

Przyczyny uszkodzeń konstrukcji murowych – błędy projektowe

Konstrukcje murowe, tak jak wszystkie inne rodzaje konstrukcji, podlegają uszkodzeniom, których przyczyny mają bardzo szeroki zakres. Często ich skutki mają charakter, których źródeł i mechanizmów w sposób jednoznaczny nie można określić lub jest to bardzo trudne. W pewnych sytuacjach uszkodzenia mogą mieć wiele przyczyn, które wystąpiły jednocześnie lub w różnym czasie.

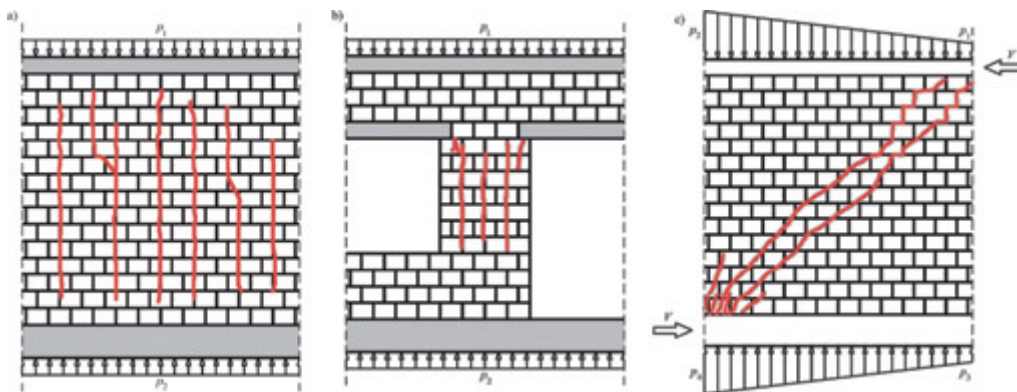
Wprowadzenie

Uszkodzenia konstrukcji związane są z oddziaływaniem czynników o charakterze mechanicznym, niemechanicznym i środowiskowym. Najczęściej występują zarysowania i pęknięcia o różnej szerokości, kierunku i przebiegu.

Kierunek i przebieg zarysowań (przez spoiny wsporne i czołowe – rysa „siodłowa”, przez spoiny czołowe i elementy murowe, tylko przez elementy murowe lub tylko przez spoiny wsporne) mówią o mechanizmie zarysowania i mogą świadczyć o jego przyczynach. Trzeba mieć jednak świadomość, że kierunek i przebieg zarysowań wywołany danym czynnikiem bardzo rzadko jest identyczny na całej uszkodzonej powierzchni muru, na co wpływ mają lokalnie różny stan naprężenia i sposób podparcia konstrukcji. Uszkodzenia muru mogą również polegać na miejscowym zmiążdżeniu muru w wyniku koncentracji naprężeń, złuszczeniu elementów murowych oraz wykruszeniu elementów murowych i zaprawy. Z wpływami atmosferycznymi wiążą się zwykle zawilgocenia, przecieki, wykwyty soli rozpuszczalnych w wodzie (eflorescencje), korozja mrozowa i biologiczna oraz zanieczyszczenie powierzchni muru.

W niniejszym artykule przedstawione zostaną najczęściej pojawiające się uszkodzenia konstrukcji murowych wywołane w większości błędami projektowymi. Zaliczyć do nich można uszkodzenia wywołane przeciążeniem konstrukcji wynikającym z niespełnienia warunków stanu granicznego nośności, spowodowane odkształceniami konstrukcji przylegającej do konstrukcji murowej, a szczególnie ugięciem belek i stropów oraz będące skutkiem wpływów termicznych, reologicznych i przemieszczeń podłoża gruntowego.

Więcej informacji o uszkodzeniach konstrukcji murowych można znaleźć w publikacjach [1, 2].



