/ślizgowa, 8 – typ symetryczny, ślizgowa, 9 – typ asymetryczny mocowany/ślizgowa).

- poziome oddziaływanie wiatru,
- siły występujące na skutek współpracy warstw w ścianach szczelinowych.

Dodatkowo pod uwagę należy wziąć wszelkie odchyłki od prostoliniowości kształtu kotwy oraz wady materiałowe mogące spowodować niebezpieczeństwo kruchego zniszczenia podczas wykonywania kotwy oraz w trakcie wznoszenia obiektu.

Gdy ściany, szczególnie ściany szczelinowe i warstwowe, są poddane obciążeniu wiatrem prostopadle do ich powierzchni, kotwy łączące obydwie warstwy powinny być zdolne do rozłożenia obciążenia wiatrem z warstwy bezpośrednio obciążonej na drugą warstwę ściany, zapewniając ich wzajemną współpracę [26].

Zalecenia normy ograniczają się jednak wyłącznie do wyznaczenia minimalnej liczby kotw na jednostkę powierzchni n_t ściany:

$$n_t \geq \frac{W_{Ed}}{F_d} \geq n_{t \min} \quad (1)$$

gdzie:

W_{Ed} – obliczeniowa wartość przeznaczonego do przeniesienia obciążenia poziomego na jednostkę powierzchni. W przypadku ścian warstwowych W_{Ed} należy obliczać przy założeniu, że kotwy są wymagane do przeniesienia obliczeniowego poziomego obciążenia wiatrem działającego na ścianę warstwową na warstwę nośną.

F_d – obliczeniowa nośność kotew na ściskanie lub rozciąganie, odpowiednio do warunków obliczeń. Określana wg PN-EN 845-1 [18] na podstawie wartości deklarowanej przez producenta podzielona przez γ_m równy = 2,0 (kategoria wykonania robót A) lub = 2,2 (kategoria wykonania robót B).

W części zasadniczej Eurokodu 6 [1] do połączenia 1 m² warstwy zewnętrznej z warstwą wewnętrzną należy przyjąć nie mniej, niż uzyskuje się z obliczeń lub $n_{t \min} = 2$ kotwy. W Załączniku Krajowym przyjęto natomiast, że $n_{t \min} = 4$ kotwy/m². Zgodnie z zaleceniami PN-EN 1996-2 [5], jeżeli stosuje się kotwy uniemożliwiające swobodę odkształceń warstwy elewacyjnej,

należy zmniejszyć odległości między poziomymi dylatacjami warstwy zewnętrznej ściany, przy czym nie jest podana nawet przybliżona redukcja odległości między dylatacjami.

Norma [1] nie podaje rozstawu łączników służących do połączenia ściany wypełniającej ze szkieletem zarówno wzdłuż krawędzi pionowych, jak i pionowych. Projektant powinien kierować się w tym względzie zasadą, że połączenie takie nie powinno generować punktowego podparcia ściany, które generują koncentracje momentów zginających i sił poprzecznych. Rzeczywiste warunki podparcia powinny być jak najbardziej zbliżone do przyjmowanych w obliczeniach [3], które najczęściej mają charakter liniowy. Zalecany rozstaw łączników nie powinien być większy niż wynikający z obliczeń statycznych, a jednocześnie nie większy niż 3 łączniki na 1 mb połączenia, co daje około 5 łączników na wysokości kondygnacji.

Należy zwrócić uwagę, że niewłaściwe konstruowanie łączników zapewniających współpracę muru wypełniającego ze szkieletem może upodobnić ścianę wypełniającą do muru skrzepowanego, który może przejąć obciążenia niebrane pod uwagę na etapie projektu.

9. Dylatacje

Norma PN-EN 1996-1-1 [1] nie podejmuje szczegółowo problemu dylatacji w ścianach. Informację na temat dylatacji znaleźć można w PN-EN-1996-2 [5]. Norma podaje szereg zaleceń ogólnych, godny podkreślenia jest jednak fakt, że zalecenia szczegółowe ograniczono tylko do określenia wartości l_m „dla niezbrojonych ścian nienośnych” – czyli dla ścian wypełniających konstrukcje i dla niezbrojonej

warstwy zewnętrznej ścian szczelinowych (tablica 2). Zamieszczono również uwagę (podaną w ostatnim wierszu tablicy 2) o możliwości zwiększenia maksymalnego rozstawu dylatacji w przypadku stosowania zbrojenia w spoinach wspornych muru. Zakres tego zwiększenia powinien być podany przez producenta zbrojenia.

Załączniki krajowe do EC-6 zawierają ponadto pewne modyfikacje zaleceń dotyczących ścian nienośnych. Odnośnie do dylatacji murowych ścian nienośnych w PN-EN 1996-2 [5] stwierdza się jedynie, że ustalenia w tym zakresie „zależą od lokalnej tradycji budowlanej, rodzaju stosowanych stropów i innych szczegółów konstrukcyjnych”. Wobec braku konkretnych wytycznych w załączniku krajowym do PN-EN 1996-2 [5] powtórzono ustalenia przyjęte w PN-07 [4]. Zalecenia przyjęte w PN-07 [4], znacznie zmienione w stosunku do wcześniejszych, przyjęto na podstawie analizy porównawczej przepisów normowych i praktyki krajów europejskich oraz na podstawie doświadczeń w kraju [25].

10. Podsumowanie

Pomijane na etapie projektu obliczeniowe sprawdzenie warunków stanów granicznych ścian wypełniających może być tylko jedną z przyczyn powstania ich zarysowań lub innych wyraźnych uszkodzeń [3]. Drugą przyczyną uszkodzeń, występującą także w tradycyjnych budynkach murowanych, jest niedopełnienie warunków konstrukcyjnych, a w szczególności w odniesieniu do niewłaściwej grubości spoin, wielkości wiązania, warunków brzegowych ścian szczelinowych i wypełniających. Często popełnione błędy mogą upodobnić ścianę

Tablica 2. Dopuszczalne odległości maksymalne l_m między dylatacjami dla niezbrojonych ścian nienośnych według PN-EN-1996-2 [5].

Rodzaj muru	l_m [m]
Mury z elementów ceramicznych	12
Mury z elementów silikatowych	8
Mury z elementów z betonu kruszywowego i kamienia sztucznego	6
Mury z elementów z autoklawizowanego betonu komórkowego	6
Mury z elementów z kamienia naturalnego	12
Maksymalny rozstaw poziomy dylatacji pionowych można zwiększyć w przypadku ścian ze zbrojeniem w spoinach wspornych zgodnie z EN 845-3. Odpowiednie zalecenia mogą być podane przez producenta zbrojenia do spoin wspornych.	

wypełniającą do muru skrzepowanego, wywołując w ścianie stan naprężenia zupełnie ignorowany na etapie projektu. Projektant powinien mieć na uwadze, że nie ma możliwości prawidłowego oszacowania bezpieczeństwa konstrukcji na podstawie błędnie przyjętego modelu obliczeniowego.

Dlatego dopilnowanie na etapie wykonawstwa formalnych warunków konstrukcyjnych wykonania muru należy traktować na równi z jego właściwym ukształtowaniem [22] oraz przeprowadzonymi obliczeniami statycznymi, zakładającymi najczęściej idealne warunki pracy i jednorodność materiału.

Literatura:

- [1] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Konstrukcje murowe. Według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [3] Drobiec Ł.: Zasady projektowania ścian wypełniających na podstawie norm europejskich. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [4] PN-B-03002:2007: Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- [5] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.
- [6] PN-EN 845-3+A1:2008: Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów, Część 3: Stalowe zbrojenie do spoin wspornych.
- [7] Materiały techniczne firmy NOVA zamocowania elewacji, Warszawa 2014.
- [8] PN-B-03340:1989: Konstrukcje murowe zespolone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [9] PN-B-03340:1999/Az1: Konstrukcje murowe zbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- [10] ENV-1996-1-1:2002, Eurocode 6: Design of Masonry Structures. Part 1-1: Common Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures. CEN / TC 250, March 2003.
- [11] PN-EN 1998-1:2005/AC:2009, Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym, Część 1: Reguły ogólne, oddziaływania sejsmiczne i reguły dla budynków (oryg.)
- [12] EN 845-1/A1:2008: Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów, Część 1: Kotwy, listwy kotwiące, wieszaki i wsporniki.
- [13] PN-EN 846-2:2002P: Metody badań wyrobów dodatkowych do wznoszenia murów, Część 2: Określenie nośności na wrywanie z zaprawy prefabrykowanego zbrojenia do spoin wspornych.
- [14] Instrukcja ITB nr 391/2003: Projektowanie budynków podlegających wpływom wstrząsów górniczych. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2003.
- [15] Ledwoń J.A.: Budownictwo na terenach górniczych. Arkady, Warszawa 1983.
- [16] Drobiec Ł.: Muryskrępowane. Materiały Budowlane, nr 4, 2012, s. 18 – 20.
- [17] Tomazevic M.: Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings, Imperial College Press 1999.
- [18] PN-EN 845-1:2003-11: Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 1: Kotwy, listwy kotwiące, wieszaki i wsporniki.
- [19] PN-EN 846-6:2012E: Metody badań wyrobów dodatkowych do wznoszenia murów, Część 6: Określenie nośności na rozciąganie i ściskanie oraz sztywności kotew murowych (badanie jednostronne).
- [20] PN-EN 846-7:2012E: Metody badań wyrobów dodatkowych do wznoszenia murów, Część 7: Określenie nośności na ścinanie oraz sztywności kotew i łączników (badanie na próbce składającej się z dwóch elementów murowych).
- [21] PN-EN 846-5:2012E: Metody badań wyrobów dodatkowych do wznoszenia murów, Część 5: Określenie nośności na rozciąganie i ściskanie oraz sztywności kotew murowych (badanie na próbce składającej się z dwóch elementów murowych).
- [22] Jasiński R.: Kształtowanie i wykonawstwo ścian wypełniających. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [23] PN-B-03002:1999/Az1/Az2: Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- [24] PN-B-03002:1987: Konstrukcje murowe niezbrojone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [25] Lewicki B.: Odległości między dylatacjami termiczno-skurczowymi w budynkach ze ścianami murowanymi, Inżynieria i Budownictwo, nr 2, 1995, s. 69–72.
- [26] Instrukcja ITB nr 341/96: Projektowanie i wykonywanie murowanych ścian szczelinowych. ITB. Warszawa 1996.
- [27] Lewicki B., Kubica J., Drobiec Ł., Gajownik R., Jarmontowicz R., Jasiński R., Kubiak D., Piekarczyk A., Sieczkowski J.: Rozszerzenie podstaw naukowych ustaleń Eurokodu 6 „Projektowanie konstrukcji murowych”. Komentarz naukowo-badawczy do PN-EN 1996-1-1:2008, PN-EN 1996-2:2008 i PN-EN 1996-3:2008. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2008, tom 1 i tom 2.

dr inż. Radosław Jasiński
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Śląska

KSZTAŁTOWANIE I WYKONAWSTWO ŚCIAN WYPEŁNIAJĄCYCH

W pracy omówiono zasady kształtowania ścian wypełniających zgodnie z wymogami Eurokodu 6. Przedstawiono zalecenia w zakresie doboru grubości ścian w zależności od ich wymiarów oraz warunków podparcia. Omówiono różne sposoby połączenia ścian wypełniających ze szkieletem żelbetowym, bazując w głównej mierze na rozwiązaniach dopuszczonych i stosowanych w Polsce. Przedstawiając zalecenia dotyczące wykonawstwa ścian, scharakteryzowano wymagania dotyczące zapisów norm europejskich w zakresie dopuszczalnych odchyłek z uwzględnieniem ścian wypełniających.

1. Wprowadzenie

W Eurokodzie 6 [1] nie podano „jawnej” definicji ścian wypełniających, dokonując podziału na ściany konstrukcyjne i ściany niekonstrukcyjne. Ściany wypełniające mogą być ścianami konstrukcyjnymi, jeżeli zdolne są do przejścia poza ciężarem własnym także innych obciążeń (pionowych i poziomych). Do tej grupy zaliczyć należy ściany wypełniające współpracujące z monolitycznie wykonanym żelbetowym szkieletem wykonanym po wzniesieniu muru (mur skrępowany) oraz współpracujące z wykonanym w pierwszej kolejności prefabrykowanym szkieletem żelbetowym lub szkieletem stalowym. W przypadku muru skrępowanego ściana wypełniająca przejmuje, oprócz ciężaru własnego i użytkowych obciążeń pionowych, również obciążenia poziome prostopadłe do płaszczyzny i obciążenia poziome działające w płaszczyźnie, pełniąc rolę ściany usztywniającej. Pozbawiona elementów żelbetowych ściana nie spełni warunków ULS i SLS, tak samo jak samodzielny szkielet pozbawiony współpracującego muru. Z kolei ściana stanowiąca wypełnienie szkieletem może przenosić, oprócz ciężaru własnego, wyłącznie obciążenia poziome działające w płaszczyźnie i prostopadłe do płaszczyzny, pełniąc rolę ściany usztywniającej. Wypełniające ściany niekonstrukcyjne zdolne do przejścia wyłącznie ciężaru własnego występują stosunkowo rzadko, ponieważ powinny być wyraźnie oddylatowane od konstrukcji,

której wypełnienie stanowią. Ściany takie występować mogą wyłącznie wewnątrz budynku i pełnią na przykład rolę ścian działowych. Wynika z tego, że właściwe ukształtowanie ścian wypełniających pod względem wymiarów i kształtu oraz świadome ustalenie warunków podparcia [1] stanowi podstawę do obliczeniowego sprawdzenia warunków stanów granicznych nośności i użyteczności [2]. W niniejszym referacie przedstawiono podstawowe wymagania dotyczące zarówno sposobów ustalania wymiarów ścian wypełniających obciążonych tylko prostopadłe do swojej płaszczyzny oraz sposobów połączenia ścian wypełniających z elementami żelbetowymi, jak i wykonawstwa konstrukcji.

2. Dobór geometrii ściany wypełniającej

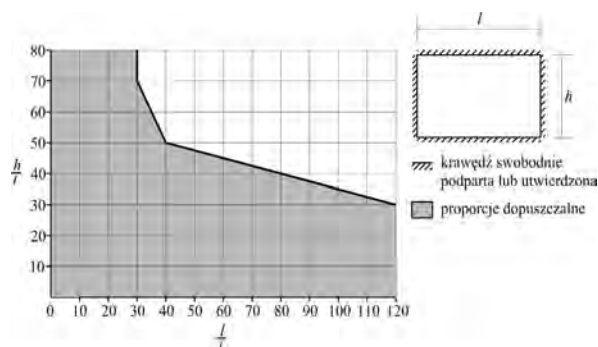
Proces sprawdzenia formalnych warunków stanów granicznych powinien być poprzedzony doбором geometrii i kształtu ściany. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 1996-1-1 [3], w celu uniknięcia nadmiernych przemieszczeń będących wynikiem ugięć, pełzania, skurczu, wpływów termicznych lub zarysowania ogranicza się wymiary ścian obciążonych prostopadłe do płaszczyzny oraz wolno stojących ścian wspornikowych. Ściany tego rodzaju powinny być wykonane przy użyciu zaprawy klasy od M2 do M20 i powinny być obliczane zgodnie z zapisami normy [3] w zakresie

sprawdzania stanu granicznego nośności niezbrojonych ścian murowanych obciążonych prostopadle do swojej powierzchni. Wymiary ścian należy ograniczyć zgodnie z zaleceniami Załącznika F do normy PN-EN 1996-1-1 [3], zgodnie z którym mimo tego, że ściana spełnia stan graniczny nośności, to jej wymiary należy ograniczyć. W zależności od grubości ściany, z uwagi na zachowanie stanu granicznego użyteczności, ograniczeniom podlegają wysokość i długość ściany. Wymiary ściany ogranicza się w taki sposób, aby zachowany pozostał stosunek wysokości ściany w świetle podpór do jej grubości h/t oraz stosunek długości ściany do grubości l/t . Stosunki dopuszczalne wymiarów ścian pokazano na wykresach zamieszczonych na rysunkach 1, 2 i 3, przy czym dotyczą one ścian o grubości całkowitej lub grubości jednej z warstw ściany szczelinowej większej lub równej 100 mm. W przypadku, kiedy ściana podparta jest tylko wzdłuż krawędzi poziomych, jej wysokość powinna zostać ograniczona do $30t$, gdzie t jest grubością ściany. Dla ścian szczelinowych należy przyjmować efektywną grubość ściany t_{ef} .

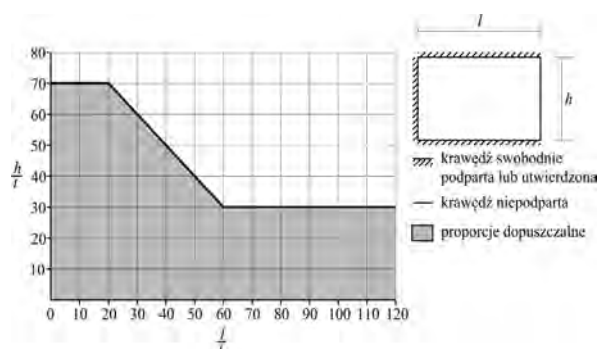
Zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 13116 [9], w której określono wymagania eksploatacyjne dotyczące ścian obciążonych parciem lub ssaniem wiatru, ugięcie takich ścian nie powinno przekraczać $1/200$ rozpiętości lub 15 mm.

Zewnętrzne ściany nienośne powinny zostać podzielone pionowymi dylatacjami, jeżeli ich długość przekracza wartość l_m podaną w normie PN-EN 1996-2 [4] w zależności od rodzaju elementów murowych, z których wykonano ściany. Długości l_m zestawiono poniżej, w tabelicy 1.

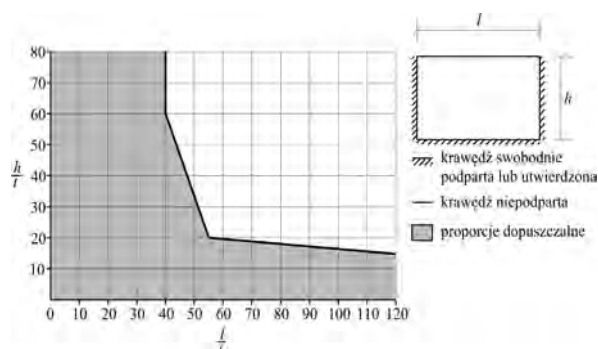
Norma dopuszcza zwiększenie długości ścian podanych w tabelicy 1 w przypadku projektowania ścian ze zbrojeniem w spoinach wspornych zgodnym z PN-EN 845-3 [10]. Zakres zwiększenia zależy od producenta zbrojenia do spoin wspornych, zazwyczaj jest to 20%.



Rys. 1. Ograniczenie wymiarów ścian obciążonych prostopadle do ich powierzchni podpartych wzdłuż czterech krawędzi wg [3].



Rys. 2. Dopuszczalne wymiary ścian obciążonych prostopadle do ich powierzchni podpartych wzdłuż trzech krawędzi, przy niepodpartej jednej krawędzi pionowej wg [3].



Rys. 3. Ograniczenie stosunku wymiarów ścian obciążonych prostopadle do ich powierzchni podpartych wzdłuż trzech krawędzi, przy niepodpartej jednej krawędzi poziomej wg [3].

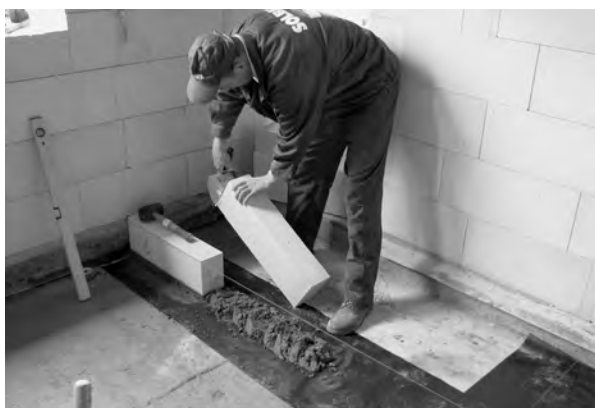
Tabela 1. Maksymalna pozioma odległość l_m pomiędzy dylatacjami pionowymi dla niezbrojonych zewnętrznych ścian nienośnych wg [4].

Rodzaj muru	l_m , m
Mury z elementów ceramicznych	12
Mury z elementów silikatowych	8
Mury z elementów z betonu kruszywowego i kamienia sztucznego	6
Mury z elementów z autoklawizowanego betonu komórkowego	6
Mury z elementów z kamienia naturalnego	12

3. Warunki podparcia ściany wypełniającej

Podparcie ściany wypełniającej lub osłonowej projektować można wzdłuż dwóch, trzech lub czterech krawędzi. Podparcie to może być przegubowe, można również zapewnić utwierdzenie krawędzi ściany. Wybór sposobu podparcia wpływa w istotny sposób na wartości momentów zginających.

Dolna pozioma krawędź ściany opiera się na stropie żelbetowym lub konstrukcji ramy, na której została wymurowana. Ścianę wypełniającą najczęściej wznosi się na warstwie poślizgowej, wykonanej przeważnie z kilku warstw folii (rys. 4).



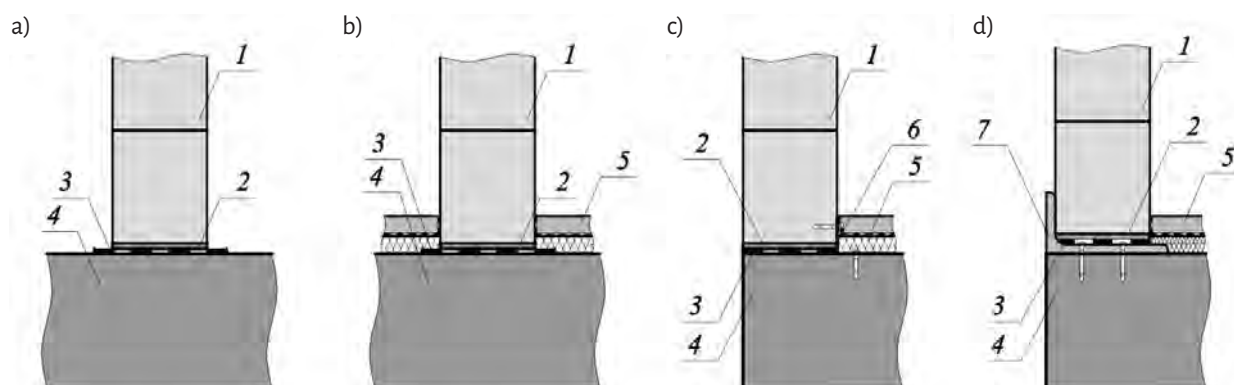
Rys. 4. Połączenie dolnej krawędzi ściany wypełniającej ze stropem za pośrednictwem przekładki z folii [5].

Taka przekładka oddziela konstrukcję wypełnianą od ściany i pozwala na zmniejszenie odkształceń konstrukcji przekazywanych na ścianę wypełniającą. Odkształcenia te wynikają głównie z ugięcia konstrukcji, na której ściana murowana spoczywa, oraz wpływów reologicznych i termicznych. Pierwszą warstwę ściany wypełniającej muruje się na warstwie zaprawy o grubości 10 mm (rys. 5a). Taka grubość zaprawy pozwala

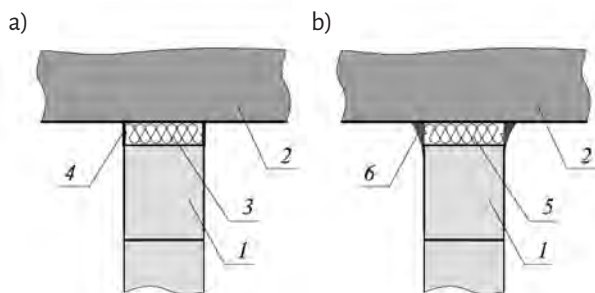
zwykle na poziome ułożenie pierwszej warstwy muru, niezależnie od nierówności powierzchni, na której ściana jest wznoszona. W związku ze stosowaniem warstwy poślizgowej dolną krawędź ściany można traktować jako niepodpartą, chyba że na konstrukcji, na której ściana jest ustawiona, zostaną wykonane sztywne warstwy posadzki. Warstwy te po stwardnieniu będą obejmowały dolną część ściany na wysokości równej ich grubości i w ten sposób umożliwią przekazanie poziomych sił poprzecznych. Jednocześnie, poprzez zablokowanie możliwości obrotu ściany, mogą pozwolić na jej utwierdzenie wzdłuż dolnej krawędzi (rys. 5b). Taka sytuacja wystąpić może w przypadku wewnętrznych ścian wypełniających, kiedy warstwy posadzki obejmują ścianę z dwóch stron.

W przypadku ścian wypełniających zabudowanych w elewacji (ścian osłonowych) występuje problem z odpowiednim ich połączeniem z konstrukcją wzdłuż krawędzi dolnej. Ściany osłonowe, z uwagi na duże odkształcenia termiczne, powinny mieć zapewnioną możliwość przesuwu, a więc wykonywać je należy na warstwie poślizgowej. Nie można jednak dopuścić, aby występowały przemieszczenia ściany z płaszczyzny konstrukcji wypełnianej wywołane parciem lub ssaniem wiatru. Zapewnienie właściwego podparcia ścian osłonowych wymaga zatem wykonania dodatkowych zabiegów konstrukcyjnych, na przykład zakotwienia dolnej krawędzi ściany w warstwach posadzki łącznikami (rys. 5c) lub murowania ściany na profilach stalowych (listwach prowadzących) (rys. 5d). Rozwiązanie pokazane na rys. 5c może być także stosowane w przypadku ścian wewnętrznych, kiedy warstwy posadzki nie zapewnią właściwego poziomego oparcia (posadzki drewniane lub posadzki techniczne).

Górna krawędź ściany wypełniającej powinna być oddylatowana od zabudowanego nad nią stropu, aby zabezpieczyć ścianę przed oddziaływaniem uginającego się stropu oraz dać jej możliwość swobodnych



Rys. 5. Połączenie ściany wypełniającej wzdłuż krawędzi dolnej z konstrukcją wg [5]: a) podparcie na warstwie poślizgowej (możliwość obrotu i przesuwu w kierunku poziomym), b) podparcie na warstwie poślizgowej z zablokowaniem obrotu i przesuwu poprzecznego przez ułożenie sztywnych posadzek (zamocowanie), c) i d) podparcie ściany osłonowej bez możliwości przesuwu (1 – murowana ściana wypełniająca, 2 – zaprawa cementowa 1:3 o grubości 10 mm, 3 – warstwa poślizgowa z dwóch warstw papy lub folii, 4 – strop żelbetowy, 5 – jastrych cementowy, 6 – metalowy łącznik, 7 – stalowy profil mocowany do stropu żelbetowego).



