

**Łukasz DROBIEC\***

## **PRZYCZYNY USZKODZEŃ MURÓW**

### **1. Wprowadzenie**

Konstrukcje murowe mogą wykazywać wiele rozmaitych uszkodzeń, które można klasyfikować na kilka sposobów. Do najbardziej ogólnych należy podział z uwagi na miejsce występowania uszkodzeń – w części konstrukcyjnej ściany lub w warstwach wykończenia i ocieplenia. Innym przykładem podziału uszkodzeń jest klasyfikacja z uwagi na rodzaj zniszczeń. W tym wypadku uszkodzenia podzielić należy na zarysowania i spękania murów oraz warstw fakturowych, zawilgocenia, uszkodzenia na skutek działania ujemnych i dodatnich temperatur, zniszczenia murów związane z naturalnym zużyciem materiałów oraz uszkodzenia spowodowane przez klęski żywiołowe (pożary, powodzie, huragany itp.). Jednak najczęściej stosowaną klasyfikacją uszkodzeń jest podział z uwagi na przyczynę generującą ich wystąpienie. Wyróżnić tu należy uszkodzenia wywołane przeciążeniem konstrukcji, uszkodzenia związane z właściwościami fizyko-chemicznymi stosowanych materiałów (skurcz, pęcznienie, odkształcalność termiczna, nasiąkliwość, mrozoodporność itd.), uszkodzenia wywołane zmianą stateczności konstrukcji (nierównomierne osiadanie gruntu, zmiana warunków gruntowo-wodnych w rejonie posadowienia, przebudowy obiektu lub wznoszenie nowych budynków w bezpośredniej bliskości) oraz uszkodzenia spowodowane wpływami dynamicznymi i wyjątkowymi.

Przyczyn wystąpienia uszkodzeń murów jest równie wiele jak samych typów uszkodzeń. Często uszkodzenie muru spowodowane jest przez działanie zespołu czynników. Bywa również, że jedna przyczyna wywołuje cały szereg uszkodzeń. W zależności od rodzaju materiału z jakiego mur jest wykonany podobne przyczyny mogą powodować różne typy uszkodzeń. Najczęstszymi przyczynami zniszczeń konstrukcji murowych są uszkodzenia wywołane ruchem podłoża gruntowego (60-70%), przeciążeniem (15-20%) oraz wpływami dynamicznymi i wyjątkowymi (2-5%) [32]. Morfologia rys była już tematem wielu prac

---

\* Dr inż., Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska

opisujących uszkodzenia zarówno konstrukcji żelbetowych [13], [4], [3], [28] jak i murowych [6], [29], [31], [36], [42], [43].

Poniżej opisano najczęściej występujące przyczyny uszkodzeń murów. Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto nieco inny podział uszkodzeń konstrukcji murowych: ze względu na wpływ wywierany na ich kondycję przez uczestników procesu budowy i eksploatacji. W ramach tego podziału omówiono uszkodzenia wywołane błędami projektowymi, błędami na etapie wznoszenia oraz podczas eksploatacji obiektu. Powyższą klasyfikację uzupełniono o wpływy wywołane obciążeniami wyjątkowymi, których wystąpienie nie sposób przewidzieć podczas projektowania, wznoszenia i eksploatacji obiektu. W powyższy sposób podzielić można zarówno uszkodzenia części konstrukcyjnej muru, jak i warstw fakturowych oraz tynków. Z uwagi jednak na specyficzny charakter uszkodzeń wypraw omówiono je w oddzielnym punkcie.

## **2. Uszkodzenia spowodowane błędami projektowymi**

Na etapie projektowania budynków wznoszonych w technologii tradycyjnej można popełnić szereg błędów, które skutkować będą wystąpieniem uszkodzeń ścian. Do najczęstszych z nich należą:

- brak sprawdzenia SGN i SGU muru;
- brak przeciwdziałania uszkodzeniom w miejscach koncentracji naprężeń;
- projektowanie ścian z różnych materiałów;
- nieuwzględnienie możliwości wystąpienia naprężeń termicznych;
- przyjęcie jednakowej szerokości fundamentów dla wszystkich ścian;
- złe rozeznanie podłoża gruntowego;
- nieodpowiednie projektowanie nowych budynków posadowionych na innym poziomie niż budynki przyległe;
- nieuwzględnianie dużych ugięć stopów pod ścinakami działowymi;