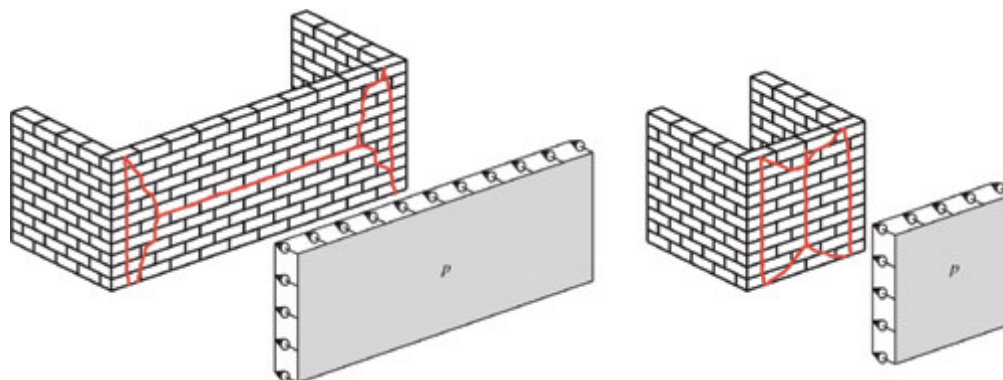
Rys. 1. Sposób zarysowania muru obciążonego w płaszczyźnie konstrukcji poddanego ścisnaniu: a) ścian nośnych, b) filarków międzyotworowych w ścianach nośnych oraz c) ścinanych ścian usztywniających

Niewystarczająca nośność konstrukcji

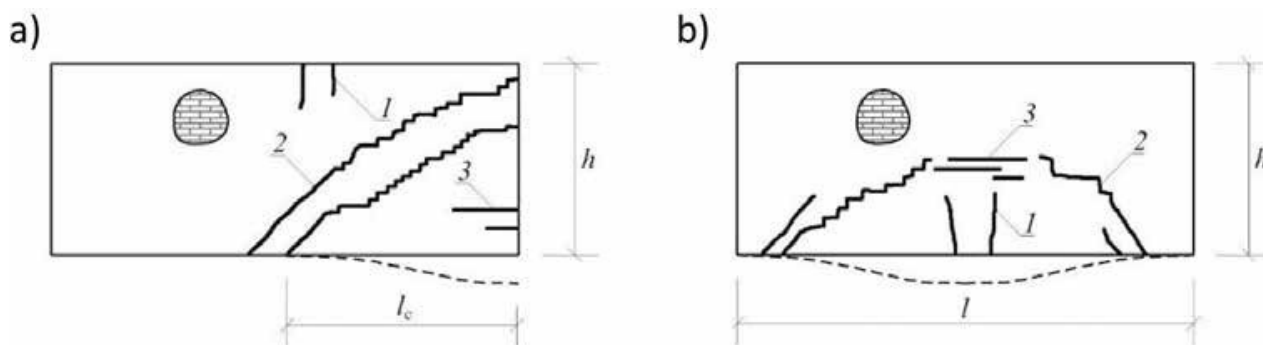
Wciąż można spotkać się z opinią projektantów, że „murów się nie liczy”. Źródeł takiej opinii można się doszukiwać w czasach, gdy konstrukcje murowe stosowano w obiektach ścianowych o niewielkich wysokościach, wykonanych z pełnych elementów murowych i o stosunkowo dużej grubości ścian. Obecnie coraz chętniej stosuje się ściany z materiałów o małej gęstości objętościowej, co zwykle idzie w parze z niewielką ich wytrzymałością, wykonuje się mury z cienkimi spoinami i z niewypełnionymi spoinami pionowymi (pojawiają się miejsca

koncentracji naprężeń, a zaprawa przestała pełnić funkcję „poduszki”). W projektach architektoniczno-budowlanych przyjmuje się smukłe ściany nośne i nienośne o niewielkiej grubości. Aktualnie, zgodnie z Załącznikiem krajowym do normy PN-EN 1996-1-1 [N1] p. NA.2.7, minimalna grubość ściany konstrukcyjnej wykonanej z muru o wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie $f_k \geq 5 \text{ N/mm}^2$ powinna wynosić 100 mm, natomiast gdy mur ma wytrzymałość charakterystyczną $f_k < 5 \text{ N/mm}^2$, grubość ściany nie powinna być mniejsza niż 150 mm. Minimalna grubość ścian usztywniających wynosi obecnie 180 mm. Minimalny przekrój poprzeczny muru netto, po odliczeniu bruzd i wnęk wynosi $0,04 \text{ m}^2$.

