

Naprawy i wzmocnienia konstrukcji murowych

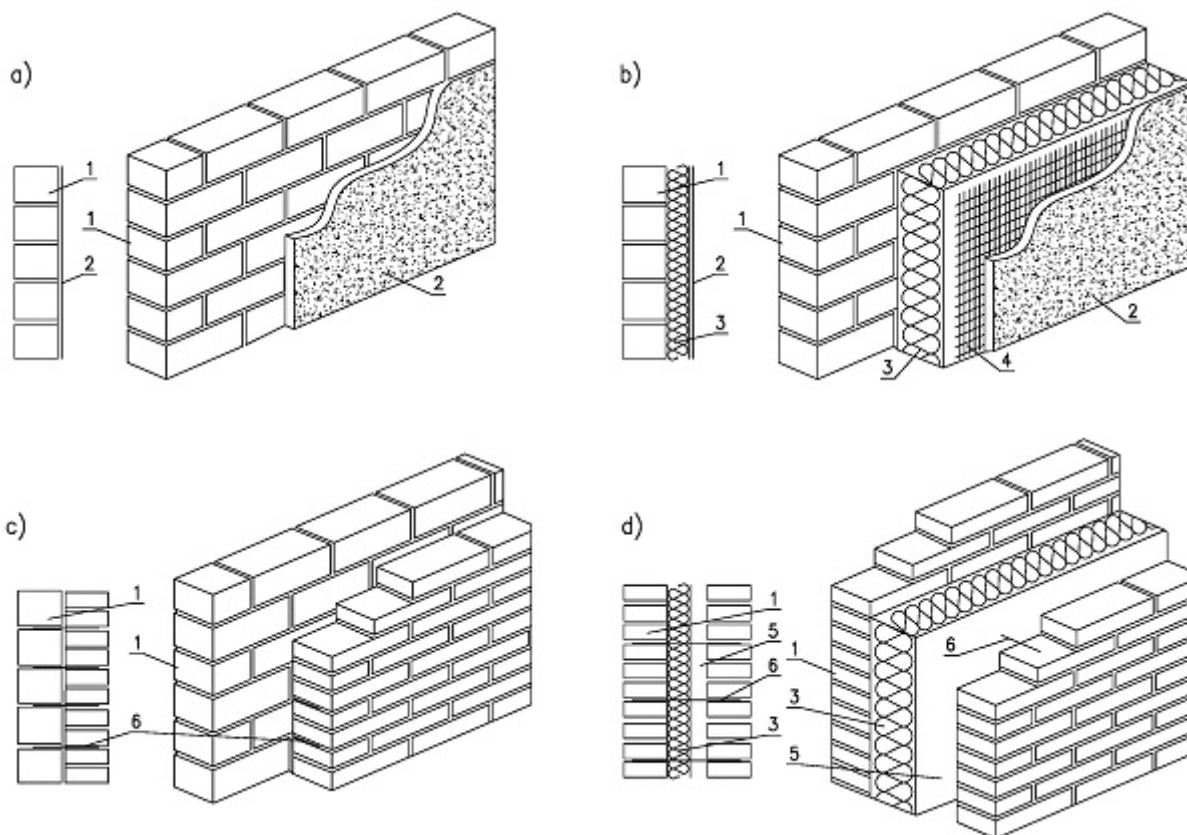
Konstrukcje murowe, zwane również ścianami, stanowią jeden z najważniejszych elementów konstrukcyjnych we wszelkiego typu obiektach. Od ich stanu technicznego zależy w dużej mierze trwałość innych elementów. Dlatego tak ważna jest diagnostyka ścian, wczesne wykrywanie usterek i ich monitorowanie, aby móc przeprowadzić w odpowiednim momencie naprawę.

Rodzaje ścian

Ściany - w zależności od charakteru pracy statycznej i przeznaczenia - dzieli się na konstrukcyjne i niekonstrukcyjne.

Ściany konstrukcyjne, zwane również nośnymi, przenoszą obciążenia od ciężaru własnego oraz obciążenia przekazywanego ze stropów, dachu, balkonów, schodów, a także od parcia gruntu itp. Minimalna grubość ścian konstrukcyjnych z muru o wytrzymałości charakterystycznej $f_k \geq 5 \text{ N/mm}^2$ powinna wynosić 100 mm, a w przypadku wytrzymałości $f_k < 5 \text{ N/mm}^2$ - 150 mm. Minimalna grubość ścian usztywniających powinna wynosić 180 mm.

Ściany niekonstrukcyjne, do których zalicza się ściany działowe i osłonowe, w obliczeniach uważa się za nieprzejmujące obciążenia od innych elementów budynku, przez co można je usunąć bez szkody dla nośności całej konstrukcji budynku, np. w razie potrzeby zmiany wystroju bądź funkcji użytkowej pomieszczeń. Ściany osłonowe stanowią wypełnienie zewnętrzne konstrukcji nośnej budynku. Przenoszą one obciążenia od ciężaru własnego oraz wiatru w obrębie jednego pola wypełnienia konstrukcji, np. między słupami i poziomymi ryglami konstrukcji szkieletowej budynku. Ściany działowe są przegrodami wewnętrznymi oddzielającymi pomieszczenia budynku.