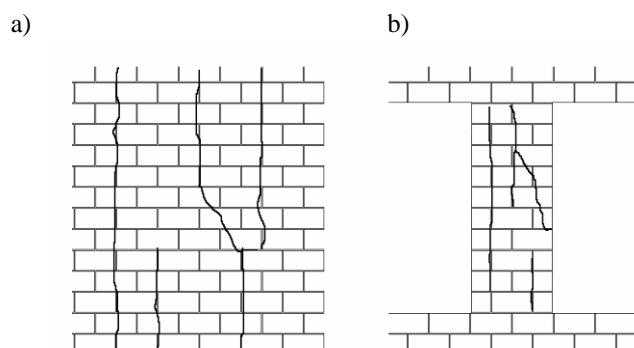
### **2.1. Brak sprawdzenia SGN i SGU muru**

Do niedawna panowała powszechna opinia, że murów nie trzeba sprawdzać obliczeniowo. W niskich budynkach jednorodzinnych wyężenie murów jest rzeczywiście nieznaczne – co nie zwalnia jednak od sprawdzenia warunków nośności najbardziej obciążonego fragmentu ściany zgodnie z postanowieniami normy PN-B-03002:1999 [N8] lub opartej na nowej wersji Eurokodu-6 [N7] normy PrPN-B-03002:2002 [N17], która w chwili publikacji pracy powinna już być obowiązująca. W obiektach o większej liczbie kondygnacji (powyżej 2) może już dojść do niespełnienia warunków nośności murów obciążonych głównie pionowo, szczególnie w elementach o małym przekroju poprzecznym, takich jak filarki międzyokienne i słupy. Pominięcie sprawdzenia nośności muru na obciążenia pionowe może skutkować przyjęciem zbyt słabego materiału lub zbyt małego przekroju części konstrukcyjnej ściany, co doprowadzić może do przeciążenia muru.

Efektom przeciążenia muru są zazwyczaj pionowe zarysowania i pęknięcia (rys. 1) [15] [16], [17], [23], [27], [37], [38]. Obraz zarysowań spowodowanych przeciążeniem muru uzależniony jest od rodzaju elementów murowych i zaprawy użytych do wznoszenia muru. W większości konstrukcji (gdy moduł sprężystości zaprawy jest mniejszy od modułu sprężystości elementów murowych) na skutek wystąpienia złożonego stanu naprężeń pierwsze

pionowe zarysowania pojawiają się w elementach murowych, kolejne zaś w zaprawie. Pojawienie się pierwszych rys w murze zazwyczaj nie oznacza wyczerpania jego nośności. W murach z cegły pełnej na zaprawach wapiennych i cementowo-wapiennych zarysowania mogą wystąpić już na poziomie  $0,4 \div 0,7$  naprężenia niszczącego. W murach na zaprawach cementowych rysy występują później – około  $0,7 \div 0,9 \sigma_{\max}$ . W ścianach wykonanych z elementów murowych grupy 1 zarysowanie występuje znacznie wcześniej niż w ścianach z elementów z grupy 3. Mury wykonane z elementów o dużych wymiarach i znacznej perforacji charakteryzują się bardzo krótkim przedziałem pomiędzy wartością naprężeń rysujących i niszczących, a ich zniszczenie przebiega zazwyczaj w sposób gwałtowny.

W elementach o małym przekroju poprzecznym oprócz występowania rys pionowych obserwuje się także rysy ukośne. Przykład zarysowania ściany pod obciążeniem pionowym pokazano na rys. 2.



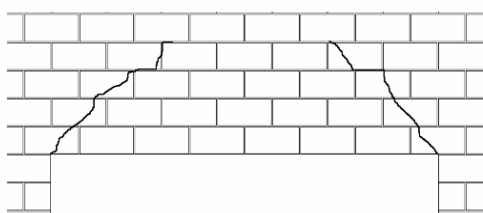
Rys. 1. Przykłady zarysowań powstałych na skutek przeciężenia muru na ściskanie:  
a) zarysowanie ściany, b) zarysowanie filarka międzyokiennego