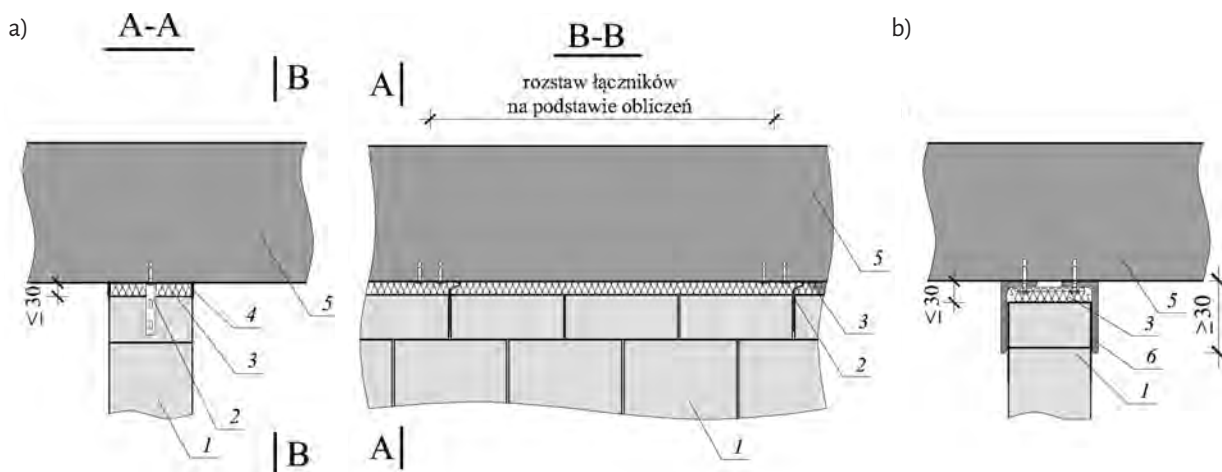
Rys. 6. Rozwiązanie dylatacji między stropem a ścianą wypełniającą: a) ściana niepełniąca funkcji oddzielenia ogniowego, b) ściana pełniąca funkcję oddzielenia ogniowego, (1 – murowana ściana wypełniająca, 2 – żelbetowy strop, 3 – warstwa izolacyjna z wełny mineralnej lub trwale odkształcalna pianka poliuretanowa, 4 – masa trwale plastyczna, 5 – warstwa izolacyjna z wełny mineralnej klasy A1, 6 – uszczelnienie połączenia materiałem odpornym na działanie ognia).

odkształceń od wpływów termicznych, skurczu itp. Dylatację uzyskuje się przez pozostawienie między ścianą a stropem wolnej przestrzeni o grubości do 30 mm. Gdy nie projektuje się podparcia ściany wypełniającej wzdłuż górnej krawędzi, przestrzeń tę wypełnia się wełną mineralną lub pianką trwale elastyczną (rys. 6a). Jeżeli ściana pełni funkcję oddzielenia ogniowego, to zgodnie z PN-EN 1996-1-2 [12] należy w dylatacji zastosować wełnę mineralną klasy A1 wg PN-EN 13501-1 [11], a w płaszczyźnie ściany dodatkowo zastosować uszczelnienie połączenia materiałem odpornym na działanie ognia (rys. 6b).

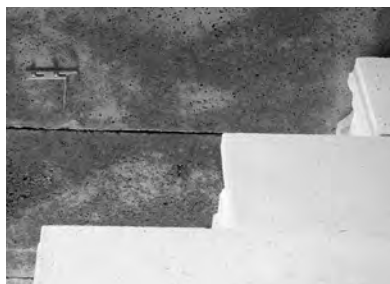
Połączenie górnej krawędzi ściany z konstrukcją wypełnianą może być zrealizowane poprzez odpowiednią liczbę łączników (rys. 7a), które zdolne będą do przekazania poziomego obciążenia ściany. Nie należy łączyć górnej krawędzi ściany z konstrukcją za pomocą zapraw, pianki poliuretanowej i tym podobnych materiałów mało ściśliwych. Takie zasklepienie pozostałej szczeliny może spowodować sytuację, w której ugięcie konstrukcji

wypełnianej doprowadzi do jej kontaktu z murem i w efekcie do przekazania znacznych sił na ścianę, która może zostać uszkodzona. W przypadku ścian pełniących funkcję oddzielenia pożarowego norma PN-EN 1996-1-2 dopuszcza również zastosowanie stalowych kątowników (rys. 7b). Szczelinę ponad górną krawędź ściany wypełniającej powinno się uzupełniać wełną mineralną klasy A1 wg PN-EN 13501-1 [11] i uszczelnąć masą trwale elastyczną. W pewnych sytuacjach wymagane może być stosowanie poziomych listew maskujących mocowanych do ściany lub stropu. Elementy łączące górną krawędź ściany wypełniającej z konstrukcją powyżej powinno się instalować w wypełnionych zaprawą pionowych spoinach czołowych i mocować mechanicznie do konstrukcji wypełnianej za pomocą śrub samogwintujących (rys. 7, 8 i 9). Łączniki mogą być sztywne lub pozwalać na pewne przemieszczenia konstrukcji względem ściany wypełniającej. Za pomocą łączników możliwe jest również zrealizowanie utwierdzenia ściany wzdłuż górnej krawędzi, co wymaga takiego skonstruowania połączenia, aby możliwe było przeniesienie przez łączniki pary sił o odpowiedniej wartości. Liczba, a co za tym idzie rozstaw łączników powinny wynikać z odpowiednich obliczeń statycznych zarówno w przypadku połączenia przegubowego, kiedy połączenie obciążone jest tylko poziomymi siłami poprzecznymi, jak również wtedy, gdy projektuje się utwierdzenie krawędzi ściany wypełniającej.

Połączenie pionowych krawędzi ściany z konstrukcją wypełnianą wykonuje się podobnie jak połączenie krawędzi górnej – za pomocą łączników, które tym razem umieszcza się w spoinach wspornych muru i mocuje mechanicznie do konstrukcji obiektu. Liczba i rozstaw łączników powinny oczywiście wynikać ze stosownych obliczeń statycznych. Na rys. 10 pokazano tego typu połączenie.



Rys. 7. Przykłady prawidłowych połączeń ściany wypełniającej ze stropem [5, 11, 12]: a) przy pomocy stalowych kotew, b) przy pomocy stalowych kątowników (1 – ściana wypełniająca, 2 – łączniki, 3 – wełna mineralna, 4 – masa trwale elastyczna, 5 – strop żelbetowy, 6 – stalowy kątownik).



Rys. 8. Wstępnie osadzony w stropie łącznik.

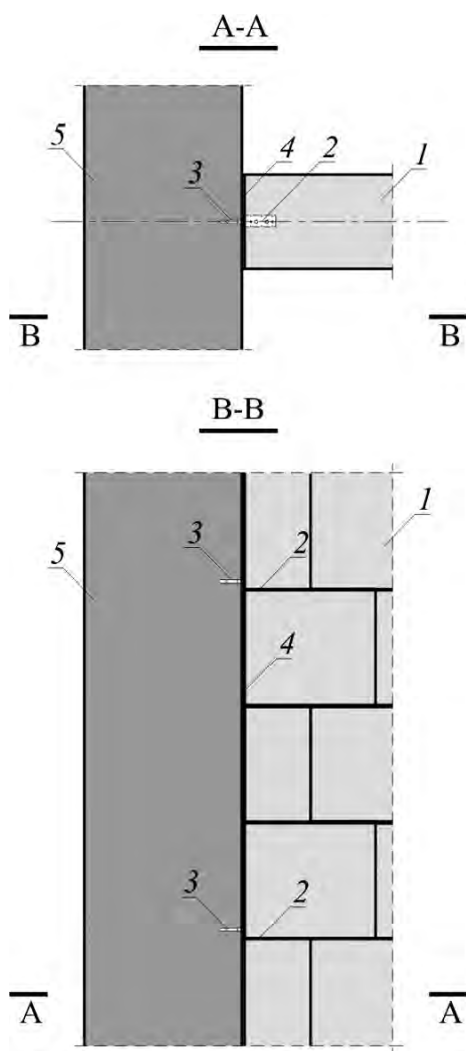


Rys. 9. Połączenie górnej krawędzi ściany ze stropem za pomocą łączników w spoinie czołowej wypełnionej zaprawą.

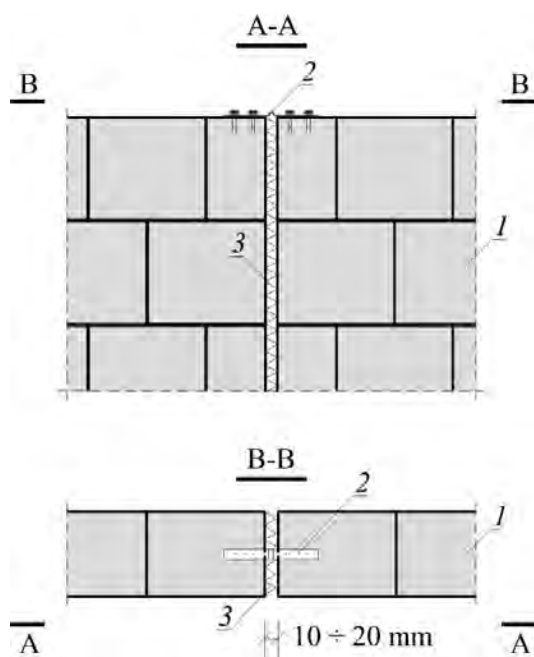
W przypadku długich ścian wypełniających niezbędne może być podzielenie jej na krótsze odcinki. Krawędzie pionowe takich ścian można zaprojektować jako krawędzie swobodne (dylatacje) lub jako utwierdzone w pionowych rdzeniach. Projektując krawędzie swobodne, zakłada się, że odległość między sąsiednimi odcinkami ścian wynosi od 10 do 20 mm. Pionową szczelinę można wypełnić jak w przypadku szczeliny powstałej

między krawędzią górną ściany i konstrukcją wypełnianą lub zastosować rozprężne taśmy dylatacyjne. Zaleca się, aby sąsiednie odcinki ścian łączyć konstrukcyjnie górną za pomocą odpowiedniego łącznika pozwalającego na niewielkie wzajemne przemieszczenia konstrukcji murowanej, co pokazano na rys. 11.

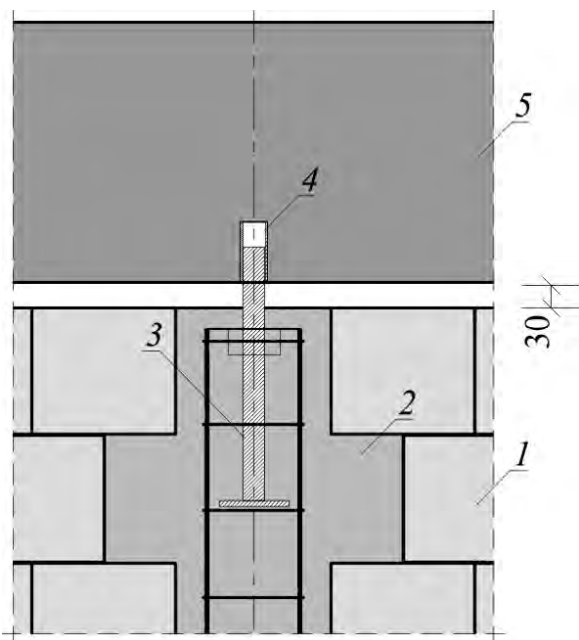
Gdy projektuje się podparcie pionowych krawędzi części ściany wypełniającej, należy przewidzieć wykonanie rdzeni żelbetowych. Rdzenie muszą być połączone z konstrukcją wypełnianą, u dołu zbrojenie rdzeni można wkleić do istniejącej konstrukcji lub na etapie wykonywania konstrukcji wypuścić z niej odpowiednie zbrojenie rdzeni. Połączenie rdzenia u góry z istniejącą konstrukcją stanowi nieco większy problem. Należy bowiem zapewnić swobodę ugięcia konstrukcji wypełnianej. Najczęściej w takim połączeniu stosuje się kotwy i tuleje, które umożliwiają przegubowe połączenie rdzenia ze stropem z zachowaniem możliwości pionowego przemieszczenia istniejącej konstrukcji, co pokazano na rys. 12 i 13.



Rys. 10. Połączenie krawędzi pionowej ściany wypełniającej z konstrukcją budynku wg [5]: 1 – murowana ściana wypełniająca, 2 – łącznik, 3 – śruba samogwintująca, 4 – warstwa zaprawy o grubości 10 mm, 5 – konstrukcja budynku.



Rys. 11. Konstrukcja swobodnych krawędzi ścian wypełniających wg [5]: 1 – ściana murowana, 2 – łącznik, 3 – taśma dylatacyjna.



Rys. 12. Połączenie żelbetowego rdzenia ze stropem: 1 – murowana ściana wypełniająca, 2 – żelbetowy rdzeń, 3 – kotwa, 4 – tuleja przymocowana do stropu zaprawą montażową, 5 – strop.



Rys. 14. Częściowo wykonane rdzenie w ścianie prostej i zakrzywionej [5].



Rys. 13. Widok tulei osadzonej w stropie, stanowiącej górną podporę rdzenia.



Rys. 15. Widok nawiązki zbrojenia rdzenia wypuszczonej ze stropu oraz łączników wypuszczonych ze ściany wypełniającej.

Murowaną ścianę wypełniającą łączy się z rdzeniem żelbetowym poprzez monolityzację strzępi pozostawionych na wysokości pionowej krawędzi ściany (rys. 14) oraz wypuszczonych z muru łączników (rys. 15).

Przy projektowaniu podparcia pionowych krawędzi ścian przez żelbetowe rdzenie należy pamiętać, że ograniczenie długości ścian przez EC-6 ma na celu ich zabezpieczenie przed wpływami ugięć stropu i odkształceń termiczno-reologicznych. Dlatego rdzenie należy w ścianach wykonać jak najpóźniej, aby wpływy reologiczne mogły ulec wytłumieniu. Opóźnienie wykonania rdzeni może mieć wpływ na czas wznoszenia ścian, a co za tym idzie na koszty budowy. Ściany wypełniające nie są z reguły narażone na działanie obciążeń termicznych i w ścianach takich nie ma innych zastrzeżeń odnośnie do stosowania podparcia przez żelbetowe rdzenie. W przypadku ścian osłonowych, które stanowią zewnętrzną przegrodę budynku i są narażone na duże zmiany temperatur, należy rozważyć zasadność stosowania rdzeni i przeanalizować ich wpływ na odkształcalność ścian.

4. Wykonawstwo

Problemem wykonawstwa konstrukcji murowych Eurokod 6 zajmuje się w rozdziale 9 normy PN-EN 1996-1-1 [3] i w rozdziale 3 normy PN-EN 1996-2 [4]. Postanowienia Eurokodu 6 w kwestii wykonawstwa są dość lakoniczne i obie normy często odwołują się do zapisów poczynionych przez projektanta w projekcie oraz lokalnych tradycji bez dokładniejszego sprecyzowania zasad wykonawstwa. W wielu przypadkach EC-6 nakazuje spełniać warunki i wytyczne określone przez producentów elementów murowych i zapraw.

Do podstawowych zasad przyjętych w PN-EN 1996-1-1 [3] zaliczyć należy wymaganie, aby wszystkie roboty wykonywać zgodnie z wymaganiami szczegółowymi dotyczącymi wielkości odchyłek dopuszczalnych oraz aby wszystkie roboty były prowadzone przez odpowiednio wykwalifikowany personel. Zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [3], gdy zostaną uwzględnione wymagania PN-EN 1996-2 [4], można przyjąć, że zasady te są spełnione. Podstawową zasadą przyjętą w PN-EN 1996-2 [4] jest, aby wszystkie stosowane materiały oraz roboty budowlane były zgodne ze specyfikacją projektową, a składowanie i transport materiałów odbywały się w sposób niepowodujący ich uszkodzenia [6]. Ściany wypełniające wykonywać można w technologii na spoiny zwykłej grubości lub spoiny cienkowarstwowej. Proces wznoszenia muru nie odbiega istotnie od wykonywania muru w tradycyjnych budynkach ścianowych, opisanych szczegółowo w [6]. Najważniejszym czynnikiem, na który należy zwrócić uwagę jest połączenie szkieletu ze ścianą wypełniającą lub oddylatowanie muru od przyległej konstrukcji. Osadzenie poziomej izolacji wzdłuż dolnej krawędzi muru powinno odbywać się przed rozpoczęciem robót murarskich, natomiast pozostałe czynności powinny być wykonane w miarę postępu robót.

Na rys. 16 pokazano nieodpowiednie wypełnienie szczeliny pod rygłem pianką poliuretanową. W projektach architektoniczno-budowlanych często projektuje się wykonywanie otworów w ścianach wypełniających w bezpośredniej bliskości konstrukcji żelbetowej. Występuje wówczas problem z oparciem nadproży. Na rys. 17 pokazano oparcie nadproża na zbyt wąskim i smukłym murku usytuowanym przy żelbetowej ścianie. Popętniane na etapie wznoszenia obiektu błędy mogą stanowić istotne czynniki pogarszające nie tylko



Rys. 16. Nieodpowiednie wypełnienie szczeliny pod rygłem pianką poliuretanową. Widoczne liczne niedokładności wykonania ścian (fot. S. Gąsiorowski).



Rys. 17. Oparcie nadproża ścianki wypełniającej na zbyt wąskim filarku (fot. L. Misiewicz).

jego estetykę, ale obniżające również w znaczący sposób bezpieczeństwo konstrukcji [16].

Norma PN-EN 1996-2 [4] definiuje dopuszczalne odchyłki wykonania konstrukcji murowych, które podano w tablicy 2 i zaznaczono na rys. 18. Norma zastrzega jednakże, że tolerancje te nie powinny przekraczać wartości dopuszczalnych, przyjętych w specyfikacji projektowej oraz że powinny być one zgodne z lokalną tradycją. W kraju odchyłki wymiarów zgodne z Eurokodem obowiązują od czasu wprowadzenia normy PN-99 [7], choć w instrukcji ITB 425/2006 [8] z okresu, gdy obowiązywały już zapisy Eurokodu, podano odchyłki wykonawstwa oparte na dawnych normach krajowych. Ponieważ w załączniku krajowym do EC-6 nie podano innych odchyłek wymiarowych, to wartości przedstawione w PN-EN 1996-1-1 [3] są obowiązującymi. Wymiary i usytuowanie murowanych elementów budynku należy kontrolować sukcesywnie w trakcie prowadzenia robót. Porównując dopuszczalne odchyłki przyjęte przez EC-6 z dopuszczalnymi odchyłkami obowiązującymi w kraju w połowie XX w., stwierdzić należy, że dawne wymagania były bardziej restrykcyjne.

W przypadku stosowania ścian, wypełniających istniejący szkielet, podane w tablicy 2 dopuszczalne odchyłki powinny być stosowane wyłącznie do pojedynczego pola, w którym wykonany będzie mur. Jest to spowodowane koniecznością dopasowania się do istniejącego szkieletu, którego odchyłki mogą przekraczać określone wartości dopuszczalne (wg stosowanej normy PN-EN 13670 [13]). Trzeba jednak mieć na uwadze, że zalecane obecnie dopuszczalne odchyłki są dużo większe niż krajowe tradycje w tym zakresie. W efekcie pojawić mogą się istotne problemy na etapie wykończenia tego typu ścian. W związku z tym najbardziej zasadne jest stosowanie w specyfikacji projektowej dużo ostrzejszych wymogów proponowanych przez Instrukcję ITB 425/2006 [8], wynoszących odpowiednio:

- odchyłka od pionu ± 6 mm (na wysokości ściany) oraz ± 3 mm (na wysokości 1 m),
- odchylenie od poziomu górnej powierzchni muru ± 2 mm (na długości 1 m),
- wybrzuszenie muru ± 4 mm (na długości 1 m),
- skrócenie głębokości odparcia nadproży ≤ 10 mm,
- odchylenie wymiarów otworów w świetle ościeży dla otworów ± 10 mm.

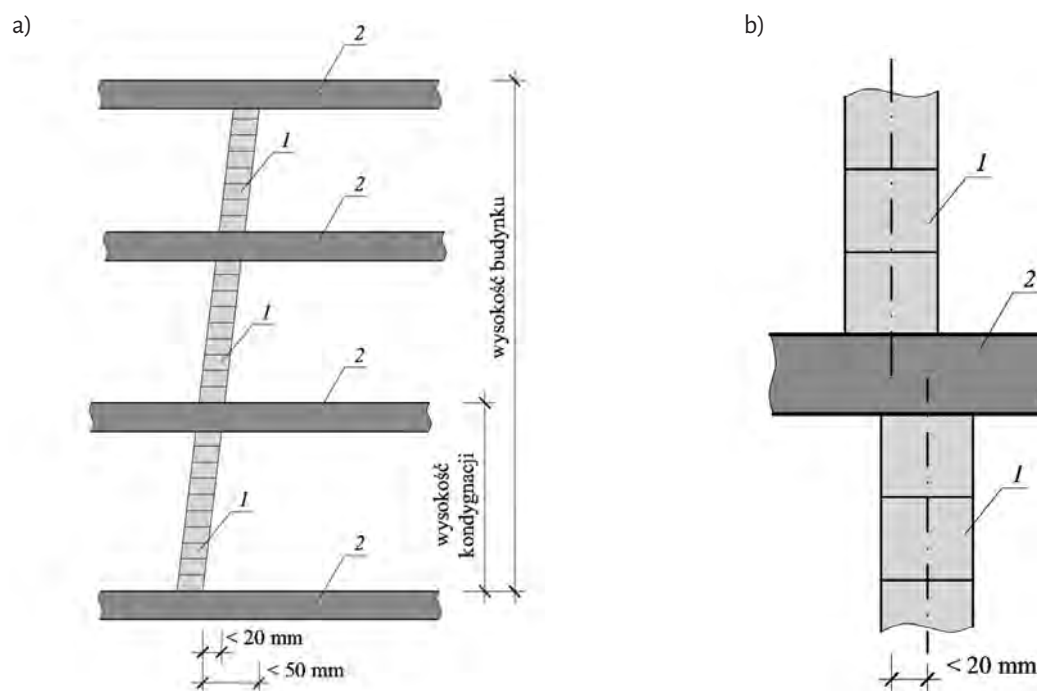
Ponieważ normy [2, 3] nie podejmują problemu dokładności wykonania otworów, można również skorzystać z wytycznych zamieszczonych w instrukcji ITB 425/2006 [8], które nie są sprzeczne z Eurokodem. W specyfikacji projektowej przyjąć można, w przypadku otworów o wymiarach do 1000 mm, dopuszczalną odchyłkę szerokości otworu równą $+6$ mm, -3 mm, a wysokości $+15$ mm, -10 mm. Natomiast w otworach o wymiarach powyżej 1000 mm dopuszczalne są odchyłki szerokości równe $+10$ mm, -5 mm, a wysokości $+15$ mm, -10 mm.

Tablica 2. Odchyłki wykonawstwa według PN-EN 1996-2 [4].

Położenie		Maksymalna odchyłka
Odchyłka od pionu	na każdej kondygnacji	± 20 mm
	na wysokości budynku o trzech lub większej liczbie kondygnacji	± 50 mm
	przesunięcie w pionie	± 20 mm
Odchyłka od poziomu*	na każdym metrze	± 10 mm
	na 10 metrach	± 50 mm
Grubość elementu	warstwy ściany**	± 5 mm lub $\pm 5\%$ grubości warstwy, miarodajna jest wartość większa
	grubość całej ściany szczelinowej	± 10 mm

* Odchyłka od poziomu jest mierzona względem linii poziomej przeprowadzonej przez dwa dowolne punkty.

** Wyłączając warstwy o grubości lub długości jednego elementu murowego, gdzie tolerancje wymiarowe elementów murowych odpowiadają tolerancji grubości warstwy.



Rys. 18. Maksymalne odchyłki według PN-EN 1996-2 [4]: a) odchyłki w pionie, b) przesunięcie osi ściany.

5. Podsumowanie

Właściwy dobór kształtu i warunków podparcia ściany wypełniającej stanowi pierwszy etap projektowania tego typu konstrukcji. Wykorzystując stosowne normowe nomogramy, można łatwo i szybko ustalić grubość ściany, dokonać ewentualnych korekt w geometrii i ustalić warunki podparcia. Nie zwalnia to wcale projektanta konstrukcji z obliczeniowego (dokładnego) sprawdzenia warunków stanu granicznego nośności. Przytoczone przykłady połączenia ścian ze szkieletem wskazują, że nie

ma jednorodnych rozwiązań konstrukcyjnych, co wymusza pokazanie w projekcie budowlanym lub wykonawczym szczegółów konstrukcyjnych. Częsty brak w projektach rysunków pokazujących, jak powinno się wykonać te połączenia, należy uznać za błąd projektowy, który w konsekwencji prowadzi do błędów wykonawczych. Prawo Budowlane [15] wymaga, aby w projekcie podać wytyczne do planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, który opracować powinien kierownik budowy. Plan BIOZ powinien szczegółowo opisywać kolejność prac, sposób ich wykonywania oraz poziom bezpieczeństwa.

Literatura:

- [1] Jasiński R.: *Warunki konstruowania ścian wypełniających*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [2] Drobiec Ł.: *Zasady projektowania ścian wypełniających na podstawie norm europejskich*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [3] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla niezbrojonych i zbrojonych konstrukcji murowych*.
- [4] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych, Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów*.
- [5] Drobiec Ł.: *Problemy projektowania ścian wypełniających i osłonowych wg EC-6*. Materiały Budowlane, 1/2012, s. 92-96.
- [6] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: *Konstrukcje murowe. Według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [7] PN-B-03002:1999: *Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie*.
- [8] Instrukcja ITB nr 425/2006: *Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych. Część A: Roboty ziemne i konstrukcyjne. Zeszyt 3: Konstrukcje murowe*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2006.
- [9] PN-EN 13116:2004P: *Ściany osłonowe. Odporność na obciążenie wiatrem. Wymagania konstrukcyjne*.
- [10] PN-EN 845-3+A1:2008: *Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów, Część 3: Stalowe zbrojenie do spoin wspornych*.
- [11] PN-EN 13501-1+A1:2010P: *Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków, Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień*.
- [12] PN-EN 1996-1-2:2010/NA:2010P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe*.
- [13] PN-EN 13670:2011: *Wykonywanie konstrukcji z betonu*.
- [14] Lewicki B., Kubica J., Drobiec Ł., Gajownik R., Jarmontowicz R., Jasiński R., Kubiak D., Piekarczyk A., Sieczkowski J.: *Rozszerzenie podstaw naukowych ustaleń Eurokodu 6 „Projektowanie konstrukcji murowych”. Komentarz naukowo-badawczy do PN-EN 1996-1-1:2008, PN-EN 1996-2:2008 i PN-EN 1996-3:2008*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2008, tom 1 i tom 2.
- [15] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz.U. 1994, nr 89, poz. 414 z późniejszymi zmianami).
- [16] Runkiewicz L.: *Przyczyny zagrożeń bezpieczeństwa murowych konstrukcji w czasie eksploatacji*. Poradnik Inspektora Nadzoru, Kierownika Budowy i Inwestora 2013.

mgr inż. Lech Misiewicz
mgr inż. Tomasz Rybarczyk
SOLBET Spółka z o.o.