Rys.

1. Rodzaje ścian: a) jednowarstwowa, b) jednowarstwowa z ociepleniem, c) dwuwarstwowa, d) szczelinowa:
1 - warstwa nośna, 2 - tynk, 3 - izolacja termiczna, 4 - siatka, 5 - szczelina powietrzna, 6 - kotwy

Zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1:2009 rozróżnia się następujące rodzaje ścian (rys. 1):

- jednowarstwowa (rys. 1a, b) – ściana bez ciągłej spoiny pionowej (podłużnej) lub szczeliny na całej wysokości muru
- dwuwarstwowa (rys. 1c) – ściana składająca się z dwóch równoległych murów ze spoiną podłużną wypełniona całkowicie zaprawą murarską, połączonych ze sobą kotwami w sposób zapewniający wspólne przenoszenie obciążeń
- szczelinowa ze szczeliną wypełnioną materiałem nienośnym (rys. 1d) – ściana składająca się z dwóch równoległych, pionowych warstw muru, połączonych ze sobą trwale kotwami lub zbrojeniem w spoinach wspornych, z których jedna lub obie przenoszą obciążenie pionowe; przestrzeń między obu warstwami stanowi szczelinę niewypełnioną, wypełnioną lub częściowo wypełnioną nienośnym materiałem termoizolacyjnym
- szczelinowa z wypełnioną szczeliną – ściana składająca się z dwóch równoległych murów ze szczeliną wypełnioną w pełni betonem lub zaprawą murarską, zespolonych za pomocą kotew lub zbrojenia w spoinach wspornych w sposób zapewniający wspólne przenoszenie obciążeń.

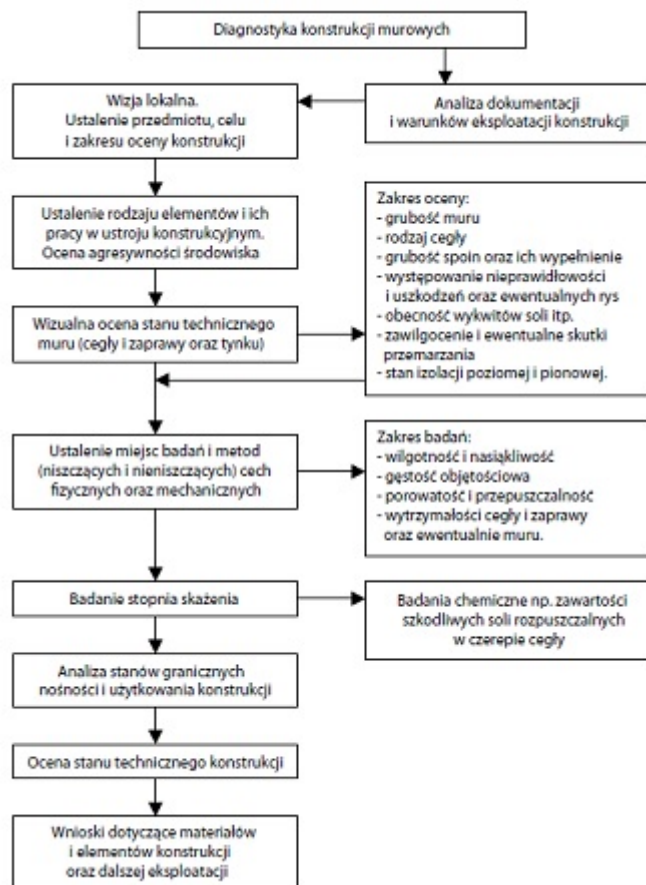
Diagnostyka konstrukcji murowych

Diagnostyka techniczna to określenie stanu technicznego konstrukcji na podstawie zgromadzonej o niej wiedzy, w tym także wyników przeprowadzonych badań. W przypadku konstrukcji murowych główne działania diagnostyczne można przedstawić schematycznie, jak na rysunku 2.

Analiza dokumentacji archiwalnej pozwala na rozpoznanie rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych remontowanego obiektu, w tym zmian dokonywanych w konstrukcji.

Wizja lokalna, czyli oględziny ocenianej konstrukcji, pozwala na:

- ustalenie przedmiotu, celu oraz zakresu oceny
- określenie rodzaju i funkcji, jaką element spełnia w ustroju
- ustalenie warunków pracy elementu murowego, a w szczególności warunków wilgotnościowych lub ewentualnego źródła skażenia
- ocenę wstępną stanu cegły, zaprawy i tynku oraz stwierdzenie ewentualnych zarysowań i ich charakteru.