Wymienione czynniki wpływają na zwiększone wyężenie przekrojów murowanych oraz większe i częściej występujące koncentracje naprężeń. Z tego względu przekroje murowane należy wymiarować i sprawdzać warunki SGN. Szczególnie dotyczy to ścian murowanych nośnych najniższych kondygnacji budynków o większej liczbie kondygnacji. Ściany takie oprócz przejmowania dużych obciążeń pionowych o charakterze grawitacyjnym mogą również pełnić funkcję ścian usztywniających i dodatkowo mogą być obciążone siłami poziomymi działającymi w płaszczyźnie muru i wynikającymi z obciążenia wiatrem. Do najbardziej wyężonych przekrojów budynków murowanych należą murowane słupy oraz filarki między otworami okiennymi i/lub drzwiowymi w ścianach nośnych, szczególnie gdy duża jest smukłość tych elementów i znaczna jest szerokość otworów. Na rysunku 1 przedstawiono typowe zarysowania występujące w przeciążonych konstrukcjach murowanych obciążonych siłami pionowymi działającymi w płaszczyźnie ściany. W przypadku ścian i filarków obciążonych głównie pionowo, zniszczenie polega na powstaniu zarysowań o przebiegu w przybliżeniu pionowym wynikającym z przekroczenia wytrzymałości na rozciąganie elementów murowych w kierunku poziomym (rys. 1a i 1b). W ścianach usztywniających występują naprężenia styczne, dodatkowe naprężenia normalne, prostopadłe do warstw muru wywołane zginaniem spowodowanym poziomym oddziaływaniem wiatru oraz ściskające naprężenia normalne, których intensywność zależy od tego czy ściana jest nośna, czy obciążona jest w kierunku pionowym jedynie ciężarem własnym. Kierunek, liczba oraz przebieg zarysowań ścian usztywniających zależy od geometrii ściany, wypełnienia spoin pionowych, wytrzymałości elementów murowych, przyczepności między elementami murowymi i zaprawą przy ścinaniu i rozciąganiu oraz lokalnego stosunku wartości naprężeń stycznych do naprężeń normalnych.



Rys. 2. Zarysowania ścian równomiernie obciążonych poziomo



Rys. 3. Zarysowania pełnych (bez otworów) ścian murowanych podlegających wpływom pionowych przemieszczeń elementów, na których się opierają, przy maksymalnych przemieszczeniach występujących: a) na końcu ściany, b) w środku jej długości

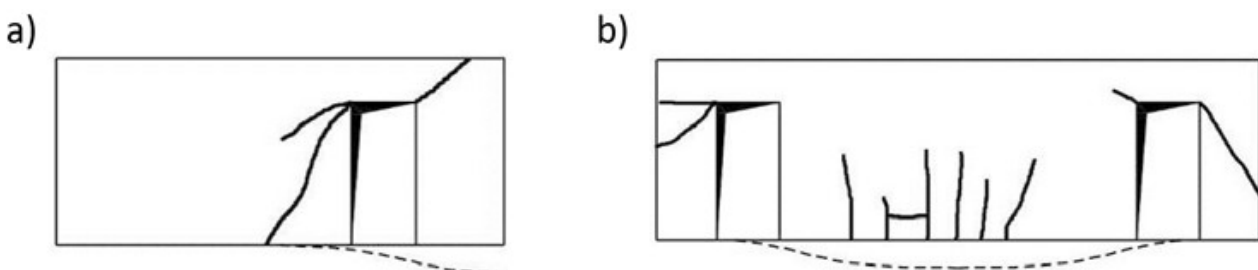
(1 - rysy pionowe, 2 - zarysowania ukośne, 3 - rysy poziome)