ŚCIANY DZIAŁOWE. WYMAGANIA I KRYTERIA OCENY

Ściany działowe, tak jak każdy inny element budynku, muszą spełniać określone wymagania. Zakres i wielkość tych wymagań wynika z odpowiednich przepisów i norm, może to być również dodatkowo określone przez inwestora lub użytkowników budynku.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z definicją podaną w normie PN-EN 1991-1-1 [1], ściana działowa jest elementem niekonstrukcyjnym i nie przenosi obciążeń, ale jednocześnie w innym punkcie tej normy podano obciążenia użytkowe, jakie mają przenieść ściany działowe lub ograniczające! Nieprecyzyjne i niejednoznaczne określanie i definiowanie pojęć i terminów może być przyczyną nie tylko nieporozumień, ale również błędów, na przykład przy interpretowaniu wymagań, jakie powinny spełniać poszczególne przegrody w budynku.

W opracowaniu [2] przedstawiono szerzej zagadnienie ścian wypełniających, do których zalicza się również ściany działowe. Ściany działowe są to ściany wewnętrzne dzielące przestrzeń, oddzielające pomieszczenia w obrębie jednego mieszkania, biura itp. W przypadku ścian działowych szczególnie istotna jest możliwość ich demontażu i usunięcia lub też ustawienia w innym miejscu bez obawy o bezpieczeństwo konstrukcji budynku. Pomimo swej nieistotnej roli w konstrukcji budynku ściany działowe mogą być poddane różnego rodzaju obciążeniom i oddziaływaniom, a także w określonych przypadkach muszą spełnić inne wymagania. Zakres tych wymagań związany jest z kategorią czy też klasą budynku oraz funkcją i lokalizacją ściany działowej. Często te wymagania wynikają nie tylko z odpowiednich przepisów, norm czy wytycznych, ale również z tradycji i zwyczajów w danym miejscu stosowania, czyli oczekiwań inwestorów i użytkowników.

Należy również pamiętać, że niezależnie od przeznaczenia i położenia, wszystkie ściany w budynku powinny być zawsze wykonane zgodnie ze sztuką budowlaną i wymaganiami odpowiednich norm. Powinny

spełniać, tak jak wszystkie inne elementy budynku, nie tylko wymagania bezpieczeństwa konstrukcji, ale również wszystkie pozostałe wymagania wynikające z wymagań podstawowych.

2. Zakres stosowania i podstawy określania wymagań dla ścian działowych

Ściany działowe są projektowane i wykonywane we wszystkich rodzajach budynków. To sprawia, że zakres wymagań, jakie mogą być im stawiane, jest stosunkowo duży. Zdarza się, że termin „ściana działowa” jest używany w odniesieniu do przegród, które z całą pewnością nimi nie są. Przykładem może być określanie ścian międzymieszkaniowych jako ścian działowych. W PN-EN 1991-1-1 [1] określono kategorie użytkowania powierzchni w budynkach w zależności od ich przeznaczenia (tablica 1). W ETAG 003 [3] do tych kategorii przyporządkowano kategorie określające sposób użytkowania (tablica 2).

Dla uporządkowania, na podstawie referatu [2], instrukcji ITB [4] oraz tradycji, można zaproponować ograniczenie ścian działowych do ścian spełniających następujące kryteria:

- Jest to wewnętrzna ściana wypełniająca.
- Występuje przeważnie w pomieszczeniach kategorii A, B oraz C1.
- Nie ma żadnych funkcji związanych z bezpieczeństwem konstrukcji budynku (np. usztywniających), dlatego w każdej chwili eksploatacji budynku może być rozebrana i usunięta lub też ustawiona w innym miejscu bez konieczności wzmacniania konstrukcji budynku.

Tablica 1. Kategorie użytkowania powierzchni w budynkach w zależności od ich przeznaczenia według PN-EN 1991-1-1 [1].

Kategoria	Rodzaj pomieszczeń lub powierzchni w budynku
A	Pomieszczenia w budynkach i domach mieszkalnych, pokoje i sale w szpitalach, pokoje w hotelach, kuchnie i toalety
B	Powierzchnie biurowe
C (od C1 do C5)	Pomieszczenia do zebrań, zgromadzeń itp., w których mogą gromadzić się ludzie (z wyłączeniem A, B i D) C1: Powierzchnie ze stołami itd., np. powierzchnie w szkołach, kawiarniach, restauracjach, stołówkach, czytelnich, recepcjach
D (D1, D2)	Powierzchnie handlowe
E (E1, E2)	Pomieszczenia do przechowywania towarów (magazyny, biblioteki, użytkowanie przemysłowe)

- Dzieli przestrzeń, oddziela pomieszczenia w obrębie jednego mieszkania, biura itp.
- Jej grubość nie przekracza zazwyczaj około 12 cm.
- Jej masa powierzchniowa nie przekracza 100 kg/m².

W instrukcji ITB [4], opracowanej na podstawie wytycznych do udzielania europejskich aprobat technicznych ETAG 003 [3] w wersji z 2005 r., podane zostały szczegółowe wymagania i kryteria oceny będące podstawą do udzielania europejskich lub krajowych aprobat technicznych dla lekkich nienośnych przegród budowlanych. W instrukcji ITB [4] zaznaczono, że może być ona również stosowana do ustalania obciążeń murowanych ścian działowych według Eurokodu 6 [5, 6, 7, 8] i spełniających wymagania PN-EN 1991-1-1 [1].

3. Ciężar własny ściany działowej

Ciężar własny ściany ma wpływ na możliwość jej dowolnego ustawiania na stropie bez konieczności wykonania jego wzmocnienia. Ma to duże znaczenie w trakcie użytkowania budynku, kiedy to ścianki

działowe są często wielokrotnie wyburzane i ponownie wykonywane w nowych miejscach. Norma PN-EN 1991-1-1 [1] zaleca, aby ciężar własny przestawnych ścian działowych był uwzględniany jako obciążenie równomiernie rozłożone q_k i dodawany do obciążeń użytkowych stropu (patrz tablica 3). Cięższe ściany działowe powinny być projektowane z uwzględnieniem ich położenia i kierunku usytuowania oraz rodzaju stropu.

4. Obciążenia ściany działowej

W instrukcji ITB [4] podano zasady przyjmowania obciążeń ścian działowych:

- odporność na uderzenia (w zakresie bezpieczeństwa i użytkowania),
- odporność na oddziaływania statyczne (obciążenia liniowe, powierzchniowe, mimośrodowe i skupione).

Na tej podstawie możliwa jest ocena techniczna rodzaju i technologii wykonania ścian działowych oraz określenie, do jakiej kategorii użytkowania mogą zostać dopuszczone.

Tablica 2. Związek pomiędzy kategoriami użytkowania powierzchni i sposobem użytkowania według ETAG 003 [3].

Kategorie ze względu na sposób użytkowania		Kategorie użytkowania powierzchni w budynkach ze względu na ich przeznaczenie
Kategoria	Opis	
I	Strefy dostępne głównie dla osób wykazujących dużą dbałość o mienie; małe ryzyko upadków i niewłaściwego użytkowania	A, B
II	Strefy dostępne głównie dla osób wykazujących umiarkowaną dbałość o mienie; średnie ryzyko wypadków i niewłaściwego użytkowania	
III	Strefy łatwo dostępne dla osób wykazujących niewielką dbałość o mienie; ryzyko wypadków i niewłaściwego użytkowania	C1 – C4, D, E
IV	Strefy i ryzyko jak podano w kategoriach II i III; w przypadku uszkodzenia istnieje ryzyko upadku na podłogę niższego piętra	A, B, C i E, gdzie ściana działowa pełni funkcję przegrody

Tablica 3. Obciążenie równomiernie rozłożone stropów od ścianek działowych.

Ciężar własny ściany działowej [kN/m]	Obciążenie równomiernie rozłożone q_k [kN/m ²]
$\leq 1,0$	0,50
$>1,0$ oraz $\leq 2,0$	0,80
$>2,0$ oraz $\leq 3,0$	1,20
$>3,0$	Należy projektować z uwzględnieniem położenia i kierunku usytuowania ściany

4.1. Odporność na uderzenia

Zgodnie z [4], odporność na uderzenia rozpatrywana jest w zakresach: bezpieczeństwa i użytkowania. Dla każdego z tych zakresów, w zależności od kategorii użytkowania, powinny być spełnione kryteria oceny stanowiące podstawę do klasyfikacji ścian. Zgodnie z ETAG 003 [3, 4], badania odporności na uderzenia powinny być przeprowadzone z użyciem ciała miękkiego-ciężkiego (50 kg) oraz twardego (0,5 kg lub 1 kg). W przypadku ścian działowych murowanych wykonuje się tylko uderzenia ciałem miękkim-ciężkim. Miejsce uderzenia powinno się znajdować

w odległości 150 mm od ościeżnicy drzwi. Kryteria zostały zestawione w tablicy 4.

Kryteria oceny odporności na uderzenia ciałem miękkim-ciężkim w zakresie bezpieczeństwa dla każdej z kategorii użytkowania:

- brak utraty stabilności konstrukcji (zawalenie się ściany),
- brak wyrwania elementów ściany.

Kryteria oceny odporności na uderzenia ciałem miękkim-ciężkim w zakresie bezpieczeństwa dla każdej z kategorii użytkowania:

- brak utraty funkcjonalności,
- maksymalne odkształcenie trwałe 5 mm,
- należy podać maksymalne ugięcie podczas uderzenia,

Tablica 4. Odporność na uderzenia. Zestawienie wymagań dla ścian działowych murowanych.

Kategoria użytkowania		Opis	Wysokość w stosunku do poziomu ruchu pieszego	Liczba uderzeń ciałem miękkim-ciężkim / energia uderzenia [Nm] Wymagania w zakresie:	
				bezpieczeństwa	użytkowania
I		Strefy dostępne głównie dla osób wykazujących dużą dbałość o mienie; małe ryzyko niewłaściwego użytkowania	≤ 1,5 m	1 / 100	3 / 60
II		Strefy dostępne głównie dla osób wykazujących umiarkowaną dbałość o mienie; średnie ryzyko wypadków i niewłaściwego użytkowania		1 / 200	3 / 120
III		Strefy dostępne głównie dla osób wykazujących niewielką dbałość o mienie; ryzyko wypadków i niewłaściwego użytkowania		1 / 300	3 / 120
IV	a	Strefy i ryzyko, jak dla kategorii III; w przypadku uszkodzenia istnieje ryzyko upadku na podłogę z niższego piętra (b – dotyczy ścian działowych o szczególnym przeznaczeniu)		1 / 400	3 / 120
	b		1 / 500		

- systematycznie zmniejszające się odkształcenie trwałe,
- w przypadku uszkodzenia – możliwość naprawy bez konieczności przerywania eksploatacji,
- możliwe jest nadal otwieranie drzwi.

4.2. Odporność na oddziaływania statyczne

4.2.1. Obciążenia liniowe

Pomimo że ścianka działowa nie jest elementem konstrukcji budynku, to w zależności od rodzaju i funkcji przylegających do niej pomieszczeń powinna przenosić odpowiednie obciążenia i odkształcenia. W PN-EN 1991-1-1 [1] określono, że dla powierzchni kategorii A, B oraz C1 wartości charakterystyczne obciążenia liniowego g_k , przyłożonego na wysokości ścian działowych nie wyższej niż 1,2 m (od poziomu ruchu pieszego), były przyjmowane z przedziału od 0,2 kN/m do 1,0 kN/m, przy czym zalecana wartość to 0,5 kN/m.

W tablicy 5 przyporządkowano, zgodnie z EN 1991-1-1 [1] oraz na podstawie [4], wartości obciążeń liniowych do kategorii powierzchni.

4.2.2. Obciążenia powierzchniowe

Wartości obciążenia równomiernie rozłożonego nie są bezpośrednio związane z kategoriami pomieszczeń. Odnoszą się do lokalizacji obiektu, w którym będą znajdować się ściany. Wartości te powinny być

wyznaczane jako ciśnienie wiatru działające na powierzchnie wewnętrzne, zgodnie z PN-EN 1991-4 [11].

4.2.3. Obciążenia mimośrodowe

Pionowe obciążenia mimośrodowe klasyfikuje się w dwóch zakresach:

- ciężkie przedmioty (np. półki, umywalki i małe regały),
- bardzo ciężkie przedmioty (np. zbiorniki, duże regały itp.).

Wysokość zawieszania ciężkich przedmiotów (wyposażenie łazienki, kotłowni, kuchni itp.) należy określać na podstawie odpowiednich warunków technicznych. Wartości obciążeń zestawiono w tablicy 6.

4.2.4. Obciążenia punktowe

Obciążenia punktowe odwzorowują miejsca zamocowania kołków do zawieszania niewielkich przedmiotów (np. obrazów). Obciążenia punktowe mogą być prostopadłe i równoległe do powierzchni ściany. Wartości tych obciążeń wynoszą: 100 N (w kierunku prostopadłym) oraz 250 N (w kierunku równoległym). Obciążenia nie występują równocześnie.

5. Właściwości odkształceniowe

W normie PN-EN 1996-1-1 [5] określono przedziały zmian wartości właściwości odkształceniowych muru: końcową wartość współczynnika pełzania, długotrwałą rozszerzalność pod wpływem wilgoci lub skurcz oraz

Tablica 5. Wartości charakterystyczne obciążeń liniowych ścian działowych i ograniczających przyporządkowane do kategorii powierzchni w budynkach [1, 4].

Kategoria powierzchni	Charakterystyczne obciążenie liniowe q_k według [4] i zalecane w [1] [kN/m]	Przedział wartości obciążeń q_k według [1] [kN/m]
A, B i C1	0,5	$\geq 0,2$ oraz $\leq 1,0$
C2 do C4 i D	1,0	$\geq 0,8$ oraz $\leq 1,0$
C5	3,0	$\geq 3,0$ oraz $\leq 5,0$
E	2,0	$\geq 0,8$ oraz $\leq 2,0$

Tablica 6. Wartości obciążeń mimośrodowych [3].

Klasa obciążenia	Rodzaj sprawdzenia	Wartość obciążenia mimośrodowego [N]
A	Użytkowność	500
B		2000
A	Nośność	1000
b		4000

współczynnik liniowej odkształcalności termicznej. W przypadku ścian działowych najistotniejsza jest wartość skurczu. Na podstawie doświadczeń i badań [12] można określić, że wartość skurczu związanego z wysychaniem elementów murowych stosowanych w ścianach działowych na cienkich spoinach nie powinna przekraczać 0,25 mm/m.

6. Bezpieczeństwo pożarowe

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury [9], ściany wewnętrzne niebędące częścią głównej konstrukcji nośnej, w zależności od klasy pożarowej budynku, powinny spełniać wymagania podane w tablicy 7.

Z zapisów rozporządzenia wynika, że przy spełnieniu odpowiednich warunków wymagania te mogą być o jedną klasę obniżone i że nie dotyczą np. budynków mieszkalnych jednorodzinnych. Szczegółowe wymagania dla wszystkich rodzajów budynków podane są w rozporządzeniu [9].

7. Higiena i zdrowie

Materiały, z których wykonuje się ściany działowe, powinny być odporne lub uodpornione na zagrzybienie lub inne formy biodegradacji. Należy liczyć się z tym, że w trakcie użytkowania w pomieszczeniach wilgotnych (łazienki, pralnie, kuchnie) ściany mogą być narażone na zawilgocenie. Pod tym względem korzystniejsze są takie technologie wykonywania, które nie wymagają dużych ilości wody, a później odpowiedniego czasu do jej usunięcia. Jest to ważne w przypadku ścian działowych, które są najczęściej wykonywane w zamkniętych pomieszczeniach, w których możliwość szybkiego wysychania jest bardzo ograniczona. Szczegółowe znaczenie ma to w przypadku remontów i przebudów w istniejących już pomieszczeniach.

8. Ochrona przed hałasem

Ściany działowe w obrębie jednego mieszkania czy też w budynku jednorodzinnym rozdzielają pomieszczenia pod względem użytkowym, ale ich wpływ na skuteczną ochronę przed hałasem pomiędzy rozdzielanymi pomieszczeniami jest znacznie ograniczony. Wynika to głównie ze znacznie słabszej izolacyjności akustycznej drzwi wewnętrznych stosowanych w mieszkaniach. W tej sytuacji wraz ze wzrostem parametrów akustycznych samej ściany powinno się również stosować drzwi o podwyższonych parametrach akustycznych. Jednocześnie należy tak projektować układy pomieszczeń i wejścia do nich, aby w maksymalnym stopniu ograniczyć przenoszenie dźwięków drogami pośrednimi.

Wymagania izolacyjności akustycznej przegród w budynkach określone są w normie PN-B-02151-3 [10]. W 2014 r. należy się spodziewać nowelizacji tej normy i zwiększenia wymagań izolacyjności akustycznej. W tablicy 8 zestawiono wymagania dotyczące ścian działowych w budynkach mieszkalnych.

9. Izolacyjność cieplna

Ściany działowe znajdują się przeważnie w obrębie jednego mieszkania czy też innego rodzaju przestrzeni w budynku, w której wszystkie pomieszczenia są ogrzewane. Jeżeli jednak ściana działowa oddziela pomieszczenie ogrzewane (na przykład pokój na poddaszu) od pomieszczenia nieogrzewanego (na przykład nieogrzewana część poddasza), to powinna ona, zgodnie z rozporządzeniem [9], spełniać wymagania ochrony cieplnej. Ściany wewnętrzne pomiędzy pomieszczeniami, dla których różnica temperatur $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$, powinny charakteryzować się współczynnikiem przenikania ciepła $U_c \leq 1,00 \text{ [W / (m}^2 \cdot \text{K)]}$.

Tablica 7. Wymagane klasy odporności ogniowej dla ścian wewnętrznych niebędących częścią głównej konstrukcji nośnej, w zależności od klasy pożarowej budynków [9].

Budynek:		Klasa odporności pożarowej budynku	Wymagana klasa odporności ogniowej ścian wewnętrznych niebędących częścią głównej konstrukcji nośnej budynku
biurowy (kategoria zagrożenia ludzi ZL III)	mieszkalny (kategoria zagrożenia ludzi ZL IV)		
wysokościowy	(-)	A	EI 60
wysoki i średniowysoki	wysokościowy i wysoki	B	EI 30
niski	średniowysoki	C	EI 15
(-)	niski	D	(-)
(-)	(-)	E	(-)

Tablica 8. Wymagana izolacyjność akustyczna R'_{At} dla ścian działowych według PN-B-02151-3 [10]. W nawiasach podano wartości znajdujące się w projekcie nowelizacji normy.

Rodzaj budynku mieszkalnego	Funkcje pomieszczeń rozdzielonych przegrodą		Minimalna wymagana izolacyjność akustyczna R'_{At} [dB]
wielorodzinny	pokój	wszystkie pomieszczenia w tym samym mieszkaniu poza pomieszczeniami sanitarnymi	30 – 35 (35)
		pomieszczenia sanitarne w tym samym mieszkaniu	35 (38)
jednorodzinny	pokój	pokój	30 (35)
		pomieszczenia sanitarne	35 (38)
biurowy	pokój	pokój	35 (35 – 40)
		korytarz	35 (35 – 40)

10. Podsumowanie

Ściany działowe są tymi elementami budynku, które nie mają wpływu na bezpieczeństwo konstrukcji. Z tego powodu przy projektowaniu i wykonawstwie poświęca się im bardzo niewiele czasu i uwagi. Najczęściej ich znaczenie można dostrzec dopiero podczas użytkowania budynku. Wówczas sprawiają użytkownikom problemy związane głównie z ich rysoodpornością i sztywnością. Dodatkowo, szczególnie w nowych budynkach wielorodzinnych, zmiana aranżacji mieszkań powoduje zmianę lokalizacji nawet 50% ścian działowych. Dlatego do najważniejszych kryteriów oceny ich przydatności należy jeszcze zaliczyć ich ciężar własny. Jeżeli ciężar ściany przekracza 3,0 kN/m, to jej położenie i kierunek usytuowania muszą być dokładnie określone, a ewentualne przestawianie wymaga każdorazowego zaangażowania projektanta. Dlatego trudno jest takie ciężkie ściany zaliczyć do ścian działowych.

Użytkownicy mieszkań są dzisiaj przyzwyczajeni do mocowania na ścianach znacznych, nietypowych obciążeń, zdarza się, że ścianki są ustawiane na środku pomieszczeń i mają duże otwory. Często próbuje się w cienkich ściankach ukryć instalacje, co wiąże się z koniecznością wykonania bruzd. Przy spełnianiu wymagań ochrony pożarowej czy ochrony przed hałasem bardzo istotne jest prawidłowe wykonanie uszczelnienia szczeliny podstropowej. W takich przypadkach konieczne jest zaangażowanie odpowiedniego specjalisty konstruktora czy akustyka budowlanego.

Niezależnie od tego, jakie wymagania wynikają i obowiązują na podstawie odpowiednich aktów prawnych (norm, rozporządzeń, instrukcji itp.), szczególnie w przypadku ścian działowych, ważne jest uzgodnienie ostatecznych szczegółowych wymagań pomiędzy inwestorem i projektantem.

Literatura:

- [1] PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2009P, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [2] Drobiec Ł., Misiewicz L.: Ściany wypełniające. Zakres stosowania, doświadczenia, zalety i wady. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [3] ETAG 003 Guideline for European Technical Approval for internal partition kits for use as non-loadbearing walls (Zestawy wyrobów do wykonywania ścian działowych). EOTA, 2012.
- [4] Piekarczyk A.: Instrukcja ITB nr 470/2012 Lekkie nienośne przegrody budowlane. Wymagania i cechy wytrzymałościowe. ITB. Warszawa 2012.
- [5] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [6] PN-EN 1996-1-2:2010/AC:2011P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [7] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.
- [8] PN-EN 1996-3:2010P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 3: Uprozczone metody obliczania murowych konstrukcji niezbrojonych.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. z 2002 nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami – ostatnia: Dz.U. z 2013, poz. 926.
- [10] PN-B-02151-3:1999: Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania.
- [11] PN-EN 1991-1-4:2008, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- [12] Brameshuber W., Schubert P., Schmidt U., Hannawald J.: Rissfreie Wandlänge von Porenbeton-Maurewerk. Mauerwerk, vol. 10., nr 4, 2006, s. 132 – 139.

mgr inż. Lech Misiewicz
mgr inż. Tomasz Rybarczyk
SOLBET Sp. z o.o.

BADANIA ŚCIAN DZIAŁOWYCH Z AUTOKLAWIZOWANEGO BETONU KOMÓRKOWEGO

W ramach przygotowań do wprowadzenia systemów ścian działowych firma SOLBET przeprowadziła szereg badań. Na podstawie tych badań określono właściwości nowych systemów i zaproponowano szczegółowe rozwiązania konstrukcyjne. Dla potwierdzenia prawidłowości rozwiązań i ich właściwości użytkowych zostały wykonane oficjalne badania w Instytucie Techniki Budowlanej oraz w Centrum Badań Betonów CEBET Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych. Wyniki tych badań potwierdziły wcześniejsze założenia oraz ustalenia i były podstawą do wydania Aprobaty Technicznej na system ścian działowych SOLBET SMART oraz przyjęcia parametrów wytrzymałościowych systemu ścian działowych SOLBET OPTIMAL.

1. Badania w Instytucie Techniki Budowlanej

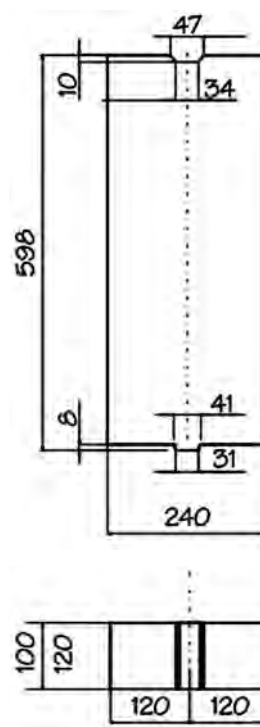
W celu określenia właściwości użytkowych ścian działowych wykonywanych z elementów murowych – bloczków SOLBET, łączonych za pomocą kleju poliuretanowego SOLBET SMART, przeprowadzono w Zakładzie Konstrukcji i Elementów Budowlanych Instytutu Techniki Budowlanej szereg badań. Program badań obejmował sprawdzenie wyrobów systemu SOLBET SMART, czyli elementów murowych z betonu komórkowego i kleju poliuretanowego oraz modelu ściany działowej w skali 1:1.

Oprócz przebadania konstrukcji, przeprowadzono również badania w Laboratorium Zakładu Badań Ogniwych Instytutu Techniki Budowlanej w celu określenia klasyfikacji ogniowej ścian działowych wykonanych w systemie SOLBET SMART.

1.1. Badania elementów murowych

Badania sprawdzające parametry bloczków SOLBET polegały na określeniu ich klasy gęstości oraz wytrzymałości na ściskanie. Przebadano bloczki SOLBET o wymiarach 100x240x590 mm, z profilowanymi powierzchniami

czołowymi na zamek (typ Z) o klasie gęstości 600 kg/m³ oraz wytrzymałości na ściskanie 3 MPa. Kształt i profilowanie powierzchni czołowych pokazano na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Element murowy – bloczek SOLBET – do ścian działowych.



Rys. 2. Błoczek SOLBET – widok z dwóch stron.

1.2. Badania kleju poliuretanowego SOLBET SMART

Badaniom sprawdzającym poddano również właściwości kleju SOLBET SMART. Celem badań było określenie przydatności kleju poliuretanowego SOLBET SMART do klejenia elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego SOLBET.

Połączenie elementów murowych z betonu komórkowego za pomocą kleju charakteryzowało się dużą przyczepnością. Na uwagę zasługuje bardzo krótki czas wiązania, który może być zaletą, ale również wadą dla wykonawców. Z jednej strony szybkie wiązanie umożliwia szybkie prowadzenie prac. Po związaniu kleju można rozpocząć roboty wykończeniowe na powierzchni wykonanych ścian. Z drugiej strony, krótki czas wiązania kleju powoduje, że po około

5 minutach od nałożenia kleju nie można dokonywać korekt ustawienia elementów murowych. Jeżeli takowe są konieczne, to elementy należy odspoić, oczyścić i ponownie skleić.