Rys. 2. Schemat działań diagnostycznych

Obserwacje wizualne powinny umożliwić ustalenie ewentualnych miejsc występowania uszkodzeń, określenie ich rozmieszczenia, wstępną ocenę przyczyn uszkodzeń, niewłaściwe wykonanie lub niewłaściwe zastosowanie elementów konstrukcyjnych, a także prawidłowość eksploatacji. Wyniki wizji lokalnej są podstawą do wytypowania miejsc pobrania próbek do ewentualnych badań laboratoryjnych w celu określenia zmian właściwości fizycznych i ewentualnie uszkodzeń mechanicznych powstałych w wyniku użytkowania materiałów oraz ustalenia stopnia ich skażenia w wyniku działania środowiska o zwiększonej agresywności.

Po wykonaniu oceny wstępnej przystępuje się do oceny szczegółowej obejmującej: materiał konstrukcyjny ściany (badania właściwości fizycznych, mechanicznych i chemicznych), analizę stanu granicznego, ocenę bezpieczeństwa konstrukcji oraz wnioski i zalecenia końcowe.

Badania „in situ” przeprowadza się na miejscu, na obiekcie. Mogą to być badania nieniszczące (np. pomiary geodezyjne ugięć elementów konstrukcyjnych, badanie zawilgocenia ścian za pomocą aparatury elektronicznej) lub odkrywki (np. fundamentów w celu sprawdzenia materiału konstrukcyjnego lub głębokości posadowienia budynku, murów w celu sprawdzenia układu i jakości poszczególnych warstw, zawilgocenia, zasolenia).

Badania laboratoryjne, wymagające zastosowania aparatury specjalistycznej, przeprowadza się na specjalnie pobranych próbkach (np. odwiertach). Zakres badań obejmuje m.in. określenie wytrzymałości pobranego materiału oraz wilgotności lub zasolenia.

Analizę stanu granicznego konstrukcji przeprowadza się po zebraniu materiałów, dotyczących wszystkich czynników mających lub mogących mieć wpływ na stan konstrukcji. Jeżeli zachodzi podejrzenie, że konstrukcja może być zagrożona wskutek osiągnięcia stanu granicznego, konieczne są obliczenia sprawdzające, potwierdzające lub wykluczające możliwość osiągnięcia takiego stanu. Obliczenia powinny także dotyczyć stanu konstrukcji murej w trakcie lub po naprawie (wzmocnieniu).

Ocena stanu technicznego powinna przede wszystkim zawierać wniosek, określający stopień zagrożenia wystąpieniem awarii lub uszkodzenia konstrukcji. Ponadto ocena powinna wskazać przyczyny wystąpienia uszkodzeń i sposoby ich usunięcia lub zabezpieczenia konstrukcji przed ich dalszym oddziaływaniem.

Dopiero wtedy formułuje się wnioski dotyczące możliwości i sposobu naprawy, wzmocnienia i

zabezpieczenia konstrukcji na okres dalszej eksploatacji.

Morfologia rys w ścianach

Morfologia rys służy zwykle do oceny stanu wyężenia konstrukcji oraz umożliwia określenie przyczyn pojawienia się zarysowań konstrukcji.

Przyczyny pojawienia się rys w konstrukcjach murowych można podzielić na dwie grupy:

- materiałowo-fizyczne, obejmujące skurcz, wahania temperatury, pęcznienie, błędy konstrukcyjne i wykonawcze
- wytrzymałościowe, obejmujące przeciążenie (nadmierne odkształcenia), nierównomierne osiadanie konstrukcji i podłoża gruntowego oraz wpływy dynamiczne i wyjątkowe.

Rysy spowodowane nierównomiernym osiadaniem konstrukcji

Pęknięcia murów, będące objawem znacznych odkształceń budowli, pojawiają się na skutek nierównomiernego osiadania podłoża gruntowego, powodując ugięcia fundamentu i ściany.

Przyczyną osiadania gruntu jest też zmiana jego spójności, wywołana częstymi zmianami poziomu wód gruntowych. Grunt, spulchniony pod fundamentami budynku, na skutek podwyższania się i obniżania zwierciadła wody gruntowej, jest nierównomiernie ściskany przez budynek. Nierównomierne ściskanie gruntu powoduje z kolei osiadanie i pękanie budynku.

Podmywanie fundamentów może być spowodowane ruchami wód gruntowych lub awarią przewodów wodociągowych lub centralnego ogrzewania. Również przy wykonywaniu głębokiego wykopu obok istniejącego budynku może wystąpić przecięcie żyły wodnej i wymywanie gruntu pod fundamentem.

Rysy spowodowane przeciążeniem elementów konstrukcyjnych

Przez przeciążenie należy rozumieć takie obciążenie elementu konstrukcyjnego budynku, które jest większe od obciążenia przewidzianego i przyjętego w prawidłowo wykonanych obliczeniach statycznych projektu.

Przeciążenie elementu może być wywołane przekroczeniem osiowych naprężeń rozciągających lub ściskających, naprężeń przy zginaniu lub mimośrodowym ściskaniu bądź rozciąganiu, ścinaniu i skręcaniu.

W przypadku konstrukcji murowych przeciążenie może wynikać m.in. z wadliwego projektu, zmiany schematu statycznego wskutek wadliwego wykonania konstrukcji, nadbudowy, przeróbek konstrukcji lub zmiany funkcji obiektu.