Ściany murowane, które nie pełnią funkcji nośnych mogą być jednak obciążone w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny muru. Obciążenie takie wywołuje przede wszystkim zginanie muru (jedno- lub dwukierunkowe) oraz jego ścinanie. Równomierne poziome obciążenie może być skutkiem oddziaływania wiatru. Sprawdzenie warunków SGN jest w tej sytuacji szczególnie istotne w przypadku ścian osłonowych na najwyższych kondygnacjach budynków, gdzie obciążenie wiatrem jest największe. Obciążenie poziome muru może być również wywołane parciem gruntu lub innych materiałów sypkich. Bardzo często zapomina się, że zgodnie z normą PN-EN 1991-1-1 [N2] w przypadku ścian ograniczających i pełniących funkcje barier „zaleca się, aby wartości charakterystyczne obciążenia liniowego q_k przyłożonego na wysokości ścian działowych lub ścian ograniczających, nie wyższej niż 1,20 m, były przyjmowane według tablicy 6.12”. Oznacza to, że powinno się sprawdzać warunek SGN ścian nienośnych, obciążonych liniowo poziomo obciążeniem o wartości, które przyjmuje się w zależności od kategorii użytkowania według tablicy 6.1 normy PN-EN 1991-1-1 [N2] tak jak przy ustalaniu obciążeń eksploatacyjnych stropów. W przypadku kategorii od A do E zalecane wartości charakterystyczne zawierają się w przedziale od 0,5 do 3,0 kN/m. Zarysowania ścian zginanych w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny mają przebieg zależny głównie od stosunku wysokości ściany do długości oraz od wytrzymałości muru na zginanie, która jest z kolei pochodną przyczepności między elementami murowymi i zaprawą ze względu na rozciąganie i ścinanie oraz wytrzymałości elementów murowych na rozciąganie. Zarysowanie takich ścian zależy oczywiście również od sposobu ich podparcia warunkującego przebieg i wartości momentów zginających. Na rysunku 2 pokazano typowe zarysowania ścian murowanych obciążonych równomiernie prostopadle do ich powierzchni.

Ugięcia konstrukcji stropów

Uszkodzenia ścian murowanych mogą być skutkiem nierównomiernych przemieszczeń elementów konstrukcji, które do nich przylegają lub na których ściany te się opierają. Najczęściej dochodzi do ugięć konstrukcji stropów podpierających ściany, przemieszczeń fundamentów oraz posadzek na gruncie. Odształcenia fundamentów i posadzek są zwykle związane z nierównomiernymi przemieszczeniami znajdującego się pod nimi podłoża gruntowego i zostaną opisane dalej.

Można wyróżnić dwa mechanizmy powstawania zarysowań wywołanych pionowymi przemieszczeniami konstrukcji przylegającej do ścian murowanych. W przypadku, gdy maksymalne przemieszczenia występują przy końcu ściany, wówczas można się spodziewać zarysowań pokazanych jak na rysunku 3a. Jeżeli największa różnica przemieszczeń występuje blisko środka długości ściany, powstają zwykle zarysowania pionowe rozpoczynające się w dolnej części ściany, zewężające się i zanikające ku górze, rysy ukośne oraz poziome, które powstają zwykle w płaszczyźnie spoin wspornych muru w wyniku przekroczenia wytrzymałości muru na rozciąganie w kierunku prostopadłym do tej płaszczyzny. Nie wszystkie z tych pokazanych rys muszą wystąpić. Charakter zarysowania zależy od stosunku długości ściany l do jej wysokości h lub długości odcinka ściany l_c , na którym doszło do przemieszczenia do wysokości h oraz stosunku sztywności konstrukcji podpierającej do sztywności ściany murowanej.



Rys. 4. Zarysowania ścian z otworami przy maksymalnym przemieszczeniu występującym:

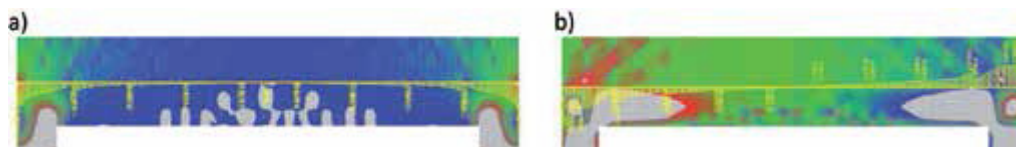
a) na końcu ściany, b) w środku jej długości

W przypadku ścian z otworami drzwiowymi i/lub okiennymi występują zwykle zarysowania biegnące od naroży otworów (rys. 4). Według informacji podanych w pracy [3] około 40% zarysowań dotyczy ścian działowych. Już kilkumilimetrowe ugięcie stropu może prowadzić do powstania zarysowań ścian nośnych oraz nienośnych z otworami (fot. 1). Zapobieganie uszkodzeniom tego rodzaju ścian polega przede wszystkim na ograniczeniu ugięcia stropów na etapie projektowania i wykonawstwa stropów. Projektując konstrukcję powinno się zwracać uwagę na odpowiednie założenia statyczne, w tym stosowanie stropów opartych wzdłuż wszystkich krawędzi na podporach o możliwie dużej sztywności, skracanie rozpiętości skrajnych przęseł ustrojów wieloprzęsłowych, konstruowanie podpór o podobnej sztywności na wszystkich kondygnacjach itd. [4].