Osiągnięte wyniki przedstawiono w raporcie ITB [2].

1.3. Badania wytrzymałości ściany na zginanie

Do badań przygotowano 3 elementy próbne/ścianki o wysokości 8 warstw, długości 2 elementów murowych oraz 3 elementy próbne/ścianki wysokości 4 warstw, długości 4 elementów murowych. Wszystkie elementy próbne/ścianki miały szerokość równą grubości elementu murowego i były wymurowane w wiązaniu z wypełnionymi spoinami pionowymi. Spoiny wsporne wykonano w postaci dwóch pasm równoległych do lica ścianki.

W wyniku badań uzyskano bardzo dobre wyniki. Zanotowano też dużą powtarzalność wyników, co świadczy o tym, że ściany zachowują jednorodność parametrów.

Na podstawie tych badań określono charakterystyczne wartości wytrzymałości muru na rozciąganie przy zginaniu dla zniszczenia:

- w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych:

$$f_{xkl} = 0,44 \frac{N}{mm^2}$$



Rys. 3. Kleje SOLBET SMART z dozownikiem wężykowym oraz z dozownikiem do nakręcenia na pistolet.



Rys. 4. Mur badany na zginanie.

- w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych:

$$f_{xk\perp} = 0,43 \frac{N}{mm^2}$$

Wyniki badań przedstawiono w raporcie ITB [1].

1.4 Badania odporności ściany SOLBET SMART na uderzenia i oddziaływania statyczne

Badania zostały wykonane zgodnie z ETAG 003 [4, 5, 11]. Przedmiotem oceny była ściana działowa wykonana w systemie SOLBET SMART o grubości 100 mm, wykonana z bloczków SOLBET w klasie gęstości 500 kg/m³ oraz w klasie wytrzymałości 2,5. Jest to rozwiązanie reprezentatywne w postaci „najsłabszej wersji” wykonania ściany działowej w systemie SOLBET SMART.

Model badawczy wyglądał następująco: wysokość ściany: 3,5 m, długość ściany: 4,5 m, grubość ściany: 10 cm, jedna boczna krawędź ściany była połączona z ramą za pomocą łączników stalowych mocowanych w co trzeciej warstwie, druga krawędź pozostawała swobodna. W ścianie wykonano otwór drzwiowy, przesklepiony nadprożem SOLBET i wstawiono ościeżnicę wraz ze skrzydłem drzwiowym. Górna krawędź badanej ściany nie została zamocowana do ramy

stanowiska badawczego, a szczelinę pomiędzy ścianą i ramą wypełniono pianą SOUDAL Flexifoam.

Celem badania była ocena:

- odporności na działanie obciążenia liniowego,
- odporności na obciążenia mimośrodowe (możliwość zamocowania półki),
- odporności na uderzenia ciałem miękkim-ciężkim – w zakresie eksploatacyjnym,
- odporności na uderzenie ciałem miękkim-ciężkim – w zakresie przydatności użytkowania.

Badania oraz wyniki badań przedstawiono w raporcie ITB [3].

1.4.1. Odporność na działanie obciążenia liniowego

Badania przeprowadzono zgodnie z ETAG 003 [4]. Ściana podczas badania była obciążana siłami poziomymi o wartości 1000 N oraz 2000 N. Maksymalne ugięcie ściany nie przekroczyło wartości 4,0 mm, przy 3 krawędziach zamocowanych mechanicznie. Kolejne badanie przeprowadzono dla ściany z jedną krawędzią pionową swobodną, obciążonej 2000 N. Obciążenie to spowodowało pęknięcia elementów murowych.

Na tej podstawie określono, że ściana w zakresie odporności na obciążenia liniowe spełnia wymagania określone dla IV kategorii użytkowania wg Instrukcji ITB [5] przy 3 krawędziach zamocowanych mechanicznie.



Rys. 5. Model badawczy ściany.



Rys. 6. Obciążenie półką – obciążenie mimośrodowe 500 N.



Rys. 7. Obciążenie półką – obciążenie mimośrodowe 1000 N.

1.4.2. Odporność na obciążenie mimośrodowe

Do badanej ściany (opisanej wyżej) przymocowano stelaż imitujący półkę o szerokości 300 mm. Do jej krawędzi, w odległości 300 mm od ściany, przyłożone zostało obciążenie o wartości 500 N, działające przez 15 minut oraz obciążenie o wartości 1000 N, pozostawione na 24 godziny. Stelaż został zamocowany czterema kotwami rozporowymi. Obciążenie nie spowodowało żadnych uszkodzeń ściany. Zmierzone ugięcie ściany pod obciążeniem 1000 N było praktycznie niezauważalne.

Na podstawie tych wyników dopuszcza się mocowanie do ściany SOLBET SMART ciężkich przedmiotów, takich jak półki, umywalki i małe regały. Do mocowania należy stosować odpowiednie kotwy przeznaczone do betonu komórkowego. Mocowanie może być wykonane w każdym punkcie ściany.

1.4.3. Odporność na uderzenia ciałem miękkim-ciężkim

Badany fragment ściany uderzany był tzw. ciałem miękkim-ciężkim o masie 50 kg. Badanie przeprowadzono w zakresie eksploatacyjnym oraz w zakresie przydatności użytkowania. Uderzenia o ścianę realizowano z energią 120 Nm i 400 Nm, co odpowiada IV kategorii użytkowania. Nie stwierdzono żadnych uszkodzeń spowodowanych uderzeniami.

Metoda badania ściany była zgodna z ETAG 003 [4]. Badano dwa warianty ściany:

- zamocowanej mechanicznie na trzech krawędziach, krawędź górna była swobodna,
- zamocowanej mechanicznie na dwóch krawędziach, krawędzie górna i pionowa były swobodne.



Rys. 8. Uderzenie ciałem miękkim-ciężkim.

W trakcie badań zauważono, że ściana zachowuje się bardzo stabilnie. Błoczki SOLBET połączone klejem poliuretanowym tworzą monolityczną tarczę, która stwarza wrażenie, jakby była wylana w całości z betonu komórkowego.

1.4.4. Odporność na obciążenia mimośrodowe

Dodatkowym badaniem było sprawdzenie odporności na obciążenia mimośrodowe. Do ściany, za pomocą kleju SOLBET SMART, został przyklejony jeden bloczek SOLBET o wymiarach 590x240x100 mm. Na jego boczną powierzchnię ($0,059 \text{ m}^2$) naniesiono klej i przystawiono do ściany, opierając tymczasowo na bloczku, który służył jako podparcie montażowe na czas wiązania kleju. Po związaniu kleju (po około 1 godzinie) podparcie usunięto. Na tak powstałej półce ustawiono obciążniki o łącznej masie 100 kg i pozostawiono na 24 godziny. Obciążenie nie spowodowało żadnych uszkodzeń.

Kolejną próbą było sprawdzenie, przy jakim obciążeniu nastąpi oderwanie półki. Przyklejoną półkę, która wcześniej była obciążona masą 100 kg przez 24 godziny, obciążano obciążnikami, dokładając po 25 kg. Półka uległa oderwaniu dopiero po ułożeniu na jej powierzchni obciążenia 300 kg w wyniku zniszczenia struktury betonu komórkowego (rys. 11). Zniszczenie nastąpiło nagle bez wcześniejszego „ostrzeżenia”.

1.4.5. Wnioski

Podczas wszystkich badań można było zauważyć, że ściana działowa SOLBET SMART zachowuje się elastycznie, a elementy murowe sklejone za pomocą kleju poliuretanowego SOLBET SMART stanowią mocne połączenie. Ściana wykonana w ten sposób tworzy odporną na uderzenia tarczę. Tę właściwość muru zauważono już wcześniej podczas badań przeprowadzonych we własnym zakresie w firmie SOLBET.

Na podstawie badań przeprowadzonych w laboratoriach ITB określono obszar zastosowania systemu SOLBET SMART do wykonywania ścian działowych.

System SOLBET SMART można stosować do budowy ścian w pomieszczeniach kategorii C oraz kategorii III użytkowania pomieszczeń (pomieszczenia do zebrań i zgromadzeń oraz w strefach dostępnych dla osób wykazujących niewielką dbałość o mienie).

Na podstawie osiągniętych wyników badań Instytut Techniki Budowlanej wydał Aprobatę Techniczną [6].



Rys. 9. Obciążenie mimośrodowe (24 godziny).



Rys. 10. Próba obciążenia obciążnikami o masie 300 kg. Przy tym obciążeniu półka została oderwana.



Rys. 11. Powierzchnia oderwanego bloczka.

1.5. Badania klasy odporności ogniowej bloczków

Badanym elementem była ściana nienośna o wymiarach: 3330x3110x100 mm (szerokość x wysokość x grubość), wykonana z elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego w systemie SOLBET SMART. Do wykonania ściany zastosowano elementy murowe o wymiarach: 590x240x100 mm



Fot. 12. Wygląd ściany po 240 minutach badania.

(długość x wysokość x szerokość), z profilowanymi powierzchniami czołowymi typu Z, gęstości 600 kg/m^3 i wytrzymałości na ściskanie 3 N/mm^2 . Ściana została wymurowana z pełnymi spoinami poziomymi i pionowymi (grubości od $0,5$ do $1,0 \text{ mm}$) przy użyciu kleju poliuretanowego SOLBET SMART. Badana ściana nie była otynkowana.

Badanie trwało 240 minut i 30 sekund. Zarejestrowano po tym czasie średni przyrost temperatury, w stosunku do temperatury otoczenia, na powierzchni nienagrzewanej wyniósł 75°C . Natomiast maksymalny przyrost temperatury wyniósł 84°C . Do końca badania element nie osiągnął stanu granicznego szczelności oraz izolacyjności ogniowej. Ściana pod wpływem działania wysokiej temperatury i ognia zachowywała swoją stabilność. W wyniku tego określono klasyfikację w zakresie odporności ogniowej ścian działowych z bloczków autoklawizowanego betonu komórkowego w systemie SOLBET SMART.

Ściany z bloczków autoklawizowanego betonu komórkowego w systemie SOLBET SMART, wykonane za pomocą kleju poliuretanowego SOLBET SMART, mają klasę odporności ogniowej EI 240 (według normy PN-EN 13501-2) [7].

Podana klasyfikacja dotyczy ścian nienośnych wykonanych w systemie SOLBET SMART o grubości 100 mm lub 120 mm i wysokości maksymalnej $4,00 \text{ m}$. Klasyfikacja dotyczy zarówno ścian nieotynkowanych, jak i otynkowanych. Potwierdza to fakt, że beton komórkowy zachowuje się bardzo dobrze, stabilnie i przewidywalnie pod wpływem działania ognia i wysokich temperatur. Beton komórkowy jest bardzo dobrym materiałem do zastosowań w pasywnych systemach zabezpieczeń budynków i budowl przed pożarami.

2. Badania murów w CENTRUM BADAŃ BETONÓW – CEBET

W Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych – CENTRUM BADAŃ BETONÓW – CEBET w Warszawie wykonano cykl badań wytrzymałości na zginanie murów wykonywanych z zestawów z elementów murowych SOLBET oraz zapraw murarskich do cienkich spoin SOLBET o.1. Badane były mury wykonane z elementów murowych o różnych klasach gęstości i wytrzymałości. Badania wykonano wg PN-EN 1052-2 [9] i na ich podstawie określono charakterystyczne wartości wytrzymałości muru na zginanie (rozciąganie przy zginaniu) w kierunku prostym i w kierunku równoległym do spoiny.

Wyniki badań przedstawiono w raporcie Laboratorium Badawczego Centrum Badań Betonów – CEBET [10].

Uzyskane wyniki są kilkakrotnie wyższe od tych wytrzymałości na zginanie (rozciąganie przy zginaniu), jakie zamieszczone są w PN-EN 1996-1-1 [8] dla murów wykonanych z dowolnych/nieustalonych zapraw cienkowarstwowych. Dla murów wykonanych z bloczków SOLBET o średniej gęstości 380 kg/m^3 oraz średniej wytrzymałości na ściskanie $2,3 \text{ N/mm}^2$, na zaprawie do cienkich spoin SOLBET o.1, charakterystyczne wartości wytrzymałości muru na rozciąganie przy zginaniu (w nawiasach wartości obliczone wg PN-EN 1996-1-1) dla zniszczenia:

- w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych:

$$f_{xkl} = 0,23 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (0,07 \text{ N/mm}^2)$$



Rys. 13. Wygląd modelu badawczego do badań muru na zginanie (rozciąganie przy zginaniu).

- w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych ze spoinami pionowymi niewypełnionymi zaprawą:

$$f_{xk\perp} = 0,14 \frac{N}{mm^2} \quad (0,05 \text{ N/mm}^2)$$

- w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych ze spoinami pionowymi wypełnionymi zaprawą:

$$f_{xk\perp} = 0,21 \frac{N}{mm^2} \quad (0,07 \text{ N/mm}^2).$$

Powyższe parametry można przyjmować do obliczeń wytrzymałości murów na zginanie, przy założeniu, że zastosowany będzie zestaw wyrobów: bloczków SOLBET oraz zapraw do cienkich spoin SOLBET o.1 lub SOLBET o.2.

3. Badania własne w laboratorium firmy SOLBET

Oprócz badań wykonywanych w akredytowanych laboratoriach, w firmie SOLBET prowadzone są również badania murów we własnym zakresie.

W firmowym laboratorium badane są nie tylko parametry produkowanych wyrobów z betonu komórkowego i chemii budowlanej, ale również ściany w skali 1:1 (rys. 15–19).

Próby własne pozwalają uzyskać odpowiedzi na wiele pytań związanych z zachowaniem się konstrukcji murowych w wyniku różnych oddziaływań – np. odkształceń podłoża czy też oddziaływania różnego rodzaju obciążeń. Można też wykonać badania rozwiązań polepszających zachowanie się konstrukcji murowej. To z kolei stanowi znakomity materiał do opracowania wytycznych projektowych i wykonawczych. Zdobywana w ten sposób wiedza pomaga nie tylko poprawiać istniejące rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne, ale jest także bardzo dobrą podstawą do szukania i wdrażania nowych innowacyjnych pomysłów.



Rys. 14. Wygląd modeli badawczych do badań wytrzymałości muru na zginanie (rozciąganie przy zginaniu).



Rys. 15. Badanie ściany na podatnych i odkształcalnych podłożach.



Rys. 16. Badanie wewnętrzne – uderzenie ciałem miękkim-ciężkim.



Rys. 17. Próby własne bloczków połączonych za pomocą kleju poliuretanowego SOLBET SMART.



Rys. 18. Próby własne.

4. Obecnie prowadzone prace badawcze

W lipcu 2013 r. zawarto porozumienie o współpracy pomiędzy firmą SOLBET a Politechniką Śląską w zakresie badań murów z autoklawizowanego betonu komórkowego. Program planowanych do końca 2017 r. badań obejmuje kompleksową analizę wytrzymałościową modeli ścian w skali naturalnej. Podjęte przedsięwzięcie to bardzo szeroki i rozbudowany cykl badań murów z betonu komórkowego. W ten sposób chcemy pogłębić wiedzę o zachowaniu się murów w złożonym stanie obciążenia i jednocześnie przyczynić się do rozwoju konstrukcji murowych z betonu komórkowego.



Rys. 19. Próby obciążenia mimośrodowego bloczków przyklejonych za pomocą kleju poliuretanowego.

Literatura:

- [1] LK02-2360/12/Z00NK: Raport z badań wykonanych w Laboratorium Konstrukcji i Elementów Budowlanych ITB. Badania ściany. Warszawa 2013
- [2] LK01-2360/12/Z00NK: Raport z badań wykonanych w Laboratorium Konstrukcji i Elementów Budowlanych ITB. Badania materiałowe. Warszawa 2013
- [3] 2360/12/Z00NK: Raport z badań wykonanych w Laboratorium Konstrukcji i Elementów Budowlanych ITB. Praca Badawcza dotycząca kleju poliuretanowego przeznaczonego do tążenia bloczków z betonu komórkowego w ścianach działowych i elementach aranżacji wnętrz. Badania mechaniczne ściany wewnętrznej. Warszawa 2013
- [4] ETAG 003: Guideline for European Technical Approval for internal partition kits for use as non-loadbearing walls (Zestawy wyrobów do wykonywania ścian działowych). EOTA, 2012.
- [5] Piekarczyk A.: Instrukcja ITB nr 470/2012, Lekkie nienośne przegrody budowlane. Wymagania i cechy wytrzymałościowe. ITB. Warszawa 2012.
- [6] Aprobata Techniczna ITB AT-15-9080/2013: Klej poliuretanowy do ścian działowych do betonu komórkowego.
- [7] PN-EN 13501-2+A1:2010P: Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków -- Część 2: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej
- [8] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [9] PN-EN 1052-2:2001: Metody badania murów. Określenie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu.
- [10] Raport nr 49/TBL/13 z badań elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego. Badania zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 1052-2:2001, Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu.
- [11] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Ściany działowe. Wymagania i kryteria oceny. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.

mgr inż. Lech Misiewicz
mgr inż. Tomasz Rybarczyk
SOLBET Sp. z o.o.

WŁAŚCIWOŚCI MUROWANYCH ŚCIAN DZIAŁOWYCH Z AUTOKLAWIZOWANEGO BETONU KOMÓRKOWEGO

Właściwości ścian murowanych określone są na podstawie odpowiednich przepisów (norm, instrukcji) lub na podstawie badań. Wyroby z jednej grupy produktowej produkowane przez różnych producentów i w różnych zakładach różnią się od siebie. Te różnice są jeszcze wyraźniejsze, jeżeli porównujemy ze sobą zestawy, czyli na przykład mury – połączenie elementów murowych i zaprawy. Dlatego czołowi producenci decydują się na dodatkowe badania swoich wyrobów. W ten sposób dają do dyspozycji projektantom, a w konsekwencji i użytkownikom wyroby i elementy budynków o lepszych właściwościach, niż to wynika z przepisów i norm. Oczywiście badania te powinny być wykonane przez laboratoria mające oprócz odpowiednich akredytacji i notyfikacji także odpowiednie doświadczenie i autorytet. Firma SOLBET jest nie tylko największym w Polsce producentem autoklawizowanego betonu komórkowego, ale również producentem chemii budowlanej, w tym również i zapraw murarskich. Przygotowując się do wprowadzenia systemów SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART, przeprowadzono cały szereg badań, najpierw we własnym zakresie, a później w różnych renomowanych ośrodkach badawczych. Wyniki tych badań potwierdziły znacznie lepsze niż normowe właściwości wyrobów i budowanych z nich ścian.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z obowiązującym od 1 lipca 2013 r. Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011 (CPR) [1], producenci wyrobów budowlanych mają obowiązek deklarować te właściwości użytkowe swoich wyrobów, które zgodnie z przewidzianym zastosowaniem mają wpływ na spełnienie wymagań podstawowych. Zestawienie zasadniczych właściwości, które należy deklarować w przypadku elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego, zawarte jest w normie zharmonizowanej PN-EN 771-4 [2]. W referacie [3] przedstawiono wyroby wchodzące w skład systemów ścian działowych SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART oraz ich właściwości użytkowe. Oprócz informacji dotyczących poszczególnych wyrobów, projektant powinien również otrzymać informacje o właściwościach wykonanych z tych wyrobów zestawów (np. ścian). W przypadku konstrukcji murowych właściwości ścian można określić na podstawie norm [4, 5] lub na podstawie wyników badań przeprowadzonych przez

odpowiednie laboratoria badawcze. Właściwości zamieszczone w normach, ze względów oczywistych, dotyczą najłagodniejszych i najgorszych wyrobów. Jeżeli podczas prac projektowych nie ma innych wiarygodnych informacji, projektant powinien wykorzystywać te, które są zawarte w normach. Część producentów mając świadomość tego, że ich wyroby i wykonane z nich elementy budynku mają lepsze właściwości niż te określone na podstawie norm, wykonuje odpowiednie badania. Wyniki tych badań mogą być wykorzystane podczas prac projektowych.

2. Bezpieczeństwo konstrukcji

W referacie [6] szerzej omówiono definicje ścian wypełniających, w tym również ścian działowych. Ściany działowe, pomimo że pełnią głównie funkcje rozdzielające, mogą być poddane obciążeniom od zawieszonych na nich przedmiotów, ale też – w zależności od kategorii powierzchni, obciążeniem poziomym zgodnie z normą PN-EN 1991-1-1 [7]. Temat ten został omówiony

w referacie [8]. Podstawowymi obciążeniami, jakie działają na ściany działowe, są obciążenia poziome i momenty zginające. Nośność na obciążenie działające prostopadłe do powierzchni ściany zależy głównie od jej wytrzymałości na zginanie, a w dalszej kolejności na ścinanie. Wytrzymałość na ściskanie w przypadku ścian działowych nie odgrywa znaczącej roli.

2.1. Wytrzymałość na zginanie

Wytrzymałość na zginanie muru jest głównie zależna od właściwości zastosowanej zaprawy. W normie PN-EN 1996-1-1 [4] podane zostały wartości wytrzymałości charakterystycznej muru na zginanie (rozciąganie przy zginaniu) zarówno w płaszczyźnie równoległej (f_{xk1}), jak i prostopadłej (f_{xk2}) do spoin wspornych, w zależności od rodzaju elementów murowych oraz od rodzaju zaprawy. Wartości podane w załączniku krajowym do normy PN-EN 1996-1-1 [4] są bardzo niskie i praktycznie nie pozwalają na obliczeniowe wykazanie, że ściana działowa jest w stanie przenieść nawet niewielkie, przewidziane w normie PN-EN 1991-1-1 [7], obciążenia. Takie zachowanie podejście spowodowane jest złymi doświadczeniami w wykonawstwie ścian wypełniających. Powszeczną praktyką jest przypadkowy dobór zapraw do elementów murowych. Zastosowanie nieodpowiedniej zaprawy powoduje najczęściej jej niedostateczną przyczepność do elementów murowych. O ile w murach ścisłanych ten problem w większości przypadków może być pominięty, to w murach zginanych jest jedną z głównych przyczyn powstawania rys i pęknięć. Zgodnie z zapisami w normach określających wymagania dotyczące elementów murowych (np. dla betonu komórkowego PN-EN 771-4 [2]), wartości wytrzymałości spoiny na zginanie można deklarować na podstawie badań zgodnie z normą PN-EN 1052-2 [9].

Firma SOLBET jest również producentem zapraw budowlanych. Przeprowadzone badania zestawów złożonych z elementów murowych z betonu komórkowego oraz zaprawy do cienkich spoin opisane w referacie [10] pozwalają na przyjmowanie znacznie większych wartości wytrzymałości na zginanie niż te, które są podane w normie [4]. W tablicy 1 zestawiono wytrzymałości charakterystyczne na zginanie dla ścian z autoklawizowanego betonu komórkowego na podstawie normy [4] i badań przeprowadzonych w ITB i CEBET [10]. Podane wartości dotyczą murów wykonanych nie tylko w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART, ale również wykonanych ze wszystkich elementów murowych znajdujących się w ofercie firmy SOLBET.

2.2. Wytrzymałość na ścinanie

Zgodnie z PN-EN 998-2 [13], początkowa wytrzymałość charakterystyczna na ścinanie zaprawy murarskiej do cienkich spoin w połączeniu z elementami murowymi według norm EN 771 (w tym PN-EN 771-4 [2]) może być przyjęta na poziomie 0,3 N/mm². Producent zaprawy deklarując tę wartość, powinien mieć pewność, że jego wyrób taką wytrzymałość uzyskuje.

3. Ciężar własny

Do wykonywania ścian działowych z autoklawizowanego betonu komórkowego najczęściej są stosowane elementy murowe o klasach gęstości 500 i 600 oraz grubości 100 i 120 mm.

W załączniku krajowym do normy PN-EN 771-4 [2] podano zakresy gęstości dla poszczególnych klas gęstości brutto w stanie suchym. Na przykład dla klasy gęstości 600 zakres gęstości brutto w stanie

Tablica 1. Wytrzymałości charakterystyczne na zginanie murów z betonu komórkowego na zaprawie do cienkich spoin i na kleju poliuretanowym wykonywanych z wyrobów firmy SOLBET.

Klasa wytrzymałości na ściskanie (średnia wytrzymałość na ściskanie)	zginanie w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych f_{xk1} [MPa]			zginanie w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych f_{xk2} [MPa]				
				spoiny pionowe wypełnione zaprawą			spoiny pionowe NIewypełnione zaprawą	
	EC6 PL	zaprawa SOLBET o.1 i SOLBET o.2	klej poliuretanowy SMART	EC6 PL	zaprawa SOLBET o.1 i SOLBET o.2	klej poliuretanowy SMART	EC6 PL	zaprawa SOLBET o.1 i SOLBET o.2
4	0,140	0,27		0,140	0,26		0,100	0,19
3	0,105	0,25	0,44	0,105	0,23	0,43	0,075	0,16
2,5	0,088	0,24	0,44	0,088	0,22	0,43	0,063	0,15
2	0,070	0,23		0,070	0,21		0,050	0,14

Uwaga: Elementy murowe do wykonywania ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART produkowane są w klasach wytrzymałości na ściskanie 2,5 i 3.

Tablica 2. Określenie ciężaru własnego ścian działowych z betonu komórkowego na zaprawie do cienkich spoin (system SOLBET OPTIMAL) oraz na kleju poliuretanowym (system SOLBET SMART).

Zakres gęstości elementów murowych w stanie suchym [kg/m ³]	Grubość muru [mm]	Ciężar charakterystyczny muru (z obu stronnym tynkiem SOLBET grubości 0,5 cm) [kN/m ²]	Maksymalna wysokość ściany [m]	Maksymalny ciężar własny [kN/m]
500 (±30)	100	0,68	2,89	< 2,0
570 (±10)	100	0,75	2,65	< 2,0
500 (±30)	120	0,77	3,60	< 3,0
570 (±10)	120	0,82	3,60	< 3,0

suchym zawiera się w przedziale: > 550 oraz ≤ 600 kg/m³. Producent może w sposób dowolny określić deklarowany zakres gęstości produkowanych przez siebie wyrobów.

Do określenia ciężaru własnego należy przyjąć wartość wilgotności ustabilizowanej, określonej dla danego rodzaju i producenta autoklawizowanego betonu komórkowego. Dla betonów komórkowych produkowanych na bazie piasku wilgotność ustabilizowana mieści się w granicach od 1,5 do 3%. Dla ścian wykonanych z betonów komórkowych popiołowych ta wartość jest większa i osiąga 4,5% [11]. Dla elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego produkowanych przez firmę SOLBET i przeznaczonych do wykonywania ścian działowych przyjmuje się wilgotność ustabilizowaną w wysokości 2%.