Rysy wywołane wahaniami temperatury

Przez wahania temperatury należy rozumieć zmiany temperatury powietrza, zmiany temperatury wywołane różnymi procesami technologicznymi w budynkach przemysłowych, temperatury pożarowe itp. Wzrost temperatury wywołuje rozszerzenie się muru. Ochłodzenie natomiast działa podobnie jak skurcz, powodując powstanie rys takiego samego typu.

Współczynnik liniowej odkształcalności termicznej α_t , zależny od rodzaju elementów murowych, wynosi od $4-8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (elementy ceramiczne) do $6-12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (beton na kruszywach lekkich). W warunkach swobodnego odkształcenia wydłużenie lub skrócenie ściany jest niegroźne i, co najwyżej, może wywołać mikrorysy w spoinach pionowych. Przy ograniczeniu swobody odkształceń termicznych i skurczowych, np. jeżeli ściana ceramiczna współpracuje z ciągłym wieńcem żelbetonowym, pęknięcie wieńca powoduje często, że w tym samym przekroju tworzy się również rysa w murze.

Analizując przykłady zarysowań wywołanych temperaturą należy stwierdzić, że najczęstsze przypadki ich wystąpienia związane są z niewłaściwym rozwiązaniem konstrukcyjnym w miejscu połączeń dwóch (lub więcej) materiałów o różnym współczynniku rozszerzalności cieplnej.

Zarysowania spowodowane skurczem i pęcznieniem

W procesie skurczu wyróżnić można zjawiska o charakterze nieodwracalnym, zwane ogólnie skurczem pierwotnym oraz zjawiska o charakterze odwracalnym, określane mianem skurczu wtórnego. Proces skurczu pierwotnego związany jest z czynnikami chemicznymi i wynika przede wszystkim z karbonatyzacji zawartych w murze związków wapnia.

W konstrukcjach murowych podstawowe znaczenie ma skurcz wtórny związany ze zmianami wilgotności muru. Jego wielkość tego skurczu zależy głównie od początkowej wilgotności muru, wilgotności środowiska oraz wielkości elementu konstrukcji. Skurcz wtórny muru nie podlegającego dalszemu zawilgoceniu

stabilizuje się po 3-5 latach.

Wprowadzenie do produkcji i stosowanie w budownictwie elementów murowych o objętości wielokrotnie przekraczającej objętość jednej cegły oraz zastosowanie mocnych zapraw cementowych powoduje, że zjawiska pęcznienia i skurczu mogą być również częstymi przyczynami zarysowań i spękań budynków murowanych.

Poziome zarysowania ścian mogą pojawić się, gdy jako ocieplenie dachu zastosuje się beton żużlowy bez oddylatowania go od muru ścian. Wówczas pęcznienie tego betonu powoduje zarysowania tuż nad stropem nad najwyższą kondygnacją budynku - zarysowaniu często towarzyszy wychylenie (wypychanie) ściany szczytowej z pionu.

Zarysowania spowodowane wpływami dynamicznymi

Dynamiczne działanie obciążeń powoduje drgania budynku i zmęczenie materiału konstrukcyjnego, co doprowadza do obniżenia stopnia bezpieczeństwa elementów i konstrukcji.

Wpływy dynamiczne, zależnie od sposobu przekazywania obciążeń na konstrukcję, można podzielić na: przenoszone przez podłoże, przekazywane bezpośrednio na konstrukcję oraz przez powietrze (falę uderzeniową).

W kraju najwięcej przypadków wpływów dynamicznych na budynki odnotowano na terenach górniczych, w pobliżu zakładów z urządzeniami technologicznymi oraz dróg i kolei o intensywnym ruchu. Mają one przede wszystkim charakter parasejsmiczny, tzn. wstrząsy lub drgania są przekazywane ze źródeł na sąsiednie budynki poprzez podłoże.

Naprawa i wzmacnianie ścian

Iniekcja rys i spękań

Iniekcja polega na wprowadzeniu grawitacyjnym lub pod ciśnieniem odpowiedniego materiału wiążącego w rysy i spękania występujące w murze z elementów pełnych. Nie należy jej stosować do ścian z elementów drażnionych (cegła dziurawka, pustaków itp.). Realizacja musi być poprzedzona opracowaniem technicznym, określającym rodzaj mieszanki iniekcyjnej (iniektu) i sposób jego wprowadzenia oraz szerokość rozwarcia i charakter rys. Iniekt ma zapewnić przede wszystkim uszczelnienie i scalenie rozdzielonych części muru, stąd też iniekcję traktuje się na ogół jako metodę poprzedzającą i uzupełniającą inny rodzaj wzmocnienia konstrukcji murowych.

Mieszanka iniekcyjna niezależnie od rodzaju, powinna odznaczać się odpowiednią plastycznością (płynnością), niskim skurczem, wiązaniem w temperaturze otoczenia, wysoką przyczepnością do łączonych elementów oraz założoną wytrzymałością.