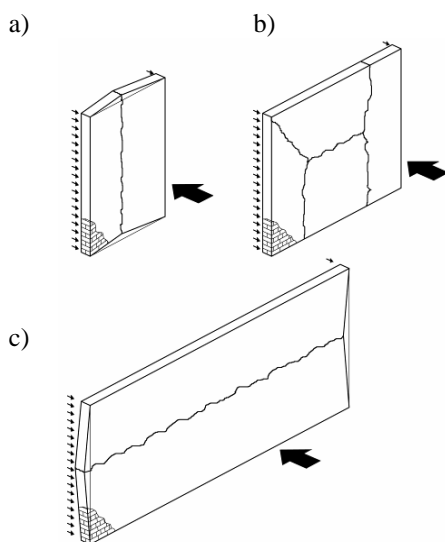
Rys. 2. Zarysowania ściany spowodowane wyczerpaniem nośności na ściskanie

Oprócz sprawdzenia nośności na obciążenia pionowe projektant zobowiązany jest do sprawdzenia nośności murów obciążonych siłą skupioną, elementów zginanych oraz ścian. Sprawdzenie nośności elementów zginanych w płaszczyźnie może być konieczne w wypadku stosowania murowanych zbrojonych nadproży. Wówczas nośność sprawdzać należy wg postanowień normy PN-B-03340:1999 [N10] lub PrPN-B-03002:2006 [N17] – gdy ta będzie już obowiązująca. Zastosowanie niewystarczającego przekroju zbrojenia doprowadzić może do ukośnych zarysowań nadproża (rys. 3).

W wypadku zginania z płaszczyzny warunki SGN sprawdzać należy w ścianach osłonowych i ścianach obciążonych parciem gruntu. Charakter zarysowania tych ścian na skutek przeciążenia zależy od sposobu podparcia ścian, geometrii muru oraz od rodzaju zastosowanych elementów murowych i zaprawy [9] [41]. Bezpieczne 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. 4a). W ścianach o szerokości ponad dwukrotnie większej od wysokości zniszczenie następuje zazwyczaj przez spoiny wsporne (rys. 4c), a w ścianach o stosunku wysokości do szerokości  $0,5 \div 2$  może wystąpić zarysowanie zarówno przez spoiny wsporne jak i prostopadłe do nich (rys. 4b).

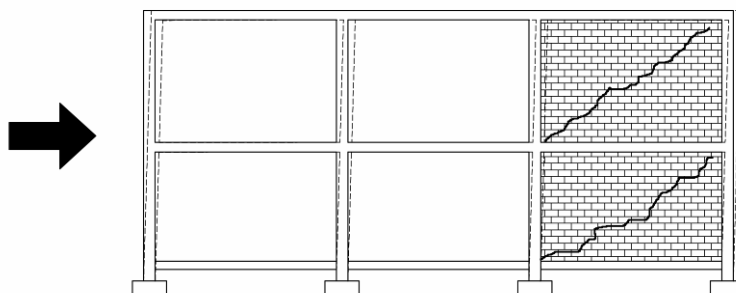


Rys. 3. Typowy obraz zarysowań nadproża



Rys. 4. Rodzaje zniszczeń ścian obciążonych poziomo: a) rysą prostopadłą do płaszczyzny spoin wspornych, b) zarysowania pionowe, poziome i ukośne, c) rysy przez spoiny wsporne

W konstrukcjach, gdzie murowane ściany pełnią rolę ścian usztywniających (np. w obiektach o żelbetowej konstrukcji szkieletowej) nie należy zapominać o sprawdzaniu stanu granicznego użytkowalności muru z uwagi na obciążenia poziome [25]. Sposób prowadzenia obliczeń wg projektu nowej normy murowej PrPN-B-03002:2006 [N17] podano w pracy [24]. Wynikiem niespełnienia warunku SGU są ukośne zarysowania muru (rys. 5).



Rys. 5. Przykładowe zarysowanie ścian usztywniających poddanych obciążeniu poziomemu wiatrem

## 2.2. Brak przeciwdziałania uszkodzeniom w miejscach koncentracji naprężeń

Oprócz sprawdzenia stanu granicznego nośności oraz użytkowalności normy zobowiązują projektanta do zachowania w elementach murowanych warunków konstrukcyjnych. Zgodnie z ich zaleceniami mury projektować należy w taki sposób, aby przez cały przewidywany okres użytkowania w określonych warunkach środowiskowych i przy właściwej konserwacji odpowiadały założonemu przeznaczeniu. Przy określaniu trwałości konstrukcji murowych należy uwzględnić warunki środowiskowe na działanie których konstrukcja będzie narażona, usytuowanie konstrukcji w budowlu oraz sposób jej zabezpieczenia przed działaniem niekorzystnych czynników. Jednym z takich czynników są miejsca koncentracji naprężeń, np. w okolicy otworów okiennych i drzwiowych oraz w miejscach zmiany grubości muru.