W tablicy 2 podano informacje do określenia ciężaru własnego ścian działowych z betonu komórkowego na zaprawie do cienkich spoin (system SOLBET OPTIMAL) oraz na kleju poliuretanowym (system SOLBET SMART).

4. Odporność ogniowa

Klasę odporności ogniowej dla ścian murowanych można określać na podstawie normy PN-EN 1996-1-2 [12]. Klasy odporności ogniowej można też przyjmować na podstawie badań. W Zakładzie Badań Ogniowych ITB przeprowadzono badania i opracowano klasyfikację odporności ogniowej ścian z betonu komórkowego [10]. W tablicy 3 podano klasyfikację odporności ogniowej

dla ścian działowych z betonu komórkowego w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART.

5. Izolacyjność akustyczna

Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian wykonanych z różnych materiałów i w różnych technologiach zostały zestawione w instrukcji ITB 448/2009 [14]. W instrukcji podano wskaźniki izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian wykonanych z betonu komórkowego różnych producentów oraz „prawo masy” dla przegród z betonu zwykłego i betonu komórkowego opracowane na podstawie badań Zakładu Akustyki ITB.

Zgodnie z normą PN-B 02151-3 [15], dla przegród wewnętrznych w obrębie jednego mieszkania należy uwzględniać wartości wskaźników izolacyjności akustycznej określone na podstawie badań laboratoryjnych (bez uwzględniania wpływu bocznego przenoszenia dźwięku) zmniejszone o 2 dB. Korekta ta uwzględnia dokładność wyznaczania wskaźników na podstawie pomiarów laboratoryjnych, różny stopień odtworzenia w badanym wzorcu cech rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego oraz ewentualne niedokładności wykonawstwa i pełni rolę współczynnika bezpieczeństwa przy projektowaniu izolacyjności akustycznej przegród w budynku.

W tablicy 4 zestawiono parametry akustyczne ścian działowych z autoklawizowanego betonu komórkowego na zaprawie do cienkich spoin (system SOLBET OPTIMAL) oraz na kleju poliuretanowym (system SOLBET SMART).

Tablica 3. Klasyfikacja odporności ogniowej nieotynkowanych ścian działowych z betonu komórkowego, grubości 120 mm i 100 mm.

System wykonania ściany działowej (sposób połączenia elementów murowych)	Klasa odporności ogniowej EI
SOLBET OPTIMAL (na zaprawie do cienkich spoin)	EI 120
SOLBET SMART (na kleju poliuretanowym)	EI 240

Uwaga: Klasę odporności ogniowej dla ścian na zaprawie do cienkich spoin (system SOLBET OPTIMAL) grubości 100 mm przyjęto wg PN-EN 1996-1-2 [12], natomiast dla ścian grubości 120 mm na podstawie badań przeprowadzonych w Zakładzie Badań Ogniowych ITB [10].

Tablica 4. Parametry akustyczne ścian działowych z autoklawizowanego betonu komórkowego na zaprawie do cienkich spoin (system SOLBET OPTIMAL) oraz na kleju poliuretanowym (system SOLBET SMART)

Oznaczenie elementu murowego	Średnia gęstość elementów murowych [kg/m ³]	Grubość muru [mm]	Wskaźnik izolacyjności akustycznej $R_{A1R} = R_{A1} - 2 \text{ dB}$ [dB]
2,5/500-10	500	100	35
3/600-10	570	100	36
2,5/500-12	500	120	36
3/600-12	570	120	38

6. Izolacyjność cieplna

Ściany działowe, pomimo że są wyłącznie przegrodami wewnętrznymi, powinny w określonych sytuacjach [8] spełniać wymagania izolacyjności cieplnej. Beton komórkowy i wykonane z niego przegrody charakteryzują się dobrymi właściwościami cieplnymi. W tablicy 5 podano właściwości cieplne ścian działowych wykonanych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART.

7. Podsumowanie

Właściwości użytkowe ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART, określone na podstawie badań przeprowadzonych w renomowanych akredytowanych laboratoriach, są znacząco lepsze, niż gdyby były ustalane na podstawie norm. Daje to projektantom znacznie większe możliwości przy projektowaniu budynków w systemach SOLBET [16].

Tablica 5. Właściwości cieplne ścian działowych wykonanych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART.

Oznaczenie elementu murowego	Grubość muru [mm]	Deklarowany współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_{10, dry} S_2$ [W/m K]	Współczynnik przenikania ciepła dla ściany nieotynkowanej U [W/m ² K]
2,5/500-10	100	0,135	1,10
2,5/500-12	120		0,98
3/600-10	100	0,160	1,32
3/600-12	120		1,15

Literatura:

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
- [2] PN-EN 771-4:2012P: Wymagania dotyczące elementów murowych, Część 4: Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego.
- [3] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Wyroby do wykonywania ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [4] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [5] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.
- [6] Drobiec Ł., Misiewicz L.: Ściany wypełniające, zakres stosowania, doświadczenia, zalety i wady. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [7] PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2010P, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [8] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Ściany działowe. Wymagania i kryteria oceny. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [9] PN-EN 1052-2:2001: Metody badania murów. Określenie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu.
- [10] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Badania ścian działowych z autoklawizowanego betonu komórkowego. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [11] Zapotoczna-Sytek G., Balkovic S.: Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia, właściwości, zastosowanie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Stowarzyszenie Producentów Betonów. Warszawa 2013.
- [12] PN-EN 1996-1-2:2010/AC:2011P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [13] PN-EN 998-2:2012P: Wymagania dotyczące zapraw do murów, Część 2: Zaprawa murarska.
- [14] Szudrowicz B., Tomczyk P.: Instrukcja 448/2009 Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i drzwi oraz nawiewników powietrza zewnętrznego. ITB. Warszawa 2009.
- [15] PN-B-02151-3:1999: Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych – Wymagania.
- [16] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Projektowanie uproszczone ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.

mgr inż. Andrzej Bociąga
ABN PROJEKT
mgr inż. Lech Misiewicz
SOLBET Sp. z o.o.

UPROSZCZONE PROJEKTOWANIE ŚCIAN DZIAŁOWYCH W SYSTEMACH SOLBET OPTIMAL I SOLBET SMART

W referacie przedstawiono ograniczenia, wymagania i właściwości, jakie przyjęto przy określaniu maksymalnych wymiarów i obciążeń liniowych dla ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART. W tablicach zamieszczone zostały maksymalne wymiary ścian działowych pod obciążeniem 0,5 kN/m oraz maksymalne obciążenia w zależności od typu krawędzi i wymiarów ścian w obu systemach.

1. Wprowadzenie

Projektowanie konstrukcji murowych ogranicza się najczęściej do zaznaczenia położenia ścian na rzutach i mniej lub bardziej szczegółowego potraktowania w opisie technicznym. Dokładniejsza analiza konstrukcji murowanych ścian działowych to już wyjątkowa rzadkość. Takie analizy są niekiedy wykonywane, ale najczęściej kilka lat później już w ramach ekspertyzy dotyczącej uszkodzeń istniejących ścian. Oczywiście nie należy dążyć do tego, aby projektant konstruktor do każdego projektu wykonywał pracochłonną analizę i obliczenia każdej ścianki działowej. Projektant na podstawie doświadczeń (najlepiej własnych) powinien wiedzieć, jakie ściany należy obliczać, a jakich nie. Niniejszy referat ma pomóc w podejmowaniu takich decyzji, w przypadku projektowania ścian działowych z betonu komórkowego w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART.

Konstrukcja, wymiary oraz sposób zamocowania, mające znaczący wpływ na sztywność i stateczność murowanych ścian działowych, powinny być dostosowane do rodzaju i wielkości obciążeń oraz oddziaływań, a także wszystkich innych wymagań z odpowiednimi zapasami bezpieczeństwa.

Niezależnie od przeznaczenia i położenia, ściany w budynku powinny być wykonane zawsze zgodnie ze sztuką budowlaną i wymaganiami odpowiednich norm. Powinny spełniać, tak jak wszystkie inne elementy budynku, nie tylko wymagania bezpieczeństwa

konstrukcji, ale również wszystkie pozostałe wymagania zgodnie z rozporządzeniem [2].

Zamieszczone w tym referacie tablice pozwalają na przyjęcie bez obliczeń wymiarów ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART, spełniających wszystkie wymagania, jakie dla takich ścian są określone.

2. Przyjęte założenia

Przyjęto, że ściany działowe będą się znajdowały na powierzchniach kategorii użytkowania A, B i C1 [2].

Wysokość ścian ograniczono tak, aby obciążenie stropu od ich ciężaru własnego nie przekraczało wartości 2,0 kN/m lub 3,0 kN/m zgodnie z PN-EN 1991-1-1 [3], niezależnie od tego, czy są one wykonane w systemie SOLBET SMART czy SOLBET OPTIMAL.

Dla murów wykonanych w systemie SOLBET OPTIMAL z elementów murowych łączonych zaprawą do cienkich spoin SOLBET 0.1 lub SOLBET 0.2 przyjęto wytrzymałości charakterystyczne $f_{xk1} = 0,25$ oraz $f_{xk2} = 0,23$ MPa [4].

Dla murów wykonanych w systemie SOLBET SMART z elementów murowych łączonych klejem poliuretanowym SOLBET SMART przyjęto wytrzymałości charakterystyczne $f_{xk1} = f_{xk2} = 0,40$ MPa [4].

Zgodnie z PN-EN 1991-1-1 [3], przyjęto zalecane obciążenie poziome ścian działowych na wysokości 1,2 m od poziomu ruchu pieszego o wartości

0,5 kN/m. W obliczeniach maksymalnych obciążeń liniowych przyjęto kategorię wykonania robót A i zaprawę projektowaną (współczynnik $\gamma_M=1,7$ wg PN-EN 1996-1-1 [1]) oraz współczynnik obciążenia zmiennego $\gamma_Q=1,5$ (wg PN-EN 1990 [11]). Obciążenia zestawione w tablicach są wartościami charakterystycznymi.

2.1. Ograniczenia wymiarów

Założono, że ściany działowe w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART muszą charakteryzować się odpowiednim komfortem użytkowania, związanym z „wiotkością”, czyli smukłością ściany. Użytkownik powinien mieć poczucie bezpieczeństwa, a ściany nie powinny łatwo wpadać w drgania i w sposób widoczny odkształcać się.

Według normy PN-EN 1996-1-1 [1], ściany wypełniające muszą spełniać kryteria minimalnej sztywności i nośności [5]. Jako kryterium sztywności przyjmuje się smukłość ściany wyrażoną stosunkiem wysokości ściany (h) do jej grubości (t). Stateczność ścian działowych uzyskuje się przez ich podparcie na krawędzi dolnej oraz na krawędzi górnej, górnej i jednej bocznej lub wszystkich pozostałych krawędziach (boczne i górna).

W załączniku F do normy PN-EN 1996-1-1 [1] podane zostały ograniczenia wymiarów (wysokości i długości) ścian obciążonych prostopadłe do swojej powierzchni w zależności od ich grubości i z uwagi na stany graniczne użytkowalności. Załącznik dotyczy ścian o grubości nie mniejszej niż 100 mm.

Dla ściany podpartej górną i dołem smukłość nie powinna przekraczać 30 ($h/t \leq 30$). Ściany usztywnione dodatkowo na jednej lub dwóch krawędziach bocznych oraz ściany usztywnione na dwóch krawędziach bocznych ze swobodną krawędzią górną można realizować

o wysokościach większych, przy których $h/t \geq 30$. Dopuszczalna wysokość ściany uzależniona jest wówczas dodatkowo od jej długości. Za usztywnienie krawędzi pionowych ścian (rys. 1) można uważać:

- element pionowy konstrukcji nośnej budynku (słup, ścianę), z którym ściana działowa połączona jest złączem pionowym,
- inną ścianę działową prostopadłą do rozpatrywanej, połączoną z nią wiązaniem murarskim lub równoważnymi łącznikami stalowymi – tak połączone ściany działowe mogą stworzyć układ o dużej sztywności,
- dodatkowy słup żelbetowy lub stalowy, połączony z konstrukcją nośną (stropem na dole i stropem lub ewentualnie podciągami na górze).

Zgodnie z PN-EN 1996-2 [6], ściany działowe mogą być poddane odkształceniom wynikającym ze zmian wilgotnościowych, pęcznienia i skurczu oraz na skutek działania sił wewnętrznych wywołanych obciążeniami. W celu uniknięcia uszkodzeń muru na skutek tych odkształceń należy przewidzieć dylatacje pionowe. W PN-EN 1996-2 [6] określono maksymalne odległości pomiędzy dylatacjami pionowymi dla niezbrojonych zewnętrznych ścian nienośnych w zależności od rodzaju zastosowanego materiału. Podano również, że te odległości można zwiększyć w przypadku ścian ze zbrojeniem w spoinach wspornych zgodnie z EN 845-3 [7]. W obowiązujących normach nie ma podanych odległości pomiędzy dylatacjami dla nienośnych ścian wewnętrznych. Można jednak interpretować zapisy PN-EN 1996-2 [6] jako ograniczające długość takich ścian do 6,00 m. Takie też ograniczenie długości dla ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART przyjęto w niniejszym opracowaniu. Ściany dłuższe należy dylatować.



Rys. 1. Usztywnienia pionowe ścian wypełniających.

Należy jednak pamiętać, że zgodnie z przyjętymi w Eurokodach zasadami, projektant może przyjmować właściwości i dane do projektowania również na podstawie wiarygodnych badań. W literaturze niemieckiej można znaleźć opracowane na podstawie badań zasady obliczania maksymalnej długości ścian murowanych ze względu na ich rysoodporność [8]. Wartość skurczu elementów murowych z betonu komórkowego produkowanych przez SOLBET wynosi, w zależności od gęstości objętościowej, od 0,22 mm/m do 0,25 mm/m [9]. Obliczone według [8] dla ścian w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART dopuszczalne długości (ze względu na całkowite odkształcenia: skurcz i zmiany temperatury) osiągają od 7,0 m do 10,0 m. Na rysoodporność ścian (określoną jako ich maksymalna długość) oprócz wielkości skurczu elementów murowych mają wpływ:

- rodzaj zaprawy,
- wysokość ściany,
- sposób zamocowania krawędzi (szczególnie krawędzi dolnej),
- sposób wykonania spoin pionowych w murze.

Należy unikać projektowania i realizacji ścian działowych o smukłościach przekraczających stany graniczne. Jeżeli wymagania (np. inwestora) ograniczają dopuszczalną grubość ściany działowej, co w konkretnej sytuacji projektowej prowadzi do zwiększenia smukłości i jednocześnie do zbyt małej sztywności ściany, można rozważyć wprowadzenie dodatkowych połączeń z konstrukcją, dodatkowych podpór, np. w postaci ścian prostopadłych oraz wprowadzenia do ścian systemu słupów i/lub rygli usztywniających (żelbetowych lub stalowych). Innym sposobem jest ułożenie zbrojenia w spoinach wspornych. Słupy i rygle muszą być połączone z konstrukcją budynku w sposób zapewniający przeniesienie obciążeń poziomych działających na

ściany. W obliczeniach takich ścian należy przyjąć ich niezależną pracę w obszarze pól wydzielonych słupami i ryglami oraz przegubowe podparcie na elementach usztywniających.

2.2. Pozostałe przyjęte założenia

Przyjęto, że wszystkie wymagania dla ścian działowych określone na podstawie obowiązujących przepisów i zestawione w referacie [2] muszą być spełnione (bezpieczeństwo pożarowe, ochrona przed hałasem, ochrona ciepła).

Przy projektowaniu ścian działowych zgodnie z niniejszym opracowaniem nie ma ograniczeń w obciążaniu ścian w dowolnym miejscu obrazami, szafkami, półkami itp., zgodnie z wymaganiami określonymi w referacie [2]. Ściany zaprojektowane zgodnie z niniejszym opracowaniem mają wystarczającą nośność do przejścia oddziaływań występujących w większości pomieszczeń mieszkalnych, biurowych i budownictwa ogólnego od pionowego obciążenia mimośrodowego w zakresie przedmiotów ciężkich oraz obciążeń prostopadłych i równoległych do powierzchni ściany zgodnie z wymaganiami opisanymi w referacie [2].

Ściana działowa z betonu komórkowego stanowi dobre podłoże do łatwego i trwałego mocowania ciężarów i obciążeń typowych dla mieszkań i innych podobnych pomieszczeń użytkowanych przez ludzi.

W niniejszym opracowaniu ograniczono się do ścian pełnych. Znajdujące się w ścianach działowych otwory (przeważnie otwory drzwiowe) mogą mieć istotne znaczenie dla warunków pracy ścian, na przykład poprzez ograniczenie korzystnego wpływu podparcia ściany na krawędzi pionowej lub też

Tablica 1. Zestawienie ograniczeń, wymagań i właściwości ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART [2].

Średnia gęstość elementów murowych [kg/m ³]	Grubość muru [mm]	Ciężar charakterystyczny muru z obustronnym tynkiem [kN/m ²]	Maksymalna wysokość ściany [m]	Maksymalny ciężar własny [kN/m]	Klasa odporności ogniowej EI*	Wskaźnik izolacyjności akustycznej R _{A1R} [dB]	Współczynnik przenikania ciepła dla ściany nieotynkowanej U [W/m ² K]
500	100	0,68	2,89	< 2,0	120 (240)*	35	1,10
570	100	0,75	2,65	< 2,0		36	0,98
500	120	0,77	3,60	< 3,0		36	1,32
570	120	0,82	3,60	< 3,0		38	1,15

Uwaga: Wartość w nawiasie dla systemu SOLBET SMART.

niebezpieczeństwo zarysowań w narożach otworów związane z ugięciem stropu. Dlatego projektant każdorazowo powinien przeanalizować, czy i jeżeli tak to jakie dodatkowe rozwiązania są konieczne. Należy podkreślić, że w większości typowych przypadków przy prawidłowo zaprojektowanej i wykonanej konstrukcji budynku oraz ścianach działowych z otworami wykonanymi według wytycznych przedstawionych w referacie [10] dodatkowe zabezpieczenia ścian nie są konieczne.

Grubość szczeliny podstropowej powinna zapewnić możliwość takiego ugięcia górnego stropu, aby nie oparł się on na ścianie działowej. Jeżeli przewidywane ugięcia stropu nie narzucają większych wartości, to szczelina powinna mieć grubość minimum 2 cm w przypadku wypełnienia jej wełną mineralną i 1,5 cm

w przypadku wypełnienia jej pianką trwale elastyczną o dużym stopniu odkształcalności.

W tablicy 1 zestawione zostały wymagania i właściwości ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART.

3. Wymiary ścian działowych w systemach SOLBET pod obciążeniem 0,5 kN/m

W tablicach 2, 3, 4 i 5 pokazano maksymalne długości ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART pod charakterystycznym obciążeniem liniowym 0,5 kN/m, spełniające ograniczenia i wymagania oraz posiadające właściwości zestawione w tablicy 1.

Tablica 2. Maksymalna długość ścian działowych grubości 100 mm w systemie SOLBET OPTIMAL pod charakterystycznym obciążeniem liniowym 0,5 kN/m.

Typ podparcia	L_{max} [m] dla maksymalnej wysokości 2,89 m (12 warstw bloczków)
cztery krawędzie	4,0
trzy krawędzie (górną i jedną pionową)	2,0
trzy krawędzie (dolną i obydwie pionowe)	3,0

Tablica 3. Maksymalna długość ścian działowych grubości 120 mm w systemie SOLBET OPTIMAL pod charakterystycznym obciążeniem liniowym 0,5 kN/m.

Typ podparcia	L_{max} [m] dla maksymalnej wysokości muru 3,60 m (15 warstw bloczków)
cztery krawędzie	6,0
trzy krawędzie (górną i jedną pionową)	4,0
trzy krawędzie (dolną i obydwie pionowe)	6,0

Tablica 4. Maksymalna długość ścian działowych grubości 100 mm w systemie SOLBET SMART pod charakterystycznym obciążeniem liniowym 0,5 kN/m.

Typ podparcia	L_{max} [m] dla maksymalnej wysokości muru 2,89 m (12 warstw bloczków)
górną i dolną	0,0
cztery krawędzie	5,0
trzy krawędzie (górną i jedną pionową)	3,0
trzy krawędzie (dolną i obydwie pionowe)	5,0

Tablica 5. Maksymalna długość ścian działowych grubości 120 mm w systemie SOLBET SMART pod charakterystycznym obciążeniem liniowym 0,5 kN/m.

Typ podparcia	L_{\max} [m] dla maksymalnej wysokości muru 3,60 m (15 warstw bloczków)
górną i dołem	6,0 (dla $H \leq 3,20$)
cztery krawędzie	6,0
trzy krawędzie (górną i jedną pionową)	6,0
trzy krawędzie (dolną i obydwie pionowe)	6,0

4. Maksymalne obciążenia ścian działowych w systemach SOLBET

W tablicach 6, 7, 8 i 9 pokazano maksymalne charakterystyczne obciążenia liniowe ścian działowych

w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART w zależności od typu podparcia oraz wysokości i długości, spełniające wymagania oraz posiadające właściwości zestawione w tablicy 1 (bez ograniczeń ciężaru własnego i bez wynikającego z tego ograniczenia wysokości).

Tablica 6. Maksymalne charakterystyczne obciążenia liniowe ścian działowych grubości 100 mm w systemie SOLBET OPTIMAL.

Typ podparcia	H [m]	L [m]				
		2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
górną i dołem	$\leq 2,8$	0,2				
	$> 2,80$ oraz $3,0 \leq$	0,2				
cztery krawędzie	$\leq 2,80$	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4
	$> 2,80$ oraz $3,6 \leq$	1,1	0,7	0,5	0,4	0,3
trzy krawędzie (górną i jedną pionową)	$\leq 2,6$	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
	$> 2,6$ oraz $3,0 \leq$	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
	$> 3,0$ oraz $3,6 \leq$	0,5	0,3	0,3	0,2	--
trzy krawędzie (dolną i obydwie pionowe)	1,60	0,6	0,4	0,3	0,3	--
	2,00	0,8	0,5	0,4	0,3	--
	$\geq 2,4$ oraz $3,6 \leq$	0,9	0,5	0,4	0,4	--

Uwaga: dopuszcza się interpolację liniową.

Tablica 7. Maksymalne charakterystyczne obciążenia liniowe ścian działowych grubości 120 mm w systemie SOLBET OPTIMAL.

Typ podparcia	H [m]	L [m]				
		2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
górz i dołem	$\leq 3,00$	0,3				
	$> 3,00$ oraz $3,60 \leq$	0,3				
cztery krawędzie	$\leq 2,60$	1,4	1,0	0,7	0,6	0,5
	$> 2,60$ oraz $4,20 \leq$	1,4	1,0	0,7	0,6	0,5
trzy krawędzie (górz dół i jedna pionowa)	$\leq 3,0$	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
	$> 3,00$ oraz $4,2 \leq$	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
trzy krawędzie (dolna i obydwa pionowe)	$\leq 1,60$	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4
	2,20	1,3	0,8	0,6	0,5	0,5
	4,20	1,5	0,8	0,7	0,6	0,5

Uwaga: dopuszcza się interpolację liniową.

Tablica 8. Maksymalne charakterystyczne obciążenia liniowe ścian działowych grubości 100 mm w systemie SOLBET SMART.

Typ podparcia	H [m]	L [m]				
		2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
górz i dołem	$\leq 2,6$	0,4				
	$> 2,60$ oraz $3,0 \leq$	0,3				
cztery krawędzie	$\leq 3,6$	1,2	0,7	0,6	0,5	0,4
trzy krawędzie (górz dół i jedna pionowa)	$\leq 2,6$	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
	$> 2,6$ oraz $3,0 \leq$	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
	$> 3,0$ oraz $3,6 \leq$	0,5	0,4	0,3	0,3	--
trzy krawędzie (dolna i obydwa pionowe)	$\leq 1,6$	0,6	0,5	0,4	0,3	--
	2,00	1,0	0,6	0,5	0,4	--
	$\geq 2,4$ oraz $3,6 \leq$	1,2	0,8	0,6	0,5	--

Uwaga: dopuszcza się interpolację liniową.

Tablica 9. Maksymalne charakterystyczne obciążenia liniowe ścian działowych grubości 120 mm w systemie SOLBET SMART.

Typ podparcia	H [m]	L [m]				
		2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
górną i dolną	$\leq 2,60$	0,6				
	$> 2,60$ oraz $3,40 \leq$	0,5				
	$> 3,40$ oraz $3,60 \leq$	0,4				
cztery krawędzie	$\leq 2,80$	2,0	1,2	0,9	0,8	0,7
	$> 3,00$ oraz $3,60 \leq$	2,0	1,2	0,9	0,7	0,6
trzy krawędzie (górną dół i jedną pionową)	$\leq 2,60$	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6
	$> 2,60$ oraz $3,20 \leq$	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5
	$> 3,20$ oraz $4,20 \leq$	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5
trzy krawędzie (dolną i obydwie pionowe)	$\leq 1,60$	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6
	2,20	1,7	1,0	0,8	0,7	0,6
	4,20	2,0	1,3	0,9	0,8	0,7

Uwaga: dopuszcza się interpolację liniową.

Literatura:

- [1] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [2] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Ściany działowe. Wymagania i kryteria oceny. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [3] PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2009P, Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [4] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Właściwości murowanych ścian wypełniających z autoklawizowanego betonu komórkowego. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [5] Jasiński R.: Kształtowanie i wykonawstwo ścian wypełniających. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [6] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.
- [7] PN-EN 843-3: Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów Część 3: Stalowe zbrojenie do spoin wspornych.
- [8] Brameshuber W., Schubert P., Schmidt U., Hannawald J.: Rissfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk. Mauerwerk, vol. 10., nr 4, 2006, s. 132–139.
- [9] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Wyroby do wykonywania ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [10] Misiewicz L., Rybarczyk T.: Wykonawstwo i użytkowanie ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [11] PN-EN 1990:2004+A1:2008P+NA:2010P, Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji.

mgr inż. Lech Misiewicz
mgr inż. Tomasz Rybarczyk
SOLBET Sp. z o.o.

WYROBY DO WYKONANIA ŚCIAN DZIAŁOWYCH W SYSTEMACH SOLBET OPTIMAL I SOLBET SMART

Stosowanie systemu budowlanego daje zarówno projektantom, wykonawcom oraz inwestorom i użytkownikom znacznie większą pewność uzyskania odpowiednich, założonych, wymaganych i oczekiwanych właściwości niż w przypadku stosowania przypadkowych materiałów i technologii. Stosowanie rozwiązań systemowych daje wszystkim uczestnikom procesu budowlanego większe bezpieczeństwo, ale tylko pod warunkiem, że system zostanie zastosowany w całości, bez uproszczeń w technologii i stosowania zamienników w miejsce oryginalnych materiałów. Takie pozorne oszczędności kończą się przeważnie kłopotami i bardzo często znaczącym zwiększeniem rzeczywistych kosztów. Jedną z podstawowych zasad przy stosowaniu systemów budowlanych jest korzystanie z oryginalnych materiałów budowlanych. Systemy SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART dają możliwość wybudowania ścian działowych o wyjątkowo dobrych właściwościach tylko wówczas, jeżeli zastosowane zostaną wyłącznie materiały i rozwiązania systemowe.