Iniektu można podzielić na mineralne (cementowe, mikrocementowe, polimerowocementowe, gipsowe i gipsowo-wapienne) oraz z tworzyw sztucznych (epoksydowe i poliuretanowe).

Do iniekcji rys i pęknięć w murze oraz wypełnienia wzmacniającego rozluźnionych konstrukcji murowych najczęściej stosuje się plastikowe pakery wbijane oraz zawieszinę cementową. Niska lepkość zawiesziny o małej wielkości ziaren, dochodzących do 60 μm , umożliwia głęboką penetrację w rysy o rozwarości $> 0,6$ mm, szczeliny i pęknięcia.

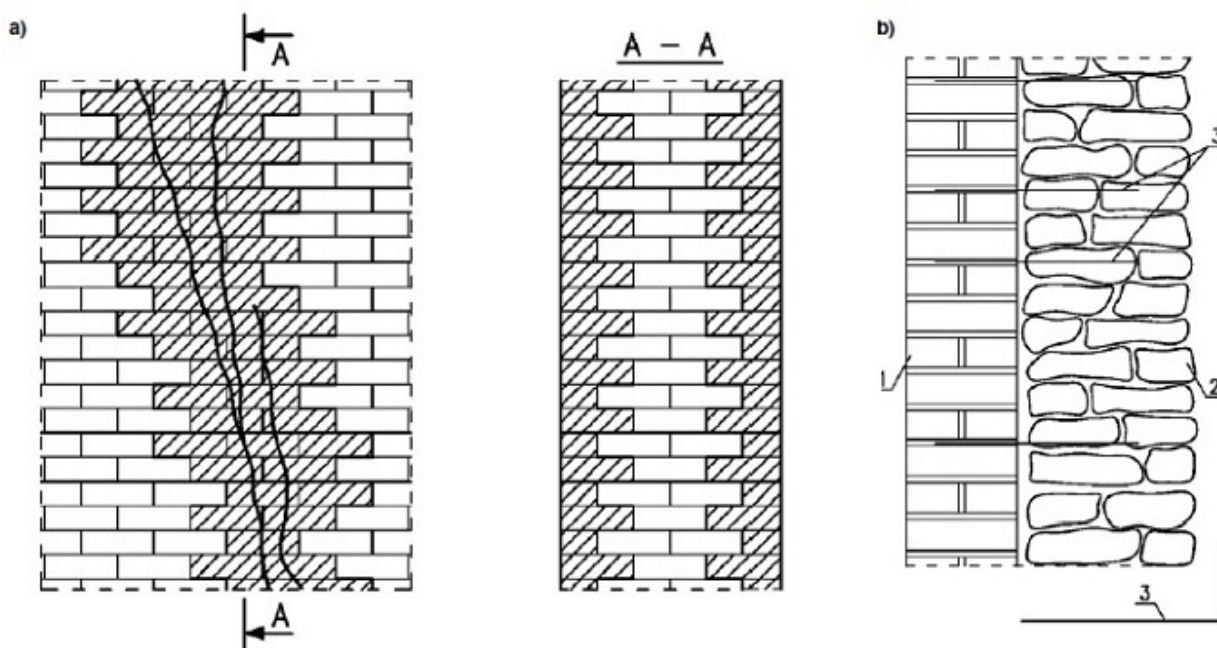
Pakery wbijane, ograniczające ciśnienie robocze iniekcji do 6 N/mm², montuje się w naprzemiennych otworach o średnicy 18 mm. Otwory nawiercane są wzdłuż rysy pod kątem 45° po obu stronach pęknięcia tak, aby otwór iniekcyjny przeciął rysę wewnątrz konstrukcji.

Po dokładnym oczyszczeniu i odtłuszczeniu powierzchni rysy wzdłuż jej biegu, około 5 cm po obu stronach, pęknięcie uszczelnia się kompozytem żywicznym na bazie poliuretanu. Materiał uszczelniający grubości około 10 mm nakłada się na przygotowaną wcześniej powierzchnię na całej długości pęknięcia.

Wymieszaną, homogeniczną zawieszinę iniekcyjną zaczyna tłoczyć się za pośrednictwem pakera startowego - pierwszego na rysie. Iniekcję przeprowadza się do momentu, aż materiał nie wypłynie z sąsiedniego otworu lub ciśnienie w pompie osiągnie przewidziane projektem maksimum. Wówczas końcówkę węża wylotowego pompy należy przełożyć na paker z którego wypłynął iniekt. Operację tę powtarza się, kontynuując iniekcję przez posuwanie się w ten sposób od dołu do góry. Iniekt należy podawać przy możliwie najniższym ciśnieniu roboczym.

Podczas wykonywania iniekcji temperatura (podłoża i powietrza) nie może być niższa od +5°C. Czas obróbki zawiesziny wynosi 30 minut (dla temperatury +20°C i wilgotności względnej 50%). Po iniekcji należy usunąć

pakery, otwory wypełnić zaprawą szybkowiązącą, a pozostałe uszczelnienia usunąć za pomocą młotka i przecinaka.