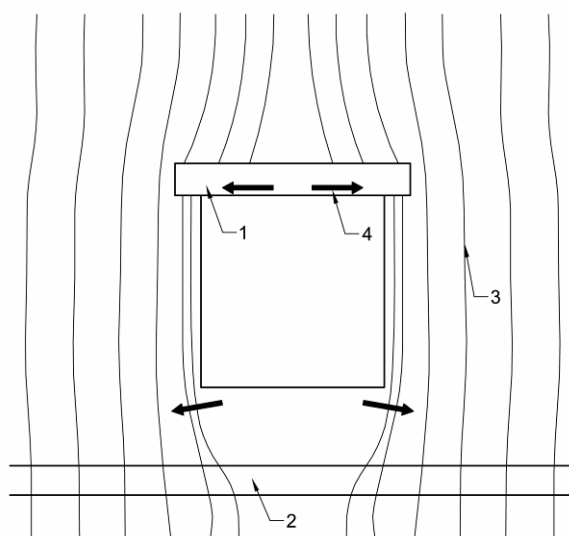
Częste występowanie zarysowań ponad otworami wynikają z samej geometrii konstrukcji. W wypadku niewystarczającej nośności na rozciąganie przy zginaniu w ścianie ponad otworem występuje często efekt przesklepienia i rysy mają przebieg ukośny - z nachyleniem ok.  $40^{\circ} \pm 60^{\circ}$  w kierunku środka nadproża (rys. 3). Obecnie najczęściej wykonuje się typowe żelbetowe prefabrykowane nadproża lub nadproża systemowe co eliminuje konieczność przejścia przez mur naprężeń rozciągających. Rzadko stosuje się murowane nadproża zbrojone lub niezbrojone. Przy dużych naprężeniach ściskających zarysowania mogą powstać również ponad prefabrykowanym nadprożem oraz w okolicy stref jego oparcia na murze (Rys. 6). Przyczyną tych zarysowań może być lokalny docisk, skurcz prefabrykatu lub odkształcenia termiczne.

Jeżeli nawet strefa nadprożowa zostanie poprawnie zaprojektowana należy pamiętać, że rozciągania występują również w strefie pod otworami (rys. 7). Wartość naprężeń rozciągających jest tam oczywiście znacznie mniejsza niż w nadprożach, jednakże może doprowadzić do zarysowań pod oknami (rys. 8). Strefy nad i pod otworami można w prosty sposób zabezpieczyć przed powstaniem zarysowań stosując odpowiednie zbrojenie w spoinach

wspornych muru. Zbrojenie musi odpowiadać wymogom normy PN-EN 845-3:2003 [N14] w zakresie kształtu, jakości materiału i średnic oraz normy PN-B-03340:1999 [N10] lub PrPN-B-03002:2006 [N17] w zakresie minimalnych procentów zbrojenia.



Rys. 6. Zarysowanie przy prefabrykowanym nadprożu



Rys. 7. Trajektorie naprężeń ściskających i obszary największych rozciągań wokół otworu okiennego: 1- prefabrykowane nadproże, 2- strop żelbetowy, 3- trajektorie naprężeń ściskających, 4- największe rozciągnięcia [42], [43]



Rys. 8. Przykłady zarysowań pod otworami okiennymi

### 2.3. Projektowanie ścian obiektu z różnych materiałów

W ostatnich latach modne stało się projektowanie „pod inwestora”. Przyszłych nabywców mieszkań i domów zachęca się do kupna argumentując, że ściany zewnętrzne wykonane są z materiałów o bardzo wysokiej izolacyjności termicznej, a ściany wewnętrzne o dużej izolacyjności akustycznej. Prowadzi to do stosowania różnych elementów murowych i różnych zapraw np. w ścianach zewnętrznych i wewnętrznych i w konsekwencji do zarysowań murów. Przyczyną zarysowań są odmienne właściwości fizyczne murów wykonanych z kilku materiałów.