1. System ścian działowych SOLBET OPTIMAL

SOLBET OPTIMAL to system, w którym płytki z betonu komórkowego łączone są zaprawą do cienkich spoin (SOLBET o.1 lub SOLBET o.2) produkowaną w Aleksandrowie Kujawskim, w zakładzie należącym do Grupy SOLBET.

1.1. Elementy murowe

Podstawowymi elementami systemu SOLBET OPTIMAL oraz SOLBET SMART są elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego: elementy murowe (błoczek) o grubości 100 i 120 mm z profilowaniem Z. Kształt i sposób profilowania błoczków SOLBET pokazano na rys. 1 i 2. Asortyment i podstawowe parametry błoczków oraz ścian działowych SOLBET zestawiono w tablicach 1, 2, 3, 4 i 5.



Rys. 1. Element murowy – błoczek SOLBET do ścian działowych, z profilowanymi na zamek powierzchniami czołowymi.



Rys. 2. Element murowy – błoczek SOLBET do ścian działowych – widok z dwóch stron.

Tabela 1. Zestawienie elementów murowych (błoczków) SOLBET stosowanych do ścian działowych oraz ich właściwości użytkowych (dla tablic: 2, 3, 4, 5 kolejność wyrobów jest zachowana i odpowiada kolejności w wierszach, jak wg tablicy 1).

Lp.	Kod identyfikacyjny wyrobu	Oznaczenie wyrobu	Nazwa	Szerokość [mm]	Długość [mm]	Wysokość [mm]	Tolerancja wymiarowa wg PN-EN 771-4	Profilowanie	Zakres gęstości brutto w stanie suchym
1	SS-ABK 2,5/500/590/240/100/Z	2,5/500-10	Optimal	100	590	240	TLMB (±1 mm na wysokości) (±1,5 mm – pozostałe wymiary)	Z	500 (±30)
2	SS-ABK 2,5/500/590/240/120/Z	2,5/500-12		120					
3	SS-ABK 3/600/590/240/100/Z	3/600-10		100					570 (±10)
4	SS-ABK 3/600/590/240/120/Z	3/600-12		120					

Tablica 2. Zestawienie właściwości użytkowych elementów murowych oraz wykonanych z nich ścian działowych SOLBET c.d.

[illegible]

Tablica 3. Zestawienie właściwości użytkowych elementów murowych oraz wykonanych z nich ścian działowych SOLBET c.d.

Wzrost wytrzymałości muru na ścinanie wraz z wiekiem muru										
Lp.	Szerokość bloczka [mm]	Średnia wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]	Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość spoiny na ścinanie przy dowolnej zaprawie do cienkich spoin [N/mm ²]	Wytrzymałość charakterystyczna muru na zginanie [N/mm ²]					
					Równoległej do spoin wspornych			Prostopadłej do spoin wspornych		
					Mur na zaprawie SOLBET 0.1 lub 0.2 do cienkich spoin	Mur na zaprawie poliuretanowej SOLBET SMART	Mur na dowolnej zaprawie cienko-warstwowej wg PN-EN 1996-1-1 [1]	Mur na zaprawie SOLBET 0.1 lub 0.2 do cienkich spoin	Mur na zaprawie poliuretanowej SOLBET SMART	Mur na dowolnej zaprawie cienko-warstwowej wg PN-EN 1996-1-1 [1]
1	100	> 2,5	2,5	0,30	0,24	0,44	0,09	0,22	0,09	
2	120									
3	100	> 3,0	3,0		0,25		0,11	0,23		0,11
4	120									

Tablica 4. Informacje logistyczne dla elementów murowych do ścian działowych SOLBET.

Lp.	Szerokość błoczek [mm]	Długość błoczek [mm]	Wysokość błoczek [mm]	Liczba elementów na 1 m ² [szt.]	Masa błoczek [kg]	Liczba elementów murowych (błoczków) na jednej palecie [szt.]	Liczba m ² na palecie	Wymiary palety [cm]	Masa brutto palety [kg]	Objętość palety [m ³]
1	100	590	240	7	8,0	120	16,99	164x120x96	1048	1,6992
2	120				10,3	96	13,59	158x120x96	1005	1,6312
3	100				10,1	120	16,99	164x120x96	1228	1,6992
4	120				12,2	96	13,59	158x120x96	1187	1,6312

Dopuszczalne odchyłki wymiarowe dotyczące pojedynczych elementów murowych przeznaczonych do murowania przy użyciu zaprawy murarskiej do cienkich spoin nie powinny przekraczać wartości podanych w tablicy 2 z normy PN-EN 771-4 [3]. Wyroby SOLBET spełniają te kryteria, ponieważ wszystkie bloczki i płytki SOLBET produkowane są w najwyższej kategorii wymiarowej oznaczonej jako TLMB (o dokładności wymiarowej ± 1 mm na wysokości elementu murowego).

**Rys. 3.** Nadproża SOLBET.

1.2. Nadproża zbrojone SOLBET

Do przekrywania otworów w ścianach można wykorzystywać prefabrykowane belki nadprożowe ze zbrojonego betonu komórkowego SOLBET (rys. 3).

Dzięki niewielkiej masie można je montować ręcznie, bez użycia dźwigu. Nie wymagają podparcia montażowego oraz dodatkowych prac zbrojarskich. Nadproża występują w czterech długościach (tablica 5). Nadproża należy łączyć za pomocą cienkowarstwowej zaprawy murarskiej SOLBET. Prawidłowy montaż nadproży ułatwia widoczny napis SOLBET oraz zaznaczone minimalne długości podparcia nadproży. Napis SOLBET powinien być czytelny (nieodwrócony) natomiast linie oznaczające minimalną długość podparcia powinny w całości być oparte na murze.

Maksymalna długość nadproży wynosi 2300 mm, co daje możliwość przekrycia otworu drzwiowego lub okiennego o szerokości do 1800 mm. Do wyboru są cztery długości nadproży: 1400, 1600, 2000 oraz 2300 mm. Wysokość nadproży odpowiada wysokości wszystkich elementów ściennych SOLBET, czyli 240 mm.

Tablica 5. Zestawienie parametrów nadproży SOLBET mających zastosowanie w ścianach działowych.

Nadproża zbrojone SOLBET							
Symbol nadproża	Wymiary [cm]			Masa elementu [kg]	Maksymalna szerokość przekrywanego otworu [cm]	Minimalna długość podparcia [cm]	Maksymalne, równomiernie rozłożone obciążenie obliczeniowe [kN/mb]
	Długość	Szerokość	Wysokość				
NS 140 / 12	140	12	24	35	100	20	22
NS 160 / 12	160	12		40	120	20	16
NS 200 / 12	200	12		53	150	25	15
NS 230 / 12	230	12		61	180	25	12

1.3. Zaprawy murarskie do ścian SOLBET

Firma SOLBET jest jednym z niewielu producentów elementów murowych produkujących również zaprawy do ich łączenia. Dlatego szczególnie zadbało o to, aby właściwości zapraw SOLBET o.1 (na cemencie białym) i SOLBET o.2 (na cemencie szarym) (rys. 4 i 5) były dostosowane do właściwości wyrobów z betonu komórkowego. Wykonany z tych elementów

mur charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami, a najważniejszymi z nich – w przypadku ścian wypełniających) są wytrzymałości na zginanie. Obie zaprawy mają takie same parametry (tablica 6), różnią się jedynie kolorem.

Do murowania pierwszej warstwy bloczków na nierównym podłożu (np. stropie) służy zaprawa murarska tradycyjna (zwykła) SOLBET o.5 (rys. 6). Jej właściwości przedstawiono w tablicy 7.



Rys. 4. Zaprawa murarska SOLBET do cienkich spoin na cemencie białym – oznaczona symbolem o.1.



Rys. 5. Zaprawa murarska SOLBET do cienkich spoin na cemencie szarym – oznaczona symbolem o.2.



Rys. 6. Zaprawa murarska SOLBET Tradycyjna – oznaczona symbolem o.5.

Tablica 6. Właściwości zapraw murarskich do cienkich spoin SOLBET o.1 oraz SOLBET o.2.

Symbol wyrobu	Sposób nakładania	Dopuszczalna grubość [mm]	Grubość kruszywa [mm]	Zużycie na 1 m ² , przy grubości ściany 10 cm [kg]	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_{10,dir}$ [W/mK]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]	Współczynnik przepuszczalności pary wodnej μ	Wytrzymałość spoiny wg PN-EN 998-2 zał. C [4]	Absorpcja wody [kg/m ² ·min ^{0,5}]
o.1 oraz o.2	Kielnia Solbet	1-3	< 2	2,0	0,47	M5	5/20	≥ 0,5	≤ 0,3

Tablica 7. Parametry zaprawy murarskiej Tradycyjnej (zwykłej) SOLBET o.5.

Symbol wyrobu	Sposób nakładania	Dopuszczalna grubość [mm]	Grubość kruszywa [mm]	Zużycie na 1 m ² , przy grubości ściany 10 cm i grubości spoiny 10 mm [kg]	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_{10,dir}$ [W/mK]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]	Współczynnik przepuszczalności pary wodnej μ	Wytrzymałość spoiny wg PN-EN 998-2 zał. C [4]	Absorpcja wody [kg/m ² ·min ^{0,5}]
o.5	Kielnia murarska	do 15 mm	< 2	7	< 0,89	M5	15/35	≥ 0,15	≤ 0,2

1.4. Łączniki do ścian działowych

Przy wykonywaniu murów należy zastosować szereg elementów mocujących ścianę działową do elementów konstrukcyjnych: ścian nośnych, konstrukcji żelbetowej lub stropu. Do tych celów służą specjalne łączniki stalowe ocynkowane (rys. 8–12) [9].



Rys. 8. Łącznik **P30** do mocowania ścian działowych do ścian nośnych [9].



Rys. 9. Łącznik **K1** do mocowania ścian działowych do ścian nośnych lub do elementów żelbetowych [9].



Rys. 10. Łącznik symbol **D1** do mocowania ścian działowych do ścian nośnych lub do elementów żelbetowych z zachowaniem przerwy dylatacyjnej [9].



Rys. 11. Łącznik **DS** do połączenia ściany działowej ze stropem [9].



Rys. 12. Łącznik **D3** do połączenia odcinków ściany w szczelinie dylatacyjnej [9].

1.5. Tynki

Do wykończenia powierzchni ścian działowych z betonu komórkowego zaleca się stosować tynki SOLBET. Wszystkie tynki SOLBET są tynkami mineralnymi, więc ich cechy pasują idealnie do mineralnego podłoża, jakim jest beton komórkowy. Tynkami SOLBET, które stosuje się do wykończenia ścian działowych, są: (rys. 13, 14 i 15).

- Obrzutka tynkarska SOLBET 5.0



Rys. 13. Obrzutka tynkarska SOLBET 5.0.

- Tynk cementowo-wapienny SOLBET 5.1



Rys. 14. Tynk cementowo-wapienny SOLBET 5.1.

- Tynk maszynowy cementowo-wapienny wewnętrzny 5.2



Rys. 15. Tynk maszynowy cementowo-wapienny wewnętrzny 5.2.

Tablica 8. Podstawowe parametry tynków SOLBET stosowanych do ścian działowych.

Wyrób	Sposób nakładania	Dopuszczalna grubość [mm]	Grubość kruszywa [mm]	Zużycie na 1 m ² , przy grubości 10 mm [kg]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ_{10dry} [W/mK]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]	Współczynnik przepuszczalności pary wodnej μ	Przyczepność do podłoża	Absorpcja wody
5.0	agregat tynkarski	4 - 8	1,25	15	0,83	>6	≤10	≥ 0,5	W2
5.1	za pomocą pacy	5 - 15	1,25	16	1,17	od 1,5 do 5	25	≥ 0,15	W1
5.2	agregat tynkarski	5 - 15	0,5	13	–	od 1,5 do 5	–	≥ 0,2	–

1.6. Narzędzia do wykonywania ścian działowych SOLBET OPTIMAL

Do wykonania ścian na cienką spoinę niezbędne jest używanie odpowiednich narzędzi. Dzięki temu wykonawstwo jest łatwe. W ten sposób można też uniknąć błędów wykonawczych. Użycie odpowiednich narzędzi ułatwia uzyskanie normowego zużycia zaprawy do cienkich spoin.

Do podstawowych narzędzi należą:

- Kielnia do murowania na cienką spoinę o szerokości murowanych bloczków (rys. 16). Dzięki niej grubość zaprawy murarskiej będzie właściwa i jej zużycie będzie odpowiadać normie. Murowanie bloczków za pomocą kielni do cienkich spoin jest bardzo proste i znacznie przyspiesza roboty murarskie.

**Rys. 16.** Kielnia do murowania na cienką spoinę.

- Paca lub strug do wyrównania drobnych nierówności (rys. 17 i 18). Murowanie na cienką spoinę wymaga precyzji. Zaprawa murarska pełni funkcję łączącą (nie służy do wyrównywania nierówności), dlatego niezbędne jest utrzymanie płaskości górnej powierzchni wspornej (poziomej) każdej wymurowanej warstwy.

**Rys. 17.** Paca do szlifowania drobnych nierówności.**Rys. 18.** Strug do szlifowania drobnych nierówności.

- Piła ręczna do cięcia bloczków (rys. 19). Przycinanie bloczków za pomocą piły jest bardzo łatwe i nie wymaga dużych nakładów pracy. Co drugi ząb ostrza piły pokryty jest węglikiem spiekany, co powoduje, że piła lepiej odprowadza urobek podczas cięcia i nie ulega stępieniu.

**Rys. 19.** Piła ręczna do cięcia bloczków.

- Prowadnica ułatwiająca docięcie bloczka, przy zachowaniu prostokątności ciętej powierzchni (rys. 20). Przystawienie prowadnicy do ciętego bloczka i prowadzenie ostrza piły po ramionach prowadnicy ułatwia zachowanie prostokątności i równoległości przycinanej powierzchni bloczka.



Rys. 20. Prowadnica do cięcia bloczków.

- Młotek z gumowym obuchem (rys. 21). Młotek służy do korygowania ustawienia bloczka. Gumowy obuch nie uszkadza bloczka.



Rys. 21. Młotek z gumowym obuchem.

- Mieszadło do przygotowania zaprawy murarskiej do cienkich spoin (rys. 22). Mieszadło jest skonstruowane w taki sposób, że nie napowietrza urabianej zaprawy. Dzięki temu urobiona zaprawa ma jednolitą konsystencję.



Rys. 22. Mieszadło do przygotowania zaprawy do cienkich spoin.

- Zmiotka do zamiecenia pyłu i oczyszczenia bloczków (rys. 23). Nieoczyszczona (zapyłona) powierzchnia może spowodować obniżenie przyczepności zaprawy lub kleju do bloczków, lub jej całkowity brak, dlatego narzędziem niezbędnym przy murowaniu lub klejeniu bloczków jest zmiotka.



Rys. 23. Zmiotka do oczyszczenia bloczków.

- Zestaw narzędzi do wykonywania bruzd, przebić i otworów (rys. 24). Zestaw prostych narzędzi do wykonywania przebić i bruzd instalacyjnych.

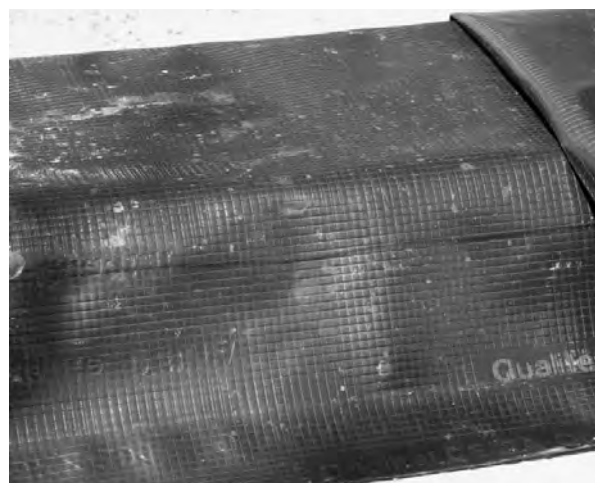


Rys. 24. Zestaw narzędzi do wykonywania przebić i bruzd instalacyjnych w ścianach z betonu komórkowego.

1.7. Elementy uzupełniające

Nie należy zapominać, że do prawidłowego wykonania ścian działowych (wypełniających) potrzebnych jest przeważnie jeszcze kilka wyrobów uzupełniających.

- Folia budowlana lub izolacyjna, papa itp. – do oddzielenia ściany od podłoża i umożliwienia jej odkształceń w kierunku jej osi podłużnej (rys. 25).



Rys. 25. Folia do oddzielenia ściany działowej od podłoża.

- Wełna mineralna w płytach, o gęstości minimum 60 kg/m³ (rys. 26) lub trwale elastyczna pianka uszczelniająca np. Soudal Flexifoam (rys. 27) do szczelnego wypełnienia szczeliny podstropowej, pomiędzy ścianą działową i elementami konstrukcji budynku (strop, podciąg itp.). Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest spełnienie wymagań szczelności, odporności ogniowej, izolacyjności akustycznej i cieplnej, a ugięcie konstrukcji (na przykład stropu), pod którą wymurowana jest ściana działowa, nie spowoduje jej obciążenia i ewentualnego uszkodzenia.



Rys. 26. Wełna mineralna do wypełnienia szczeliny pomiędzy ścianą działową a stropem lub innymi elementami nośnymi (w tym wypadku belką żelbetową).



Rys. 27. Trwale elastyczna piana do wypełnienia szczeliny pomiędzy ścianą działową a stropem.

1.8. Elementy kotwiące do ścian SOLBET

Na etapie użytkowania budynków prawie zawsze zachodzi konieczność przymocowania jakiegoś przedmiotu (półki, szafki, urządzenia, przedmiotu dekoracyjnego itp.) do ściany. Podstawowym kryterium doboru systemu kotwiącego jest jego dostosowanie do podłoża, w którym mocowanie będzie wykonane. Beton komórkowy jest materiałem porowatym, dlatego wszystkie elementy kotwiące powinny być dostosowane do mocowania w tego rodzaju podłożu. Dostępny jest szeroki asortyment dybli, wkrętów, kołków, kotew mechanicznych i kotew chemicznych (rys. 28). Są one dostępne w ofercie większości producentów tego typu wyrobów.

2. System ścian działowych SOLBET SMART

SOLBET SMART to system do budowania ścian działowych, w którym bloczki z betonu komórkowego łączy się klejem poliuretanowym. W skład systemu SOLBET SMART wchodzi te same elementy murowe, które stosowane są w systemie SOLBET OPTIMAL: bloczki SOLBET o grubości 10 i 12 cm, a także inne elementy uzupełniające oraz narzędzia (poza kielnią oraz mieszadłem). Do łączenia elementów murowych stosuje się klej poliuretanowy.



Rys. 28. Różnego rodzaju elementy kotwiące do betonu komórkowego: gwoździe kute, gwoździe skręcane, dyble tworzywowe wbijane, dyble tworzywowe wkręcane, kołki metalowe wkręcane, kołki metalowe wbijane, kotwa iniekcyjna.

2.1. Klej poliuretanowy SOLBET SMART

Do wykonywania ścian w systemie SOLBET SMART służy klej poliuretanowy SOLBET SMART, który dostępny jest w dwóch opakowaniach: z dozownikiem do nakręcenia na pistolet do piany poliuretanowej



Rys. 29. Kleje SOLBET SMART z dozownikiem wężykowym oraz z dozownikiem do nakręcenia na pistolet do piany.

i z dozownikiem wężykowym (rys. 29). System SOLBET SMART uzyskał w ITB Aprobata Techniczną AT-15-9080/2013 [5]. Na tej podstawie można projektować, budować i użytkować ściany działowe w systemie SOLBET SMART.

Do oczyszczenia pistoletu potrzebny jest preparat do czyszczenia, do kleju poliuretanowego. Jest to gotowy do użycia preparat w aerozolu (rys. 30), przeznaczony do usuwania zabrudzeń z nieutwardzonej pianki poliuretanowej oraz czyszczenia pistoletów dozujących ze standardowym gwintem mocującym.



Rys. 30. Preparat do czyszczenia nieutwardzonego kleju poliuretanowego.

Tablica 9. Parametry kleju poliuretanowego SOLBET SMART.

Podstawa:	Pre-polimer poliuretanowy	Szybkość utwardzania:	Okolo 60 minut (przy 20°C/65% RH)
System utwardzania:	Polimeryzacja z udziałem wilgoci	Temperatura dozowania:	od +5°C do +30°C
Kolor:	Pomarańczowy	Współczynnik λ :	0,036 W/mK (DIN 52612)
Struktura komórkowa:	Okolo 80% komórek zamkniętych	Odporność termiczna:	od -40°C do +100°C
Wydajność kleju pistoletowego:	6,2 m ² przy murowaniu bloczków do 12 cm, czyli dozowanie jednym warkoczem	Gęstość względna:	Okolo 24 kg/m ³ (pianka utwardzona)
Wydajność kleju z wężykiem:	3,3 m ² przy murowaniu bloczków do 12 cm, czyli dozowanie jednym warkoczem	Wytrzymałość na ścinanie:	0,12 N/mm ² (DIN 53427)
Czas tworzenia naskórka:	Okolo 8 minut (przy 20°C/65% RH)	Wytrzymałość na ściskanie:	0,3 N/mm ² (DISO 844)
Czas pyłosuchości:	Okolo 20 minut (przy 20°C/65% RH)	Wytrzymałość na zginanie:	0,6 N/mm ² (DIN 5342)
Czas korekty:	Nie dłużej niż 5 minut (przy 23°C/50% RH)	Napięcie maksymalne:	0,18 N/mm ² (DIN 53504)

2.2. Narzędzia wchodzące w skład systemu SOLBET SMART

Do prawidłowego wykonania ścian działowych SOLBET SMART potrzebne są te same narzędzia (oprócz kielni i mieszadła), które wykorzystywane są w systemie SOLBET OPTIMAL. Jeżeli do łączenia elementów murowych wykorzystuje się klej w opakowaniu z dozownikiem wężykowym, nie ma konieczności stosowania jakichkolwiek innych specjalistycznych narzędzi. W przypadku stosowania kleju w opakowaniu wymagającym zamocowania na dozowniku

pistoletowym konieczne jest stosowanie typowego dozownika pistoletowego stosowanego w budownictwie na przykład do nakładania pianek montażowych (rys. 31).



Rys. 31. Pistolet do dozowania kleju.

Literatura:

- | | |
|--|--|
| <p>[1] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.</p> <p>[2] PN-EN 1996-1-2:2010/AC:2010P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-2: Reguły ogólne Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.</p> <p>[3] PN-EN 771-4:2012P: Wymagania dotyczące elementów murowych, Część 4: Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego.</p> <p>[4] PN-EN 998-2:2012P: Wymagania dotyczące zapraw do murów, Część 2: Zaprawa murarska.</p> | <p>[5] AT-15-9080/2013: Aprobata Techniczna. Klej poliuretanowy do ścian działowych z betonu komórkowego Solbet Smart Klej – Piana do bloczków.</p> <p>[6] Rybarczyk T.: Ściany działowe w systemie SOLBET Smart, Materiały Budowlane Nr 4/2013.</p> <p>[7] Katalog Produktów SOLBET 2014.</p> <p>[8] Rybarczyk T.: Referat, XXIX Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2014.</p> <p>[9] Materiały techniczne firmy NOVA zamocowania elewacji, Warszawa 2014.</p> |
|--|--|

mgr inż. Lech Misiewicz
mgr inż. Tomasz Rybarczyk
SOLBET Sp. z o.o.

WYKONAWSTWO I UŻYTKOWANIE ŚCIAN DZIAŁOWYCH W SYSTEMACH SOLBET OPTIMAL I SOLBET SMART

W referacie podano ogólne zasady wykonywania murowanych ścian działowych oraz wytyczne wykonania ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART. System SOLBET OPTIMAL jest systemem opartym na zestawie elementów murowych i zaprawy do cienkich spoin produkowanych w firmie SOLBET. Podane zasady wykonania ścian nie odbiegają od tych, które obowiązują dla ścian z betonu komórkowego na zaprawach do cienkich spoin. Jednak osiągnięcie deklarowanych przez SOLBET właściwości [1] zależy nie tylko od tego, czy są przestrzegane określone zasady wykonania, ale również od tego, czy zostały zastosowane odpowiednie materiały [2]. W systemie SOLBET SMART elementy murowe łączone są klejem poliuretanowym. Ten sposób murowania jest łatwiejszy i szybszy, ale wymaga też od wykonawcy odpowiedniej wiedzy i konsekwentnego przestrzegania określonych zasad.

1. Wprowadzenie

Murowane ściany działowe należy wykonywać przy zachowaniu ogólnych zasad, niezależnie od tego, z jakiego rodzaju elementów murowych i na jakiej zaprawie są wykonywane.

1.1. Ogólne zasady wykonywania murowanych ścian działowych

Niezależnie od rodzaju materiału użytego do wykonania ścian działowych podczas ich wykonywania, należy przestrzegać poniższych zasad:

- Prace powinno się rozpocząć dopiero po całkowitym rozszalowaniu stropów i usunięciu podpór montażowych.
- Murowanie ścian należy wykonywać możliwie najpóźniej w procesie realizacji inwestycji, od najwyższej kondygnacji do najniższej.
- Przed rozpoczęciem wykonywania ścian działowych zaleca się obciążenie stropów, na których będą one wykonywane, obciążeniem zbliżonym do tego, jakie będzie na ten strop oddziaływało podczas użytkowania budynku. Jednym z najprostszych sposobów jest ustawienie wzdłuż

przyszłej ściany palet z materiałem potrzebnym do jej wykonania (elementy murowe, zaprawa).

- Pierwszą warstwę należy wykonać na przekładce uniemożliwiającej zespolenie ściany ze stropem (papa, folia itp.). Dolna krawędź ściany wymaga zabezpieczenia przed przesunięciem w kierunku prostopadłym do osi ściany. W sposób wystarczający zapewniają to prawidłowo wykonane warstwy podłogowe.
- Należy stosować elementy murowe o małej wilgotności oraz technologie ograniczające wprowadzanie dużej ilości wody do budynku. W ten sposób ograniczy się powstawanie zarysowań ściany w wyniku skurczu związanego z wysychaniem muru.
- Połączenie z konstrukcją (krawędź górna oraz boczne) należy wykonać w sposób zgodny z przyjętym w projekcie schematem statycznym, przy zastosowaniu odpowiednich łączników i prawidłowym ich rozmieszczeniu.
- Grubość i sposób uszczelnienia szczeliny podstropowej powinny zapewnić możliwość ugięcia stropu bez ryzyka jego oparcia na ścianie.
- Połączenia krawędzi ściany działowej z konstrukcją lub innymi elementami budynku należy wykonać w sposób uniemożliwiający niepożądaną

wymianę powietrza pomiędzy rozdzielanymi pomieszczeniami.