Rys. 3. a) wzmocnienie ściany przez częściowe przemurowanie, b) jednostronne obmurowanie: 1 - nowy mur, 2 - stary mur, 3 - pręty łączące, 4 - mur z kamienia

Przemurowanie i obmurowanie ścian

Przemurowanie stosuje się w przypadku mocno spękanych fragmentów ścian o szerokości rozwarcia rys powyżej 5 mm. Celem przemurowania jest odtworzenie pierwotnego wiązania cegieł, zapewniającego scalenie rozdzielonych rysami części muru.

Przemurowanie (rys. 3a) wykonuje się odcinkami, na ogół obustronnie, ze strzębiami poprzecznymi, umożliwiającymi wpuszczenie cegieł nowego odcinka głębiej w mur niż pozostałych. Przy rozbieraniu fragmentów ściany, której naprawiany odcinek jest bezpośrednio obciążony przez znaczne siły od podciągów, belek itp., konieczne jest odciążenie ściany przez podstemplowanie. Z tych samych powodów powinna być zachowana odpowiednia odległość między naprawianymi odcinkami ściany, nie mniejsza niż wysokość kondygnacji.

W przypadku zniszczenia struktury materiału ściany w jej warstwach zewnętrznych lub zmniejszenia jej nośności na skutek degradacji w materiale wiążącym drobnowymiarowe elementy ściany, wzmocnienie jej wykonuje się przez jednostronne lub dwustronne obmurowanie cegłami na zaprawie cementowej.

Dokonując np. wzmocnienia ściany z kamienia za pomocą jednostronnego obmurowania jej warstwą grubości jednej cegły (rys. 3b), ze wzmacnianej powierzchni usuwa się tynk, zaś ze spoin zaprawę na głębokość 2-3 cm. Po starannym oczyszczeniu powierzchni ściany i spoin z resztek tynku i zaprawy, dokładnie zmywa się je wodą i spryskuje mleczkiem cementowym. Aby zapewnić przewiązanie nowego muru ze starym należy zastosować stalowe pręty łącznikowe.

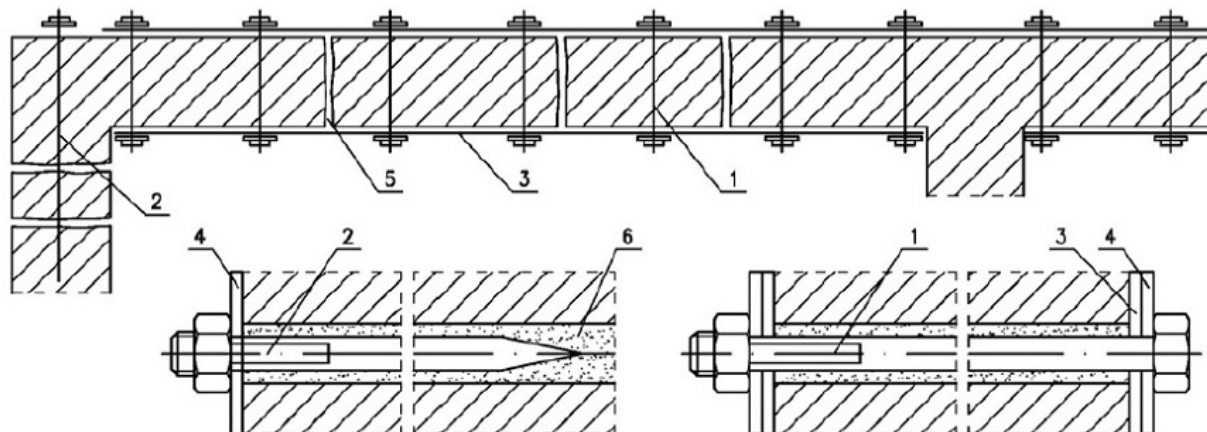
Zbrojenie murów

Wprowadzenie zbrojenia do zarysowanych, głównie pionowo lub ukośnie konstrukcji murowych, wynika najczęściej z konieczności przeniesienia przez nie naprężeń rozciągających oraz zapewnienia większej sztywności naprawianego muru. Zbrojenie podłużne zwiększa wytrzymałości muru na rozciąganie i ścinanie, zaś zbrojenie poprzeczne - wytrzymałość na ściskanie. W zależności od rozmieszczenia rys i spękań, zbrojenie może być stosowane na wybranych odcinkach lub na całej długości wzmacnianej ściany, tak jak w wieńcach żelbetowych. Pręty zbrojeniowe (miedziane lub ze stali nierdzewnej, rzadziej ze stali zwykłej ocynkowanej) o niewielkiej średnicy (najczęściej 6 mm) umieszczane są w nieprzewiązanych spoinach wspornych. O długości zakotwienia decyduje wytrzymałość zaprawy na ścinanie.