Fot. 1. Zarysowanie ścian działowych i osłonowych wymurowanych

Na etapie obliczeń należy w sposób dokładny uwzględniać wszelkie elementy konstrukcyjne współpracujące ze stropami, które zwiększają ich sztywność, nawet lokalnie. Taki miejscowy wzrost sztywności konstrukcji stropu ma zwykle duży wpływ na zmniejszenie ugięcia, nawet w przekrojach znacznie oddalonych od miejsca, w którym występuje miejscowe pogrubienie stropu lub współpracująca z płytą stropową belka. Uwzględnienie tego rodzaju lokalnego wzrostu sztywności w dobie projektowania konstrukcji stropów przy użyciu programów komputerowych jest łatwe, choć na pewno wymaga dodatkowego nakładu pracy. Należy również pamiętać, że obliczanie ugięcia konstrukcji z betonu powinno uwzględniać opóźnione odkształcenia betonu w strefie ściskanej, skurcz betonu oraz wpływ zarysowania na sztywność przekrojów (nie wszystkie programy komputerowe pozwalają na obliczanie sztywności przekrojów w fazie II pracy, zwłaszcza w przypadku płyt).



Rys. 5. Koncentracja naprężeń:

a) ściskających, b) stycznych w rejonie dolnych naroży ściany podpartej na ugiętym stropie

W przypadku ścian murowanych podpartych na odkształcających się podporach dochodzi do powstania efektu łukowego przesklepienia. Efekt ten występuje przede wszystkim w ścianach bez otworów, lecz również w ścianach z otworem umieszczonym blisko pionowej osi ściany, a także w pełnych częściach ścian

z otworami. Na skutek efektu przesklepienia dochodzi do koncentracji pionowych naprężeń ściskających oraz naprężeń stycznych (konstrukcja stropu pełni funkcję ściągu powstałego łuku) w rejonie dolnych naroży ścian w płaszczyźnie styku muru ze stopem (rys. 5). Złożony stan naprężenia w rejonie koncentracji może prowadzić do silnego zarysowania i zmiażdżenia muru.