- Jeżeli ściana działowa ma spełniać jakieś inne wymagania (np. mieć odpowiednią klasę odporności ogniowej czy określoną izolacyjność akustyczną itp.), należy wykonać odpowiednie połączenia krawędzi pionowych i górnej zgodnie z projektem, wytycznymi producenta lub innymi wiarygodnymi materiałami technicznymi.
- Należy zadbać o wykonanie dylatacji w odpowiednich miejscach, w sposób zapewniający trwałość konstrukcji, przy zastosowaniu odpowiednich łączników oraz odpowiednim wypełnieniu przerw dylatacyjnych.
- Dokumentem dotyczącym bezpieczeństwa i higieny pracy na budowie jest plan bezpieczeństwa i ochrony zdrowia (BIOZ). Obowiązek wykonania planu BIOZ jest uregulowany ustawą Prawo Budowlane [14]. Do obowiązków projektanta należy sporządzenie informacji dotyczącej bezpieczeństwa i ochrony zdrowia ze względu na specyfikę projektowanego obiektu budowlanego, uwzględnianej w planie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Oznacza to, że informacje do sporządzenia planu BIOZ wykonuje projektant i jest to integralną częścią projektu. Z kolei kierownik budowy ma obowiązek sporządzenia lub zapewnienie sporządzenia planu BIOZ. Plan BIOZ należy wykonać przed rozpoczęciem budowy, na podstawie informacji zawartych w projekcie. Plan powinien uwzględniać specyfikę obiektu budowlanego i warunki prowadzenia robót budowlanych, w tym planowane jednocześnie prowadzenie robót budowlanych i produkcji przemysłowej.
- W przypadku ścian działowych oznacza to, że jeżeli roboty podlegają decyzji pozwolenia na budowę, to zagrożenia występujące przy ich wykonywaniu powinny być ujęte w planie BIOZ. Należy przy tym uwzględnić specyfikę i rodzaj robót budowlanych. W przypadku robót murowych przy ścianach działowych dotyczy to przede wszystkim ryzyka powstania zagrożeń bezpieczeństwa i zdrowia ludzi, a w szczególności upadku z wysokości, upadku ciężkiego przedmiotu, styczności z zaprawami, które zawierają cement, styczności z klejem poliuretanowym oraz ewentualnego porażenia prądem (ze względu na użycie mieszalnika lub wiertarki do przygotowania zaprawy). Jeśli jednak wykonywane roboty nie będą wymagać uzyskania decyzji pozwolenia na budowę, to plan BIOZ nie jest konieczny.
- Plan BIOZ powinien być zgodny z Rozporządzeniem [15].

1.2. Podstawowe zasady wykonywania konstrukcji murowych (ścian działowych)

Murowanie ścian działowych należy wykonać zgodnie z zasadami i wymaganiami konstrukcyjnymi określonymi w normach [4, 5] i omówionymi w opracowaniach [6, 7], nieróżniącymi się od zasad obowiązujących dla wszystkich konstrukcji murowych:

- Prawidłowy dobór zaprawy (lub kleju) do zastosowanych elementów murowych.
- Zachowanie prawidłowej grubości spoin w murze. W przypadku zapraw cienkowarstwowych spoina powinna mieć grubość od 0,5 do 3 mm. W przypadku stosowania kleju poliuretanowego grubość spoiny jest pomijalna, co oznacza, że w wykonanym murze spoina powinna być niewidoczna.
- Zaprawa powinna być rozłożona równomiernie na całej powierzchni łączonych elementów murowych.
- Spoiny pionowe powinny być wypełnione zaprawą nawet w przypadku stosowania elementów murowych z profilowanymi powierzchniami czołowymi. Zgodnie z [4], spoinę pionową uznaje się za wypełnioną, gdy zaprawa została ułożona na całej wysokości i minimum na 0,4 szerokości spoiny.
- Zgodnie z [4], najważniejsza zasada przy murowaniu to zachowanie prawidłowych wiązań elementów murowych: spoiny pionowe w sąsiednich warstwach muszą się mijać co najmniej o 0,4 wysokości elementu murowego. W przypadku elementów murowych z betonu komórkowego do wykonywania ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART jest to 96 mm (elementy mają wysokość 240 mm).
- Jeżeli to wynika z projektu lub innych zaleceń, należy wykonać wzmocnienie muru poprzez ułożenie zbrojenia w spoinach wspornych lub (oraz) wykonanie żelbetowych trzpieni, stosując się do zasad omówionych w referatach [6, 7].
- Należy dostosować sposób murowania do aktualnych warunków pogodowych.

2. Prace przygotowawcze

Czas wykonania, końcowa jakość, osiągnięte właściwości oraz koszt ściany działowej, podobnie jak każdego innego elementu budynku, w znaczący sposób uzależnione są od dobrego przygotowania i prawidłowej organizacji prac budowlanych i towarzyszących.



Rys. 1. Prawdłowe zabezpieczenie materiału w czasie transportu.



Rys. 2. Składowanie materiałów na równej i twardej nawierzchni.

2.1. Określenie zapotrzebowania na materiały

Przed przystąpieniem do prac należy określić zapotrzebowanie na materiały. W referacie [2] przedstawiono wszystkie materiały niezbędne do prawidłowego wykonania ścian działowych w systemie SOLBET OPTIMAL. Informacje na temat aktualnej oferty produktowej SOLBET zawarte są w najnowszym Katalogu produktów SOLBET [3]. Normy zużycia podane w materiałach techniczno-informacyjnych nie uwzględniają strat. Przy szacowaniu zapotrzebowania na materiał należy wziąć pod uwagę:

- sposób transportu i składowania materiałów,
- doświadczenie wykonawców,
- sposób docinania elementów murowych,
- sposób nakładania zaprawy,
- stopień skomplikowania kształtu ściany oraz wielkość i liczbę otworów.

W zależności od tych i ewentualnie innych czynników na straty przyjmuje się od 2 do kilkunastu procent określonej na podstawie projektu ilości materiałów. W systemie SOLBET nie występują elementy uzupełniające.

2.2. Transport i składowanie

Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego produkowane w zakładach należących do Grupy SOLBET pakowane są na drewnianych paletach i zabezpieczane folią termokurczliwą. Pod folią lub na niej umieszczana jest etykieta z oznakowaniem CE.

Podczas transportu materiałów na budowę, ich rozładunku, składowania i późniejszego przemieszczania na miejsce wbudowania należy przestrzegać nie tylko przepisów BHP, ale również zadbać o przestrzeganie zasad pozwalających na ograniczenie jego uszkodzeń. Podczas transportu palety z wyrobami powinny być ściśle dostawione do siebie oraz powiązane pasami zarówno między sobą, jak i ze skrzynią ładunkową

samochodu, w sposób uniemożliwiający ich niekontrolowane przemieszczanie (rys. 1).

Do rozładunku, w przypadku równej i twardej nawierzchni, można stosować wózek widłowy. Zastosowanie odpowiedniego żurawia lub dźwigu może umożliwić bezpośrednie dostarczenie palet z materiałem na miejsce jego wbudowywania. Należy zwrócić uwagę na stosowanie odpowiednich chwytaków lub wideł rozładunkowych. Paleta powinna być podnoszona od dołu, a nie chwyтана z boków. Powierzchnia, na której składowane są palety z materiałem, powinna być płaska, równa i nienarażona na zalanie wodą. W przypadku gdy dodatkowo powierzchnia jest utwardzona, palety z elementami murowymi można składować piętrowo – maksymalnie trzy warstwy (rys. 2). Zaleca się, aby materiał był składowany na paletach i był zabezpieczony folią. Należy ograniczyć wielokrotne przedstawianie palet z elementami murowymi. Najkorzystniej jest ustawiać palety z materiałem wzdłuż przyszłych ścian działowych, tak aby ograniczyć późniejszy transport ręczny, ale przede wszystkim obciążyć strop przed ich wykonaniem. Do przemieszczania palet na stropie wewnątrz budynku może być przydatny ręczny wózek widłowy.

Jeżeli na budowie wykorzystywane są elementy murowe o tych samych wymiarach, ale różnych właściwościach użytkowych (np. klasa gęstości), należy zwrócić uwagę na ich oddzielne składowanie lub dodatkowe oznaczenie uniemożliwiające ich pomyłkowe zastosowanie.

Zaprawę należy przechowywać w miejscu suchym i zabezpieczonym przed deszczem.

2.3. Organizacja prac

Na podstawie wieloletnich doświadczeń w prowadzeniu robót murowych zarówno w kraju, jak i za granicą zaleca się ich wykonywanie przez trzyosobowe brygady:

- pierwszy pracownik nakłada zaprawę, koryguje i pozycjonuje ustawienie elementów murowych,



Rys. 3. Murowanie pierwszej warstwy na zaprawie Tradycyjnej SOLBET o.5.

- drugi pracownik układa elementy murowe,
- trzeci pracownik dostarcza elementy murowe, przycina je oraz przygotowuje i dostarcza zaprawę na miejsce murowania.

Taka organizacja i podział pracy pozwala na bardzo znaczące ograniczenie czasu wykonania prac oraz uzyskanie wyższej jakości ścian, niż gdy całą pracę wykonuje jeden murarz. Oczywiście, w zależności od konkretnej sytuacji na budowie, podział czynności i liczba pracowników mogą być inne, dostosowane do miejscowych warunków.

3. Ściany działowe w systemie SOLBET OPTIMAL

W systemie SOLBET OPTIMAL elementy murowe z betonu komórkowego SOLBET łączone są zaprawą do cienkich spoin SOLBET o.1 lub SOLBET o.2. Do wykonania ścian działowych w systemie SOLBET OPTIMAL należy stosować wyroby i narzędzia opisane w referacie [2]. Każda zmiana, zarówno materiałowa, jak i w technologii wykonania, może w konsekwencji prowadzić do pogorszenia właściwości użytkowych ściany działowej w stosunku do tych, które są deklarowane przez producenta.

3.1. Wykonanie pierwszej warstwy

Na jakość i szybkość wykonania muru na cienkiej spoinie bardzo duży wpływ ma dokładność wykonania pierwszej warstwy. Ściany działowe wykonywane są przeważnie na płycie lub na stropie betonowym. Po wytyczeniu osi ściany należy wykonać niwelację i ustalić najniższy oraz najwyższy punkt podłoża. W przypadku stropów i płyt betonowych maksymalna dopuszczalna różnica wysokości (50 mm) nie jest przeważnie przekraczana. Elementy murowe pierwszej warstwy muruje się na zaprawie zwykłej – zaprawa Tradycyjna SOLBET o.5 (rys. 3). Zaprawę należy układać na przekładce uniemożliwiającej

połączenie ściany z podłożem i pozwalającej na odkształcenia ściany w kierunku jej osi podłużnej. Przekładkę tę najlepiej jest wykonać z dwóch warstw folii.

Murowanie rozpoczyna się od skrajnych bloczków (elementów murowych). Po ustabilizowaniu ich górnych płaszczyzn na jednym poziomie rozciąga się pomiędzy nimi sznur murarski i uzupełnia pierwszą warstwę. Przy ustawianiu bloczków stosuje się młotek gumowy i poziomnicę. Stabilizując bloczek przy pomocy młotka gumowego, łatwiej jest zapewnić jego połączenie z zaprawą na całej powierzchni styku, jednocześnie nie uszkadzając jego powierzchni zewnętrznych.

Spoiny pionowe wykonywane są z zaprawy do cienkich spoin (SOLBET o.1). Zaprawa powinna być przygotowana zgodnie z instrukcją zamieszczoną na opakowaniu. Do wykonania zaprawy należy użyć mieszadła zamocowanego w wiertarce wolnoobrotowej. Specjalna konstrukcja mieszadła umożliwia wymieszanie zaprawy bez jej napowietrzenia.

Ponieważ długość muru nie jest najczęściej wielokrotnością długości elementów murowych, długość ostatniego bloczka należy dopasować poprzez jego docięcie za pomocą piły ręcznej. Korzystanie z prowadnicy kątowej podczas cięcia ułatwia zachowanie równoległości i prostokątności ciętej powierzchni.

3.2. Wykonanie kolejnych warstw

Przed przystąpieniem do murowania kolejnych warstw należy upewnić się, czy spoina pozioma z zaprawy zwykłej pod pierwszą warstwą już się związała i ma odpowiednią wytrzymałość. Górna powierzchnia pierwszej warstwy (tak jak i każdej następnej) powinna być pozioma i równa. Każdorazowo przed rozpoczęciem murowania kolejnej warstwy zaleca się przeszlifować górną powierzchnię warstwy uprzednio wymurowanej. Pozwoli to na wyrównanie ewentualnych drobnych różnic w wysokości bloczków, które mają prawo się różnić w zakresie swojej dokładności wymiarowej ± 1 mm. Następnie, aby nie osłabić przyczepności zaprawy, należy



Rys. 4. Nadproża SOLBET w ścianie działowej.

pamiętać o zmieceniu pyłu. Murowanie każdej kolejnej warstwy rozpoczyna się od ustawienia bloczków na krańcach murowanej ściany. Zaprawę cienkowarstwową nakłada się za pomocą kielni o szerokości dostosowanej do grubości bloczków. Najlepiej nałożyć zaprawę na dwa, trzy bloczki, zwracając uwagę na to, aby nie zaczęła wiązać przed ustawieniem kolejnego bloczka. Następnie, tak jak wcześniej, ustawia się bloczki, korygując ich ustawienie za pomocą młotka z gumowym obuchem.

3.3. Wykonanie otworów w ścianach

W ścianach działowych przeważnie są wykonywane tylko otwory drzwiowe. Miejsce podparcia nadproży jest zawsze najsłabszym punktem ściany, narażonym na zarysowania. Dlatego mur wokół otworów należy wykonywać szczególnie starannie (patrz punkt 1.2.), zachowując możliwie najdłuższe przewiązania elementów murowych. Zaleca się, aby nadproża były oparte na elementach murowych pełnej długości (nieprzycinanych). W ścianach murowanych z bloczków z betonu komórkowego najkorzystniej jest zastosować nadproża SOLBET ze zbrojonego betonu komórkowego (rys. 4) przedstawione w referacie [2]. Nadproże należy dobrać, kierując się jedynie wymiarami otworu i grubością ściany. W przypadku ścian działowych nośność nadproży jest wystarczająca i z dużym zapasem przenoszą one obciążenie własne muru. Należy pamiętać o zachowaniu odpowiedniej długości podparcia [2].

W celu zwiększenia odporności muru na zarysowania zaleca się wykonanie wzmocnień naroży otworów poprzez umieszczenie w tynku siatek zgodnie z rys. 17.

3.4. Wykonanie krawędzi ściany działowej

Sposób wykonania krawędzi ścian działowych oraz ich połączenia z elementami konstrukcji budynku zależy



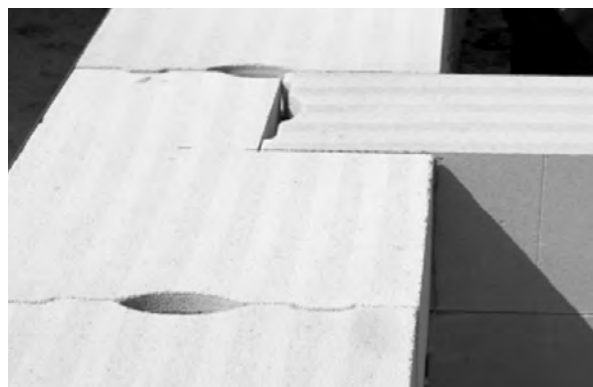
Rys. 5. Folia jako przekładka oddzielająca ścianę działową od podłoża.

od przyjętego w projekcie schematu statycznego i sposobu podparcia ściany. Zagadnienie to w odniesieniu do ścian wypełniających zostało przedstawione w referacie [7]. W referacie [2] zostały pokazane łączniki, które są wykorzystywane przy wykonywaniu tych połączeń.

3.4.1. Wykonanie krawędzi dolnej

Ściana działowa poprzez krawędź dolną opiera się na stropie lub płycie żelbetowej. Krawędź dolna jest jednocześnie pierwszą warstwą ściany, a jej prawidłowe wykonanie zostało przedstawione w punkcie 3.1. Niezależnie od tego jak dużych ugięć można się spodziewać od podłoża (stropu), na którym jest wykonywana ściana, powinno się ją ustawiać na warstwach poślizgowych (na przykład z dwóch warstw folii). W ten sposób uniemożliwi się połączenie ściany z podłożem i pozwoli na większą swobodę jej odkształceń w kierunku osi podłużnej wywołanych skurczem, a tym samym zwiększy się jej rysoodporność. Stabilizację położenia ściany uzyskuje się poprzez wykonanie warstw podłogowych. Należy zwrócić uwagę na oddzielenie ściany od podłogi w taki sam sposób, jak to się wykonuje przy podłodze pływającej.

W przypadku ścian działowych budowanych na stropach, na których nie przewiduje się wykonania odpowiednio grubych i sztywnych warstw podłogowych, stabilizację jej połączenia należy zapewnić w inny sposób, na przykład przez zakotwienie w betonowym podłożu trzpieni czy też kątowników wzdłuż ściany. Wybór rozwiązania zależy od konkretnych warunków i powinien być szczegółowo przedstawiony w projekcie wykonawczym. Projektant powinien uwzględnić wszystkie obciążenia i warunki, w jakich może znajdować się ściana w trakcie użytkowania. Na przykład, jeżeli ściana jest wykonywana w piwnicy lub garażu, należy przewidzieć okresowe gromadzenie się wody i nasiąkanie dolnych warstw muru. W takich przypadkach można ustawić ścianę na żelbetowej belce podwalinowej.



Rys. 6. Połączenie ściany działowej na tzw. „jaskółczy ogon”.



Rys. 7. Połączenie ściany działowej ze ścianą konstrukcyjną za pomocą łączników **P30** (stalowych ocynkowanych).



Rys. 8. Połączenie ściany działowej z żelbetowym elementem konstrukcyjnym za pomocą łącznika **K1** (stalowy ocynkowany).



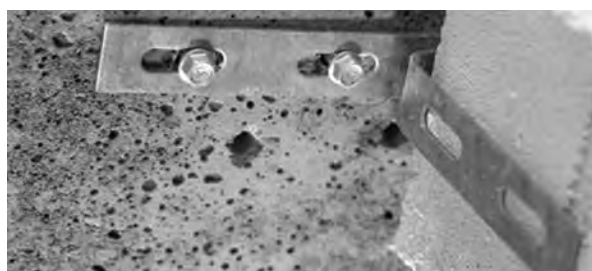
Rys. 9. Łącznik **D1** ze stali ocynkowanej do łączenia ścian działowych z żelbetowymi elementami konstrukcji budynku z zachowaniem możliwości niezależnych odkształceń.



Rys. 10. Wełna mineralna (jeszcze przed docięciem) wypełniająca szczelinę podstropową (w tym przypadku pod krawędzią stropu).



Rys. 11. Trwale elastyczna piana o dużym stopniu odkształcalności (np. Flexifoam) wypełniająca szczelinę pomiędzy ścianą działową a stropem.



Rys. 12. Łącznik **DS** ze stali ocynkowanej podczas wykonywania połączenia ściany działowej ze stropem.

3.4.2. Wykonanie krawędzi bocznych

W zależności od sposobu wykonania krawędzi bocznej (pionowej) i jej połączenia z konstrukcją budynku lub inną ścianą można uzyskać różny stopień podparcia: od pełnego utwierdzenia (uciąglenia) do swobodnego podparcia. Oczywiście krawędź boczna może też pozostać niepodparta [7].

Utwierdzenie krawędzi pionowej można wykonać w różny sposób. Rzadko stosowanym rozwiązaniem jest wykonanie połączenia przez przewiązanie, ponieważ trudno jest wówczas zapewnić uwzględnienie różnic dopuszczalnych deformacji [9]. To można zapewnić, wykonując połączenie na „jaskółczy ogon” (rys. 6). Jednak pracochłonność tego rozwiązania i brak możliwości późniejszej korekty położenia ściany działowej sprawia, że jest ono mało praktyczne.

Innym sposobem sztywnego podparcia ściany jest jej zamocowanie za pomocą łączników metalowych (rys. 7, 8). W tym przypadku łączniki występują w co drugiej warstwie bloczków na wysokości całej ściany działowej.

Pionowa szczelina pomiędzy elementem konstrukcji lub ścianą poprzeczną powinna być dokładnie wypełniona zaprawą. Należy pamiętać o takim umieszczeniu łączników w spoinach murów, aby zawsze były oddzielone od elementu murowego warstwą zaprawy.

Połączenie zapewniające w dużym stopniu niezależne odkształcenia ściany działowej i elementu konstrukcji budynku można wykonać, stosując łączniki pokazane na rys. 9. W przypadku zastosowania tych łączników pionową szczelinę należy szczelnie wypełnić wełną mineralną lub materiałem trwale plastycznym.

3.4.3. Wykonanie krawędzi górnej

Sposób wykonania krawędzi górnej ściany działowej (szczeliny podstropowej) jest podobnie jak i w przypadku krawędzi bocznych zależny od przyjętego w projekcie schematu statycznego i sposobu podparcia tej krawędzi.

Ze względu na możliwość ugięć stropu nad ścianą nie wykonuje się w zasadzie połączeń sztywnych.



Rys. 13. Metalowy łącznik (symbol **D3**) do połączenia odcinków ściany w szczelinie dylatacyjnej.

Pomimo że takie połączenie jest najlepsze ze względu na ochronę przed hałasem i odporność ogniową, to ryzyko oparcia się stropu na ścianie działowej zmusza do szukania innych rozwiązań.

Dla umożliwienia swobodnego uginania się stropu pomiędzy nim a ścianą działową należy zachować szczelinę o grubości od 1,5 do 3 cm. Jeżeli w projekcie nie określono inaczej, to szczelina podstropowa powinna mieć minimalną grubość około 2 cm w przypadku wypełnienia jej wełną mineralną o gęstości minimum 60 kg/m^3 (rys. 10) i 1,5 cm w przypadku wypełnienia jej pianką trwale elastyczną o dużym stopniu odkształcalności (rys. 11).

Jeśli w projekcie przewidziano podparcie ściany na górnej krawędzi, to można je wykonać poprzez zastosowanie łączników stalowych ocynkowanych typ **DS** (rys. 12).

3.5. Dylatacje

Jeżeli w projekcie nie zostało to inaczej określone, zgodnie z PN-EN 1996-2 [5] maksymalna odległość pomiędzy dylatacjami pionowymi dla niezbrojonych ścian działowych wynosi 6 m. Maksymalny rozstaw dylatacji pionowych można zwiększyć w przypadku ścian ze zbrojeniem w spoinach wspornych. Przerwy dylatacyjne powinny mieć do 20 mm szerokości i powinny być wypełnione materiałem trwale plastycznym. Rozdzielone dylatacją odcinki ściany należy połączyć ze sobą łącznikiem **D3** (rys. 13). Innym sposobem wykonania dylatacji jest obustronne nacięcie (na głębokości ok. 1/3 grubości muru) wykonanego w całości muru, a następnie wypełnienie tak powstałych szczelin materiałem trwale plastycznym.

3.6. Murowanie w niesprzyjających warunkach pogodowych

Ściany działowe wykonywane są najczęściej w warunkach, w których wpływ warunków atmosferycznych nie jest tak bardzo istotny. Jeżeli jednak ściany działowe będą wykonywane w niesprzyjających warunkach, to należy się stosować do tych samych zaleceń, które obowiązują przy wykonywaniu każdych innych robót murowych.

3.6.1. Murowanie w niskich temperaturach

Warunkowo dopuszczone jest prowadzenie robót murowych w obniżonych temperaturach. Wiąże się to z pewnymi obostrzeniami i koniecznością spełnienia istotnych wymagań [8]. Murowanie w warunkach obniżonych temperatur określa Instrukcja [9].

Zła ocena warunków pogodowych może być przyczyną nieprawidłowego wykonania robót. Dlatego o możliwościach prowadzenia robót murowych decyduje kierownik budowy i/lub inspektor nadzoru. Kierownik budowy i/lub inspektor nadzoru budowlanego oraz wykonawca powinni monitorować warunki murowania oraz inne czynniki, mające wpływ na jakość wykonywanych prac. W przypadku wykonywania ścian działowych stosunkowo łatwo jest zminimalizować wpływ niekorzystnych warunków pogodowych w zimie poprzez stosowanie na przykład kurtyn czy też nagrzewnic.

Podczas prowadzenia prac murarskich w temperaturze poniżej $+5^\circ\text{C}$ należy kontrolować:

- temperaturę składowanych bloczków,
- temperaturę wmurowywanych bloczków,
- temperaturę i sposób przygotowania zaprawy murarskiej,
- zabezpieczenie świeżej zaprawy przed niską temperaturą,
- temperaturę i warunki występujące podczas murowania,
- temperaturę i warunki występujące podczas wiązania zaprawy,
- warunki obciążeniowe i pogodowe występujące w pierwszym tygodniu po wykonaniu muru.

Bloczki powinny być składowane w temperaturze dodatniej. Bezpośrednio przed wmurowaniem nie powinny być składowane w temperaturze poniżej -20°C przez okres dłuższy niż 24 godziny. Wmurowywane bloczki nie powinny być przemarznięte, a ich powierzchnia nie powinna być oszroniona i zlodowaciała.

Do murowania w łagodnych warunkach zimowych, w temperaturach bliskich, ale nie niższych od 0°C przeznaczona jest produkowana przez SOLBET zimowa zaprawa murarska do cienkich spoin do betonu komórkowego [3].

Prace murarskie należy prowadzić w temperaturze powyżej 0°C . W temperaturach niższych od $+5^\circ\text{C}$ zaleca się do wymieszania zaprawy stosowanie ciepłej wody. Wymieszaną zaprawę należy chronić przed niską temperaturą (poniżej $+5^\circ\text{C}$). Jeżeli istnieje prawdopodobieństwo, że podczas wykonywania prac murarskich temperatura spadnie poniżej 0°C , prowadzenie robót należy przerwać. Po upływie 8 godzin od zastosowania zaprawy dopuszczalny jest spadek temperatury powietrza do -5°C .