Spękane ściany z cegły można zbroić z obu stron płaskownikami stalowymi, połączonymi wstępnie sprężonymi sworzniami ze stali klasy A-I lub A-II o wyraźnej granicy plastyczności (rys. 4). Po wprowadzeniu

sworzni otwór wypełnia się zaprawą cementową 1:2 o współczynniku w/c = 0,7. Płaskowniki, rozstawione w pionie co 2-3 m, powinny mieć przekroje nie mniejsze niż 80x6 mm. Gdy spękania pionowe znajdują się w narożach ścian, stosuje się wzmocnienie w postaci sworzni wewnętrznych (szczegół 2 na rys. 6), rozstawionych w pionie co 1,0 m.

Po zainiektowaniu rys ściana wzmocniona płaskownikami (rys. 4) pracuje na zginanie jak mur zbrojony w płaszczyźnie spoin poziomych. Podporami dla wzmocnianego muru są ściany poprzeczne lub słupy żelbetowe. W strefie ściskanej rysy uszczelnione zaczynem iniekcyjnym częściowo się zamykają, zaś w strefie rozciąganej naprężenia są przenoszone przez płaskowniki stalowe. Siły poprzeczne, powstające między płaskownikami a murem, przejmowane są przez sworznie.

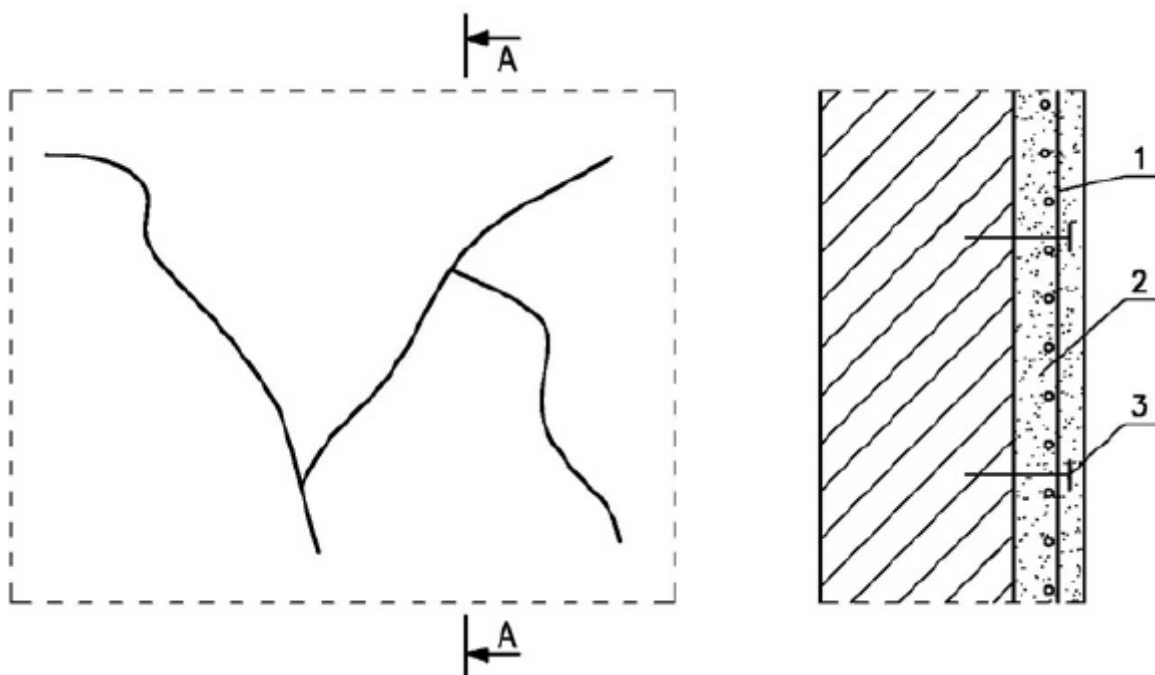


Rys. 4. Wzmocnienie ścian stalowymi płaskownikami i wstępnie sprężonymi sworzniami: 1 - sworzień sprężający, 2 - sworzień wewnętrzny, 3 - płaskowniki stalowe, 4 - podkładki pod sworznie, 5 - pęknięcie w murze wypełnione zaczynem iniekcyjnym, 6 - otwór na sworzień

Tynki zbrojone

Wzmacnianie ścian warstwami tynku zbrojonego polega na utworzeniu konstrukcji murowo-żelbetowej, w której do naprawianej części ściany dodaje się nową, kilkucentymetrową warstwę betonu lub zaprawy zbrojonej stalą albo wzmocnionych rozproszonymi włóknami syntetycznymi. Metodę tę stosuje się przede wszystkim do wzmacniania ścian o rysach rozrzuconych, nieregularnych (rys. 5).

Wzmacnianie ściany zbrojonymi warstwami może być wykonywane jedno- lub dwustronnie, na całej powierzchni lub jej fragmentach. Do wzmacnienia stosowane są zaprawy wapienno-cementowe, cementowe lub polimerobetonowe, наносzone ręcznie, za pomocą pomp lub przez torkretowanie. Ostatnio stosuje się również zaprawy bezskurczowe na cementach ekspansywnych.