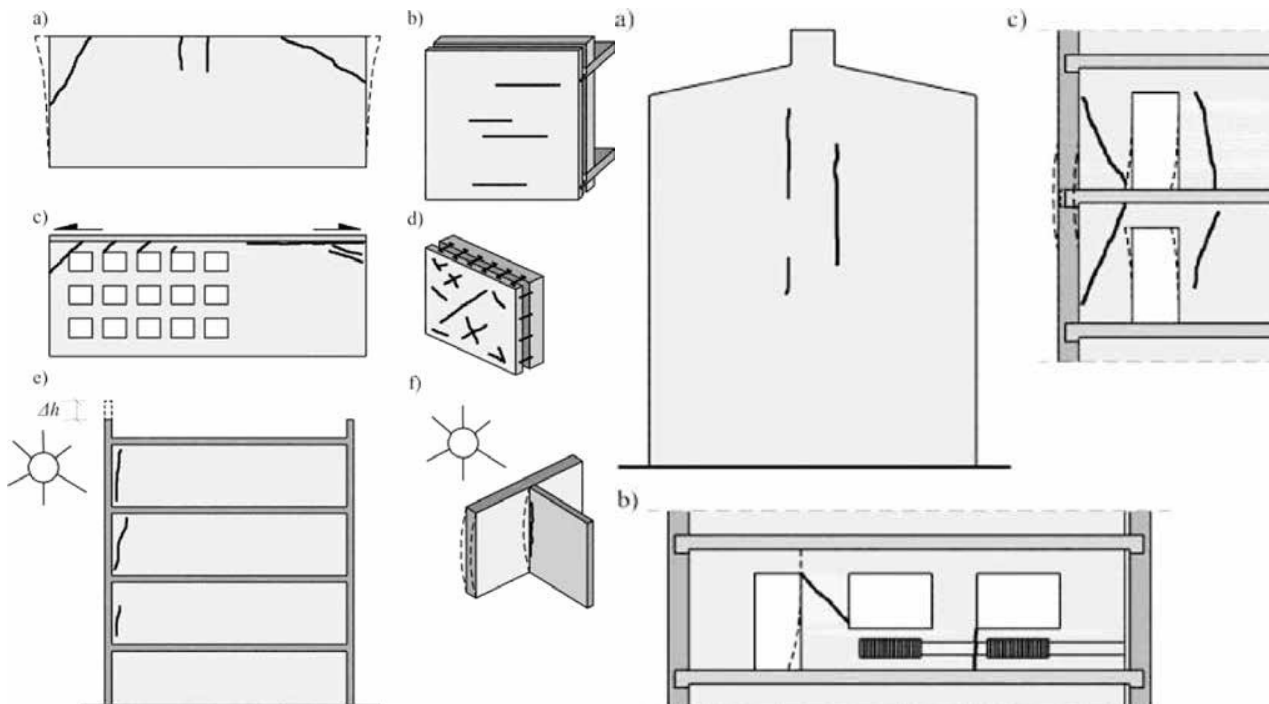
Ściany oparte na stropach powinny być murowane przy użyciu zapraw cementowo-wapiennych ze spoinami normalnej grubości i wypełnionymi spoinami czołowymi. Zastosowanie zbrojenia układanego w spoinach wspornych muru prowadzi zwykle do zmniejszenia szerokości zarysowań, lecz nie zapobiega ich powstawaniu, szczególnie w przypadku ścian z otworami. Więcej informacji na temat sposobów ograniczania ugięcia stropów podpierających ściany można znaleźć w pracach [4], [5] oraz normach [N1, N3, N4, N5, N6 i N7].

Wpływy termiczne, reologiczne i przemieszczeń podłoża gruntowego

Uszkodzenia ścian murowanych mogą być także skutkiem różnic przemieszczeń fundamentów, posadzek na gruncie oraz pionowych przemieszczeń ścian nośnych, słupów i stropów, do których przylegają. Przyczynami przemieszczeń, których pewną część można przewidzieć na etapie projektowania, mogą być nierównomierne odkształcenia podłoża gruntowego, które wynikają z niewłaściwego przygotowania podłoża, nierównomiernego lub nieodpowiedniego zagęszczenia gruntu, zmian stosunków wodnych związanych z melioracją lub dodatkowym drenażem, odwodnieniem podłoża w wyniku wykonywanych w sąsiedztwie głębokich wykopów, pęcznieniem lub skurczem gruntu spowodowanym przez roślinność, przemieszczeń gruntów wysadzinowych, wymywania gruntu na skutek awarii instalacji wodno-kanalizacyjnej lub deszczowej, utraty stateczności podłoża, dodatkowych osiadań spowodowanych wznoszeniem nowych obiektów obok budynków istniejących lub zagęszczeniem gruntu i zwiększeniem obciążeń na skutek ruchu pojazdów oraz w wyniku ciągłych i nieciągłych deformacji podłoża spowodowanych podziemną eksploatacją górniczą.

Zarysowania na styku murowanych ścian nośnych i nienośnych mogą również wynikać ze sprężystego skrócenia silnie obciążonej ściany nośnej i niedoznającej dużych odkształceń pionowych ściany do niej przylegającej.

Przy projektowaniu ścian murowanych uwzględniać należy również wpływy termiczne. Ściany, których swoboda odkształceń jest ograniczona mogą ulec zarysowaniom spowodowanym różnicą temperatur. W większości uszkodzenia takie dotyczą ścian zewnętrznych, choć nie tylko. Różnice temperatur mogą być skutkiem wahań temperatury powietrza i silnego nasłonecznienia dużych powierzchni ścian (rys. 6), a także różnic temperatur związanych z funkcjonowaniem instalacji grzewczych, procesami technologicznymi oraz oddziaływaniem temperatur pożarowych (rys. 7).