Niedopuszczalne jest prowadzenie prac murarskich na murach przemarzniętych. Za mur przemarznięty uważa się mur po 48-godzinym przebywaniu w temperaturze poniżej -20°C . Murowania nie można prowadzić na

otwartej, nieosłoniętej przestrzeni podczas bezpośrednich opadów atmosferycznych.

Świeżo wymurowane ściany należy zabezpieczyć przed nagłym wychłodzeniem, osłaniając je szczelnie za pomocą kurtyn brezentowych. Zaleca się stosowanie nagrzewnic rozprowadzających równomiernie ciepłe powietrze pod kurtynami osłaniającymi świeżo wykonany mur.

Przed przystąpieniem do murowania zaleca się dokonanie prób związania wcześniej wymurowanych bloczków. Dzień wcześniej wymurowane bloczki należy sprawdzić, uderzając bocznie bloczki młotkiem z gumowym obuchem i obserwując, czy bloczki się nie odpajają. Jeśli to nie następuje, to oznacza, że prace murarskie można dalej prowadzić.

3.6.2. Murowanie w okresie letnim

Również w okresie letnim mogą występować warunki niesprzyjające prowadzeniu robót murowych [10]. W okresie letnim należy murować ściany działowe w systemie SOLBET OPTIMAL przy użyciu zapraw do cienkich spoin o.1 lub o.2.

Przy wysokich temperaturach i małej wilgotności powietrza, a także przy wietrznej pogodzie bez opadów, aby zmniejszyć chłonność bloczków i zminimalizować zbyt szybkie odciąganie wody z zaprawy, zaleca się zwilżenie murowanych powierzchni bloczków wodą.

Należy przestrzegać określonego czasu zachowania właściwości roboczych zaprawy, a nawet w niesprzyjających warunkach go skracać.

3.7. Warunki techniczne odbioru murowanych ścian działowych

Murowane ściany działowe w systemie SOLBET OPTIMAL powinny być wykonane zgodnie z zasadami sztuki budowlanej, wymaganiami aktualnych norm [4, 5], zasadami podanymi w niniejszym referacie oraz zapisami w projekcie wykonawczym. Odbiór robót murowych powinien się odbywać przed wykonaniem tynków i innych prac, których wykonanie może uniemożliwić dokonanie prawidłowej oceny wykonanych murów.

3.7.1. Warunki odbioru

W trakcie wykonywania muru należy na bieżąco kontrolować wypoziomowanie każdej warstwy, pionowość oraz płaskość powierzchni murowanej ściany. Należy też zwracać uwagę na prawidłowe przewiązania oraz równomierne rozłożenie zaprawy murarskiej i grubości spoin. Na

bieżąco należy również kontrolować prawidłowość osadzenia łączników i ewentualnego zbrojenia spoin wspornych.

Przy odbiorze należy zwrócić uwagę na zgodność wykonania ścian działowych z projektem, a szczególnie na sposób wykonania krawędzi i podparcia ścian działowych oraz sposób wykonania szczelin pionowych i podstropowej. Jeżeli mury były wykonywane w okresie występowania niekorzystnych warunków pogodowych, należy zwrócić uwagę na odpowiednie zapisy w dzienniku budowy.

3.7.2. Dopuszczalne odchyłki wykonania

Dopuszczalne odchyłki wykonania określone w PN-EN 1996-2 [5] są znacznie łagodniejsze niż te, które wcześniej obowiązywały w Polsce. Jednocześnie w normie [5] zaznaczono, że dopuszczalne odchyłki wymiarów mogą być zgodne z lokalnie przyjętą praktyką. Dlatego przy określaniu tych wielkości za podstawę przyjęto zapisy Instrukcji [13] oraz Warunków technicznych [11]. Szerzej to zagadnienie zostało przedstawione w referacie [7].

Przy odbiorze wykonanych ścian działowych należy sprawdzić ich wymiary, pionowość i płaskość. Maksymalne odchyłki wykonania muru nie powinny przekraczać poniższych wielkości, chyba że w projekcie zostały podane inne wartości:

- odchyłka od pionu ± 6 mm (na wysokości ściany) oraz ± 3 mm (na wysokości 1 m),
- odchylenie od poziomu górnej powierzchni muru ± 2 mm (na długości 1 m),
- wybrzuszenie muru ± 4 mm (na długości 1 m),
- skrócenie głębokości podparcia nadproży ≤ 10 mm,



Rys. 14. Sposób wykonania bruzdy w murze z betonu komórkowego.



Rys. 15. Układanie instalacji w bruzdzie instalacyjnej.

Tablica 1. Maksymalne głębokości bruzd i wnęk pionowych wg [4].

Grubość ściany [mm]	Bruzdy i wnęki wykonywane w gotowej ścianie		Bruzdy i wnęki wykonywane w trakcie wznoszenia muru	
	Maksymalna głębokość [mm]	Maksymalna szerokość [mm]	Maksymalna głębokość [mm]	Maksymalna szerokość [mm]
100	30	100	70	300
120	30	125	90	300

Uwagi:

1. Odległość w kierunku poziomym między sąsiednimi bruzdami lub od bruzdy do wnęki bądź otworu nie powinna być mniejsza niż 225 mm.
2. Odległość w kierunku poziomym między sąsiednimi wnękami, niezależnie od tego, czy występują po jednej, czy po obu stronach ściany, lub od wnęki do otworu, nie powinna być mniejsza niż dwukrotna szerokość szerszej z dwóch wnęk.
3. Zaleca się, aby łączna szerokość pionowych bruzd i wnęk nie przekraczała 0,13 długości ściany.

Tablica 2. Wymiary bruzd poziomych i ukośnych pomijalnych w obliczeniach wg [4].

Grubość ściany [mm]	Maksymalna głębokość [mm]	
	Długość bez ograniczeń	Długość ≤ 1250 mm
100	0	0
120	0	15

Uwagi:

1. Odległość pozioma między końcem bruzdy a otworem powinna być nie mniejsza niż 500 mm.
2. Odległość pozioma między przyległymi bruzdami o ograniczonej długości, niezależnie od tego, czy występują po jednej, czy po obu stronach ściany, powinna być nie mniejsza niż dwukrotna długość bruzdy dłuższej.
3. Szerokość bruzdy nie powinna przekraczać połowy grubości ściany w miejscu bruzdy.

**Rys. 16.** Instalacja elektryczna przygotowana do zakrycia tynkiem.

- odchylenie wymiarów otworów w świetle ościeży dla otworów ± 10 mm.

● 3.8. Zasady wykonania bruzd i wnęk

w ścianach działowych

W ścianach działowych wykonanych w systemie SOLBET OPTIMAL można wykonywać bruzdy i wnęki zgodnie z warunkami określonymi w normie [4]. Bruzdy i wnęki nie powinny pogorszać stateczności ściany.

Dopuszczalne głębokości bruzd i wnęk pionowych w ścianach działowych przedstawiono w tablicy 1, natomiast dopuszczalne głębokości bruzd i wnęk poziomych i ukośnych przedstawiono w tablicy 2.

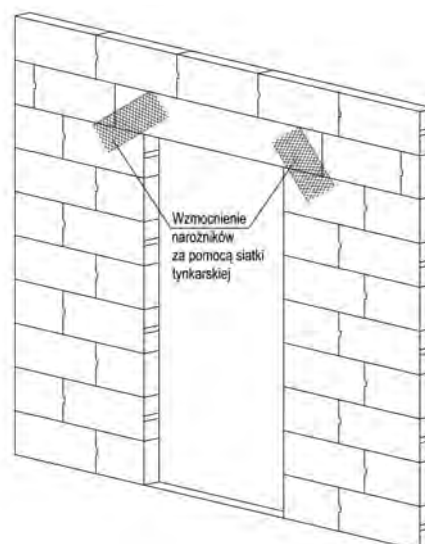
3.9. Wykańczanie powierzchni ścian działowych

Do wykończenia ścian działowych można stosować różnego rodzaju techniki wykończenia. Wykończenie to

powinno odpowiadać warunkom użytkowania oraz przeznaczeniu pomieszczeń. Najczęściej wykonuje się różnego rodzaju tynki.

3.9.1. Tynki

Precyzyjne wykonanie ściany z bloczków SOLBET bardzo ułatwia jej wykończenie. Na proste i równe powierzchnie ściany można nałożyć tynk o grubości 5 mm. Dzięki temu ogranicza się zużycie materiałów. Przed tynkowaniem należy ścianę oczyścić z pyłu i kurzu. Niekiedy należy również ją zagruntować. To, pod który tynk należy wykonać gruntowanie podłoża, wynika z opisu zamieszczonego

**Rys. 17.** Wzmocnienie muru w narożach otworu okiennego siatką tynkarską.

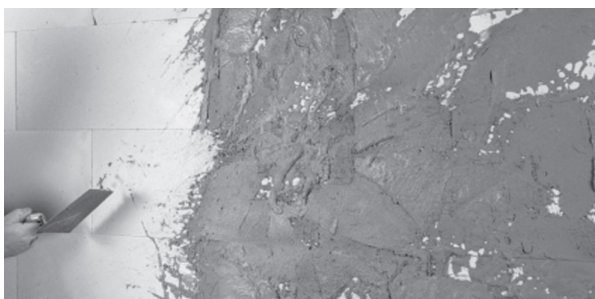
na opakowaniu tynku (nie wymaga tego np. tynk stosowany zazwyczaj na zewnątrz Terazyt, który jest tynkiem nakrapianym). Do tych celów stosuje się emulsje gruntujące SOLBET. Ograniczenie niebezpieczeństwa powstania rys w narożach otworów osiąga się poprzez wzmocnienie tynku w tych miejscach siatką tynkarską (rys. 17).



Rys. 18. Tynk maszynowy SOLBET cementowo-wapienny 5.2 nakładany na ścianę z betonu komórkowego.



Rys. 19. Tynk maszynowy SOLBET w trakcie zacierania.



Rys. 20. Tynk cementowo-wapienny SOLBET 5.1 narzucany na ścianę.



Rys. 21. Tynk cementowo-wapienny SOLBET 5.1 w trakcie zaciągania.

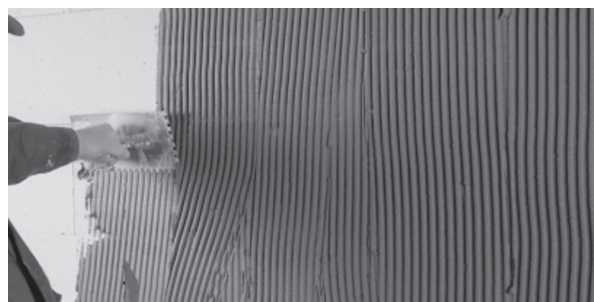
Na mineralne podłoże, jakim jest ściana z betonu komórkowego, najlepsze są tynki mineralne, czyli cementowo-wapienne tynki SOLBET. Są odporne na działanie wilgoci, ale też charakteryzują się dobrą wytrzymałością mechaniczną oraz są paroprzepuszczalne. Łatwo się je

nakłada, są uniwersalne, można je stosować również na różnego rodzaju inne podłoża (rys. 18, 19, 20 i 21).

Tynki SOLBET przeznaczone do wykańczania ścian działowych przedstawiono w referacie [2]. Przy przygotowaniu oraz układaniu tynków należy się stosować do instrukcji zamieszczonej na opakowaniu.

3.9.2. Okładziny

Na powierzchnie ścian działowych z betonu komórkowego można przyklejać bezpośrednio płytki ceramiczne, stosując kleje do glazury SOLBET. Płytki na prostych i równych ścianach układa się za pomocą zaprawy klejącej Gabit Interior 7.3. lub Gabit SUPER 7.1. [3] (rys. 22 i 23). Przed nałożeniem kleju ścianę należy oczyścić z pyłu i kurzu. Dla poprawy przyczepności można zagruntować powierzchnię ściany, stosując do tego np. emulsję gruntującą – Grunt Akrylowy Głębokopenetrujący 9.7 [3].



Rys. 22. Nanoszenie zaprawy klejącej SOLBET Gabit INTERIOR 7.3.



Rys. 23. Przyklejanie płytek za pomocą zaprawy klejącej SOLBET Gabit INTERIOR 7.3.

3.10. Mocowanie obciążeń

Na ścianach działowych zawieszane są szafki, obrazy, telewizory itp., od których obciążenie powoduje powstanie w ścianach sił wewnętrznych (momentów i sił poprzecznych). Do mocowania należy stosować wyłącznie kotwy przeznaczone przez ich producenta do stosowania w podłożach z betonu komórkowego [2], a ich nośność należy sprawdzić obliczeniowo, uwzględniając wymiary i obciążenia wieszanych przedmiotów. Do wykonywania otworów należy stosować wiertarkę bez udaru.

3.11. Użytkowanie

Dla ścian wykonanych w systemie SOLBET OPTIMAL nie ma zaleceń odnoszących się do ich użytkowania odbiegających od tych, które są powszechnie przyjęte dla murowanych ścian działowych.

4. Ściany działowe w systemie SOLBET SMART

W systemie SOLBET SMART elementy murowe z betonu komórkowego SOLBET łączone są klejem poliuretanowym SOLBET SMART. Ściany działowe w systemie SOLBET SMART należy wykonywać z zachowaniem postanowień aprobaty technicznej AT-15-9080/2013 [12] oraz eurokodowskich norm murowych PN-EN 1996-1-1 [4] i PN-EN 1996-2 [5]. Wszystkie niezbędne wyroby i narzędzia zostały opisane w referacie [2]. Podobnie jak w przypadku systemu SOLBET OPTIMAL, również w przypadku systemu SOLBET SMART należy pamiętać, że każda zmiana, zarówno materiałowa, jak i w technologii wykonania, może w konsekwencji prowadzić do pogorszenia właściwości użytkowych ściany działowej w stosunku do tych, które są deklarowane przez producenta.

Zasady wykonywania ścian działowych w obu systemach w wielu punktach są takie same. Dlatego w poniższym opisie wykonania ścian w systemie SOLBET SMART w tych punktach, w których nie ma różnic pomiędzy systemami, powołano się na odpowiednie zapisy w wytycznych dla systemu SOLBET OPTIMAL. W przypadku tych punktów, w których występują jakiegokolwiek różnice, opis odpowiedniego etapu wykonania został zamieszczony w całości, bez skrótów.

4.1. Wykonanie pierwszej warstwy

Na jakość i szybkość wykonania muru na kleju poliuretanowym bardzo duży wpływ ma dokładność wykonania pierwszej warstwy. Ściany działowe wykonywane są przeważnie na płycie lub na stropie betonowym. Po wytyczeniu osi ściany należy wykonać niwelację i ustalić najniższy oraz najwyższy punkt podłoża. W przypadku stropów i płyt betonowych maksymalna dopuszczalna różnica wysokości (50 mm) nie jest przeważnie przekraczana. Elementy murowe pierwszej warstwy muruje się na zaprawie zwykłej – zaprawa Tradycyjna SOLBET 0.5 (rys. 3). Zaprawę należy układać na przekładce uniemożliwiającej połączenie ściany z podłożem i pozwalającej na odkształcenia ściany w kierunku jej osi podłużnej. Przekładkę tę najlepiej jest wykonać z dwóch warstw folii.

Murowanie rozpoczyna się od skrajnych bloczków (elementów murowych). Po ustabilizowaniu ich górnych płaszczyzn na jednym poziomie rozciąga się pomiędzy nimi sznur murarski i uzupełnia pierwszą warstwę. Przy ustawianiu bloczków stosuje się młotek gumowy i poziomnicę. Stabilizując bloczek przy pomocy młotka gumowego, łatwiej jest zapewnić jego połączenie z zaprawą na całej powierzchni styku, jednocześnie nie uszkadzając jego powierzchni zewnętrznych. Spoiny pionowe wykonywane są klejem poliuretanowym.

Ponieważ długość muru nie jest najczęściej wielokrotnością długości elementów murowych, długość ostatniego bloczka należy dopasować poprzez jego docięcie za pomocą piły ręcznej. Korzystanie z prowadnicy kątovej podczas cięcia ułatwia zachowanie równoległości i prostokątności ciętej powierzchni (rys. 24). Ostatni bloczek jest dopasowywany w dowolnym miejscu w murze. Wymaga precyzyjnego docięcia oraz dokładnego wypełnienia zaprawą lub klejem spoin pionowych.



Rys. 24. Docinanie bloczków za pomocą piły ręcznej i prowadnicy kątovej.

4.2. Wykonanie kolejnych warstw

Przed przystąpieniem do murowania kolejnych warstw należy upewnić się, czy spoina pozioma z zaprawy zwykłej pod pierwszą warstwą już związała i ma odpowiednią wytrzymałość. Górna powierzchnia pierwszej warstwy (tak jak i każdej następnej) powinna być pozioma i równa. Każdorazowo przed rozpoczęciem murowania kolejnej warstwy zaleca się przeszlifować górną powierzchnię warstwy uprzednio wymurowanej (rys. 25). Pozwoli to na wyrównanie ewentualnych drobnych różnic w wysokości bloczków, które mają prawo się różnić w zakresie swojej dokładności wymiarowej ± 1 mm. Powierzchnie bloczków, na które nakładany jest klej, należy oczyścić zmiotką z zanieczyszczeń obniżających przyczepność (rys. 26). Zaleca się zwilżenie powierzchni bloczków wodą, szczególnie gdy wilgotność powietrza jest niska i bloczki są suche (rys. 27).

Murowanie każdej kolejnej warstwy rozpoczyna się od ustawienia bloczków na krańcach murowanej ściany. Ściany klejone w systemie SOLBET SMART powinny



Rys. 25. Szlifowanie górnej powierzchni bloczków przed murowaniem kolejnej warstwy.



Rys. 26. Usuwanie pyłu z powierzchni bloczków przed nałożeniem kleju poliuretanowego.



Rys. 27. Zwilżanie powierzchni suchych bloczków przed nałożeniem kleju poliuretanowego.



Rys. 28. Przygotowanie kleju poliuretanowego.



Rys. 29. Nakładanie kleju poliuretanowego SOLBET SMART na powierzchnię bloczków z betonu komórkowego SOLBET za pomocą pistoletu.



Rys. 30. Klej poliuretanowy SOLBET SMART powinien być nakładany pasem o szerokości ok. 30 mm.



Rys. 31. Kolejne fazy przyklejania bloczka z betonu komórkowego SOLBET klejem poliuretanowym SOLBET SMART.

mieć wypełnione klejem poliuretanowym SOLBET SMART spoiny wsporne i czołowe (poziome i pionowe powierzchnie bloczków). Murowanie powinno odbywać się w temperaturze otoczenia i elementów murowych od $+5^{\circ}\text{C}$ do $+30^{\circ}\text{C}$. Przed użyciem puszkę z klejem należy silnie wstrząsać (rys. 28). Na bloczki z betonu komórkowego grubości 100 i 120 mm klej należy nakładać za pomocą pistoletu (rys. 29), pasem o szerokości ok. 30 mm równoległe do osi elementu murowego (rys. 30). Czas otwarty (tj. czas zachowania zdolności klejenia w temperaturze $+23^{\circ}\text{C}$ i przy wilgotności względnej 50%) wynosi 5 minut (optymalny czas otwarty: 3 minuty). Korygowanie położenia elementu murowego może być wykonywane w czasie nie dłuższym niż 5 minut od połączenia elementów. Czas wiązania kleju wynosi 2 godziny. Po nałożeniu kleju uprzednio przygotowane i oczyszczone bloczki ustawia się i dociska bez użycia narzędzi (rys. 31).

4.3. Wykonanie otworów w ścianach

W ścianach działowych przeważnie są wykonywane tylko otwory drzwiowe. Miejsce podparcia nadproży jest zawsze najsłabszym punktem ściany, narażonym na zarysowania. Dlatego mur wokół otworów należy wykonywać szczególnie starannie (patrz punkt 1.2.), zachowując możliwie najdłuższe przewiązania elementów murowych. Zaleca się, aby nadproża były oparte na elementach murowych pełnej długości (nieprzycinanych) – rys. 32. W ścianach murowanych z bloczków z betonu komórkowego można zastosować nadproża SOLBET ze zbrojonego betonu komórkowego przedstawione w referacie [2].

Nadproże należy dobrać, kierując się jedynie wymiarami otworu i grubością ściany. W przypadku ścian działowych nośność nadproży jest wystarczająca i z dużym zapasem przenoszą one obciążenie własne muru. Należy pamiętać o zachowaniu odpowiedniej długości podparcia [2].

Innym sposobem wykonania nadproży w systemie SOLBET SMART jest sklejenie z tych samych bloczków, z których jest wykonywana cała ściana. Na czas montażu i wiązania kleju konieczne jest stabilne podparcie bloczków tworzących nadproże.

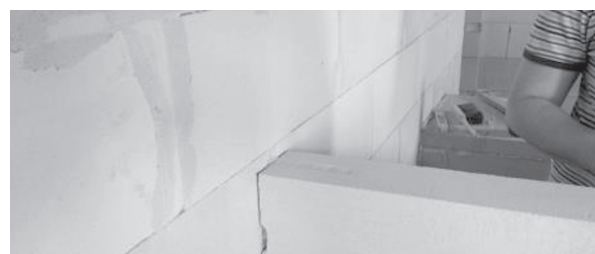


Rys. 32. Prawidłowe oparcie nadproża ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie działowej wykonanej w systemie SOLBET SMART (na kleju poliuretanowym).

W celu zwiększenia odporności muru na zarysowania zaleca się wykonanie wzmocnień naroży otworów poprzez umieszczenie w tynku siatek zgodnie z rys. 17.

4.4. Wykonanie krawędzi ściany działowej

Sposób wykonania krawędzi ścian działowych oraz ich połączenia z elementami konstrukcji budynku zależy od przyjętego w projekcie schematu statycznego i sposobu podparcia ściany.



Rys. 33. Kolejne fazy mocowania łącznika w spoinie muru wykonanego w systemie SOLBET SMART na kleju poliuretanowym.

Zasady wykonywania krawędzi ścian działowych w systemie SOLBET SMART, poza jednym szczegółem (omówionym poniżej), nie różnią się od tych, które obowiązują w systemie SOLBET OPTIMAL i zostały opisane w punkcie 3.4.

Przy mocowaniu łączników należy uwzględnić, że ich grubość jest znacznie większa od grubości spoiny wykonanej z kleju poliuretanowego. Dlatego do prawidłowego zamocowania łączników konieczne jest wykonanie wyźłobienia w górnej powierzchni bloczków, w miejscu gdzie będzie osadzony łącznik (rys. 33). Należy pamiętać o tym, że łącznik powinien być przymocowany mechanicznie do bloczka i oddzielony warstwami kleju od betonu komórkowego zarówno od dołu, jak i od góry.

4.5. Dylatacje

Zgodnie z punktem 3.5.

4.6. Murowanie w niesprzyjających warunkach pogodowych

Zgodnie z punktem 3.6.

4.6.1. Murowanie w niskich temperaturach

Zastosowanie kleju SOLBET SMART umożliwia wykonywanie murów tylko w zakresie temperatur wiązania kleju, czyli powyżej +5°C. Nie jest dopuszczalne wykonywanie ścian przy użyciu kleju SOLBET

SMART w temperaturach niższych. Dalej zgodnie z punktem 3.6.1.

4.6.2. Murowanie w okresie letnim

Należy pamiętać, że polimeryzacja kleju SOLBET SMART następuje z udziałem wilgoci. Dlatego latem, ze względu na możliwe wysuszenie materiału oraz powietrza, zaleca się zroszenie bloczków wodą przy użyciu spryskiwacza. Pozostałe zalecenia są identyczne, jak to opisano w punkcie 3.6.2.

4.7. Odbiór

Zgodnie z punktem 3.7.

4.8. Układanie instalacji i przewodów w bruzdach

Zgodnie z punktem 3.8.

4.9. Wykańczanie powierzchni ścian działowych

Zgodnie z punktem 3.9.

4.10. Mocowanie obciążeń

Zgodnie z punktem 3.10.

4.11. Użytkowanie

Zgodnie z punktem 3.11.

Literatura:

- [1] Misiewicz L., Rybarczyk T.: *Właściwości murowanych ścian wypełniających z autoklawizowanego betonu komórkowego*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [2] Misiewicz L., Rybarczyk T.: *Wyroby do wykonywania ścian działowych w systemach SOLBET OPTIMAL i SOLBET SMART*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [3] Katalog produktów 2014, SOLBET Sp. z o.o.
- [4] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych*, Część 1-1: *Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych*.
- [5] PN-EN 1996-2:2010P, Eurokod 6: *Projektowanie konstrukcji murowych*, Część 2: *Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów*.
- [6] Jasiński R.: *Warunki konstruowania ścian wypełniających*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [7] Jasiński R.: *Kształtowanie i wykonawstwo ścian wypełniających*. Ściany wypełniające. Projektowanie i Wykonawstwo. Akademia Solbet, 2014.
- [8] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: *Konstrukcje murowe. Według Eurokodu 6 i norm związanych*. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [9] Instrukcja ITB nr 282/2011: *Wykonywanie konstrukcji budowlanych w obniżonych temperaturach*, ITB. Warszawa 2011.
- [10] Misiewicz L.: *Powadzenie robót murowych w okresie letnim*. Materiały Budowlane, 6/2011, s. 66.
- [11] *Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych*, Tom I Budownictwo ogólne, część 2. Arkady, Warszawa 1990.
- [12] AT-15-9080/2013 *Aprobata Techniczna: Klej poliuretanowy do ścian działowych z betonu komórkowego Solbet Smart Klej – Piana do bloczków*. ITB. Warszawa 2013.
- [13] Instrukcja ITB nr 425/2006: *Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, część A: Roboty ziemne i konstrukcyjne, zeszyt 3: Konstrukcje murowe*. ITB. Warszawa 2006.
- [14] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz.U. 1994, nr 89, poz. 414 z późniejszymi zmianami)
- [15] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 23 czerwca 2003 r. w sprawie informacji dotyczącej bezpieczeństwa i ochrony zdrowia oraz planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia.



Złote Medale MTP

2012 - dla Systemu Solbet Perfect

2013 - dla Systemu Solbet Smart

SOLBET



Projektujemy świadomie



Projektujemy systemowo i z najlepszych materiałów

Idealnie dopasowane materiały to gwarancja precyzyjnego, bezpiecznego i sprawnego budowania. Taką możliwość daje nam system SOLBET Perfekt.

Dzięki temu dom zaprojektowany w tym systemie będzie energooszczędny, trwały i dobrze wybudowany.

Projektujemy świadomie, dlatego wybraliśmy system SOLBET Perfekt.

Więcej na www.solbet.pl

Infolinia techniczna
801 999 777



Cena: 65,00 PLN

Ściany wypełniające. Projektowanie i wykonawstwo

Wydanie I, rok 2014

ISBN 978-83-939244-0-0

www.solbet.pl
www.solbetperfekt.pl