Rysy mogą wystąpić na skutek odkształceń reologicznych murów, odkształceń termicznych lub różnych odkształceń doraźnych (różnych modułów sprężystości). W tabelicy 1 za nową niemiecką normą DIN 1053-100 [N5] oraz jej poprzedniczką DIN 1053-1 [N4] podano zalecane do obliczeń wartości skurczu murów i przedziały możliwych odkształceń reologicznych oraz końcowe wartości współczynnika pęcznienia. W tabelicy 2, również za DIN 1053-100 [N5] podano zalecane do przyjmowania w obliczeniach wartości współczynnika odkształcalności termicznej i modułu sprężystości muru oraz przedziały możliwych wartości współczynników odkształcalności termicznej i modułów sprężystości. Obie tablice uzupełniono o wartości zalecane przez normę PrPN-B-03002:2006 [N17].

Wartości zestawione w tabelicy 1 wykazują znaczne rzeczywiste różnice odkształceń reologicznych murów wykonanych z różnych elementów murowych. Większość materiałów cechuje się tendencją do skurczu, zaś ceramika raczej do pęcznienia. Dlatego należy unikać łączenia ceramiki z innymi materiałami. Porównanie wartości odkształcalności termicznej murów wykonanych z różnych elementów murowych (tablica 2) również prowadzi do podobnego wniosku.

Projektując konstrukcje murowe można teoretycznie zaprojektować mur o tej samej wytrzymałości na ściskanie ze słabszej zaprawy i mocnych elementów murowych lub ze słabszych elementów murowych i mocnej zaprawy. Jednakże z uwagi na różną odkształcalność doraźną nie należy ich takich materiałów stosować w jednym obiekcie. Różne wartości odkształceń spowodować mogą bowiem powstanie zarysowań.

Tablica 1. Odkształcalność reologiczna muru

Materiał elementu murowego	Odkształcalność reologiczna* wg [N5] [mm/m]		Końcowe wartości skurczu $\epsilon_{s,\infty}$ wg [N17]	Końcowy współczynnik pełzania wg [N5]		Końcowy wsp. pełzania $\phi_{\infty}$ wg [N17]
	Zalecana do obliczeń	Przedział możliwych wartości		Zalecana do obliczeń	Przedział możliwych wartości	
Ceramika	0	(-0,2)÷(+0,3)	-0,2	1,0	0,5÷1,5	1,5
Silikat	-0,2	(-0,1)÷(-0,3)	-0,2	1,5	1,0÷2,0	1,5
Kruszywowy beton lekki	-0,4	(-0,2)÷(-0,5)	-0,2	2,0	1,5÷2,5	1,5
Beton zwykły	-0,2	(-0,1)÷(-0,3)	-0,2	1,0	-	1,5
Beton komórkowy	-0,2	(-0,3)÷(+0,1)	-0,2	1,5	1,0÷2,5	1,5

\* znak „-” oznacza odkształcenia skurczowe, znak „+” pęcznienie spowodowane np. wpływami chemicznymi lub podciąganiem wody;

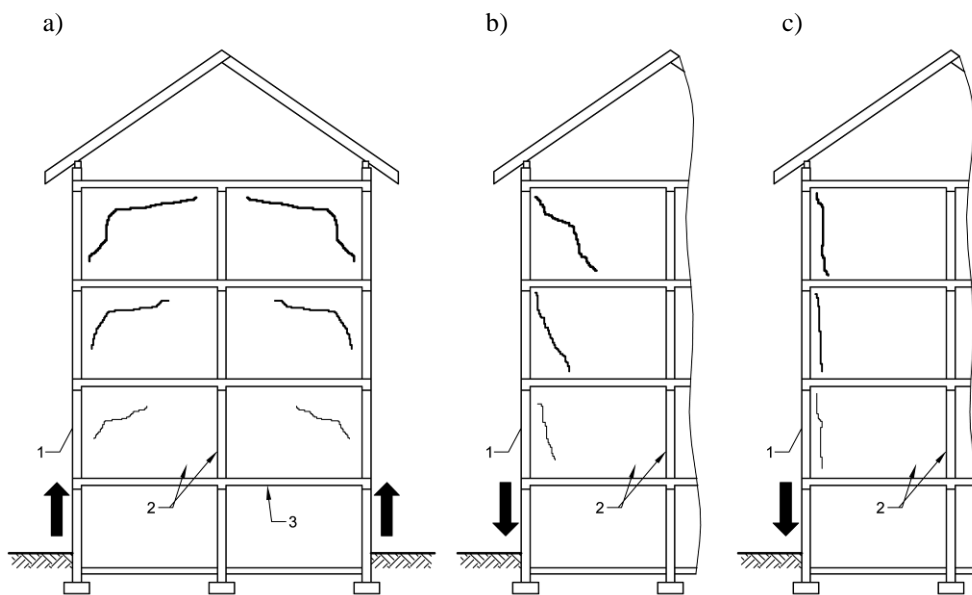
Tablica 2. Odkształcalność termiczna i wartości modułu sprężystości