Rys. 6. Zarysowania ścian murowanych na skutek odkształceń termicznych wywołanych nasłonecznieniem wg [3, 6]: a) brak pionowych dylatacji ściany, b) brak poziomej dylatacji, c) brak dylatacji między stropodachem i ścianami, d) zbyt gęste rozmieszczenie kotew, e) zarysowania na styku ścian wewnętrznych z wydłużającą się ścianą zewnętrzną, f) odspojenie ściany wewnętrznej od wyginającej się ogrzewanej ściany zewnętrznej

Rys. 7. Uszkodzenia ścian murowanych wynikających z różnicy temperatury wg [3]: a) trzonu komina i ściany szczytowej, b) ściany, na której znajdują się grzejniki instalacji grzewczej, c) wywołanej pożarem

Uszkodzenia konstrukcji murowych, o których projektanci często zapominają, mogą wynikać ze skurczu lub pęcznienia muru albo skurczu różnych materiałów użytych do wykonania przylegających do siebie ścian. W normie PN-EN 1996-1-1 [N1] podano zakresy wartości rozszerzalności pod wpływem wilgoci oraz skurczu i współczynnika liniowej odkształcalności termicznej w zależności od rodzaju elementów murowych. Mur, bez względu na rodzaj materiału, z którego wykonano elementy murowe, może doznawać skurczu, przy czym największym skurczem o wartości do $-1,0$ mm/m, charakteryzować się może mur wykonany z elementów murowych z betonów lekkich. Pod wpływem wilgoci rozszerzać się mogą mury wykonane z elementów murowych ceramicznych, z autoklawizowanego betonu komórkowego oraz kamienia naturalnego. Najbardziej mogą pęcznieć mury z ceramicznych elementów murowych do wartości $+1,0$ mm/m. Duże pęcznienie w tym przypadku wiąże się z technologią produkcji, usunięciem wody w procesie wypalania i późniejszego chłonięcia wilgoci z powietrza przez okres do 100 dni [6]. Maksymalna różnica między rozszerzalnością i skurczem muru wykonanego z elementów murowych z różnych materiałów może zatem sięgać $2,0$ mm/m. Należy więc unikać łączenia ze sobą w jednej konstrukcji muru wykonanego z materiałów o potencjalnie skrajnie różnych odkształceniach wynikających z pęcznienia i skurczu, szczególnie murów z ceramicznych i betonowych elementów murowych. Uszkodzenia wywołane skurczem mogą także dotyczyć ścian wykonywanych z tych samych lub podobnych elementów murowych, gdy dokonywane są naprawy konstrukcji i dochodzi do połączenia muru istniejącego z nowym, na przykład przy przemurowywaniu ścian.

dr inż. Adam Piekarczyk
Politechnika Śląska

Normy

- N1. PN-EN 1996-1-1 Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- N2. PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1 – Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- N3. PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- N4. PN-EN 15037-1 Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 1: Belki.

- N5. ISO 4356 Bases for the design of structures. Deformations of buildings at the serviceability limit states
N6. ACI 318-02 Building code requirements for structural concrete
N7. DIN 1045-1 Concrete, reinforced and prestressed concrete structures. Part 1: Design and construction

Literatura

1. Piekarczyk A., Uszkodzenia i naprawy niekonstrukcyjnych elementów budynków, XXX Jubileuszowe Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, PZITB Bielsko-Biała, tom III, str. 233–290, Szczyrk, 25–28 marca 2015.
2. Drobiec Ł., Przyczyny uszkodzeń murów, XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, PZITB Bielsko-Biała, tom I, str. 105–147, Szczyrk, 7–10 marca 2007.
3. Małyszko L., Orłowicz R., Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn, 2000.
4. Nowicki M., Zapobieganie uszkodzeniom murowanych ścian wypełniających spowodowanym uginaniem się żelbetowych stropów w budynkach mieszkalnych, Inżynier budownictwa, 1/2014.
5. Szulc J., Ugięcia czynne stropów żelbetowych a uszkodzenia elementów opartych na stropach żelbetowych, Materiały budowlane, 4/2013.
6. Rudziński L., Konstrukcje murowe. Remonty i wzmocnienia, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2006.