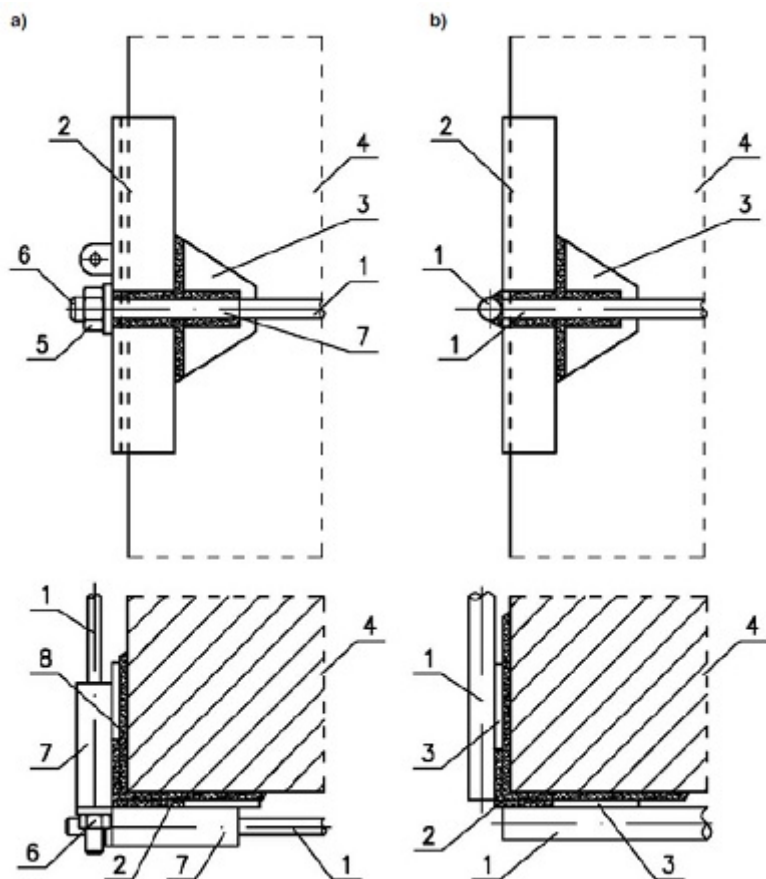
Rys.

5. Wzmacnianie spękanego muru tynkiem zbrojonym: 1 - siatka zbrojeniowa, 2 - warstwa tynku, 3 - kotwy

Wzmacnianie ścian ściąгами sprężającymi

Spękane mury można wzmacniać poziomymi ściąгами stalowymi, ograniczającymi dalszy rozwój rys, zespalającymi uszkodzone fragmenty muru i przenoszącymi dodatkowe siły rozciągające, mogące pojawić się przy uszkodzeniu ścian. Sprężone ściągi doprowadzają mury do stanu pierwotnego, eliminując konieczność przemurowywania znacznych odcinków przegród. Ściągi do pewnego stopnia stabilizują też nierównomiernie osiadające budynki, przez co unika się skomplikowanego wzmacniania fundamentów i podłoża gruntowego. Prace naprawcze prowadzi się bez wyłączenia budynku z użytkowania, wykonując na placu robót jedynie montaż uprzednio przygotowanych ściąгов i połączeń.

Ściągi wprowadza się na wysokościach przekryć stropów po zewnętrznym obrysie murów, montując je w narożach ścian do pionowych kątowników i sprężając śrubami. Cięgna mocuje się w narożach ścian do pionowych kątowników i spręża śrubami. Szczegóły podpór ściąгов przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Szczegóły podpór ściąągów: a)

konstrukcja węzła oporowego w miejscu sprężenia cięgien, b) część oporowa pod sprężone cięgna: 1 - ściągi, 2 - kształtownik oporowy, 3 - podkładka, 4 - ściana, 5 - nakrętka, 6 - śruba, 7 - tuleja, 8 - zaprawa cementowa

Literatura

1. *Budownictwo ogólne. Elementy budynków. Podstawy projektowania*, tom 3, praca zbiorowa pod kierunkiem L. Lichołai, Arkady, Warszawa, 2008.
2. Małyszko L., Orłowicz R., *Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, 2000.
3. Masłowski E., Spiżewska D., *Wzmacnianie konstrukcji budowlanych*, wyd. 3, Arkady, Warszawa, 2000.
4. Pluta J., Pluta K., Pluta A., *Badanie rys budowli metodą strukturalnych punktów charakterystycznych*, Materiały Budowlane, nr 9/2005.
5. *Remonty i modernizacje budynków*, praca zbiorowa pod kierunkiem M. Abramowicza, Wydawnictwo Verlag Dashöfer, Warszawa, 2004.
6. Rudziński L., *Konstrukcje murowe - remonty i wzmocnienia*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2010.
7. Zaleski S., *Remonty budynków mieszkalnych*, Poradnik, wyd. 2, Arkady, Warszawa, 1995.

dr hab. inż. Lech Rudziński
 dr inż. Andrzej Kroner
 Politechnika Świętokrzyska