Materiał elementu murowego	Odkształcalność termiczna wg [N5] [ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ]		Wsp. odksz. term. $\alpha_t$ [ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ] wg [N17]	Moduł sprężystości E wg [N5] [MPa]		Moduł spręż. E wg [N17] [MPa]
	Zalecana do obliczeń	Przedział możliwych wartości		Zalecana do obliczeń	Przedział możliwych wartości	
Ceramika	6	5÷7	6	$1100 \times f_k$	$(950 \div 1300) \times f_k$	przy $f_m < 5 \text{ MPa}$ $600 \times f_k$
Silikat	8	7÷9	9	$950 \times f_k$	$(800 \div 1300) \times f_k$	przy $f_m \geq 5 \text{ MPa}$ $1000 \times f_k$
Kruszywowy beton lekki	10; 8*	8÷12	10	$1600 \times f_k$	$(1300 \div 1750) \times f_k$	
Beton zwykły	10	10	10	$2400 \times f_k$	$(2000 \div 2700) \times f_k$	
Beton komórkowy	8	7÷9	8	$800 \times f_k$	$(650 \div 950) \times f_k$	$600 \times f_k$

\* beton na kruszywie lekkim z domieszką glinca;  
 $f_k$  – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie;  $f_m$  - wytrzymałość zaprawy na ściskanie;



Przykład zarysowań wewnętrznych silikatowych ścian budynku na skutek ich skurczu i pęcznienia ceramiki (ściany zewnętrzne) oraz odkształceń termicznych pokazano na rys. 9a. Uszkodzenia muru znacznie rzadziej występują na skutek skurczu ceramiki. Na rys. 9b i c pokazano uszkodzenia silikatowych ścian wewnętrznych wywołane skurczem ceramicznej ściany zewnętrznej.

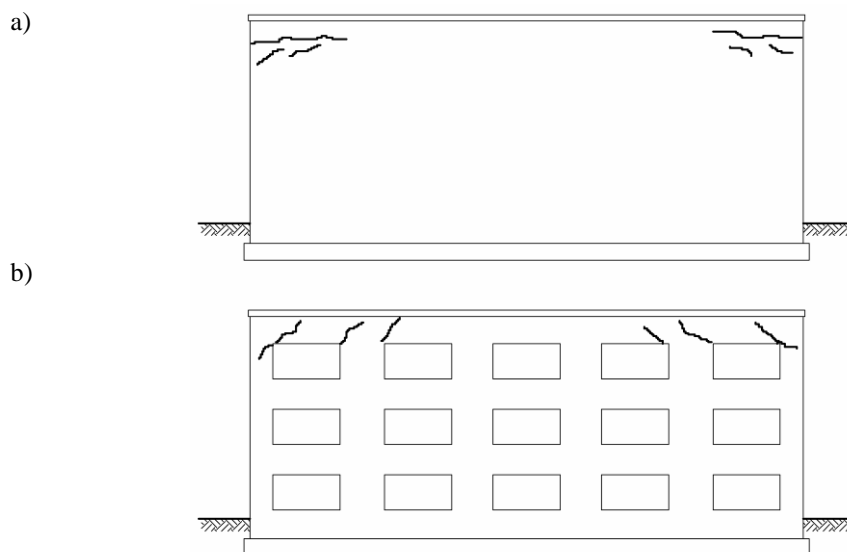


Rys. 9. Zarysowania wywołane skurczem i pęcznieniem różnych materiałów stosowanych w ścianach zewnętrznych i wewnętrznych: a) pęcznienie zewnętrznych ścian ceramicznych i skurcz wewnętrznych ścian silikatowych [42] [43] [40], b) c) skurcz zewnętrznych ścian ceramicznych i pęcznienie wewnętrznych ścian silikatowych przy mocnym (a) i słabym (b) połączeniu ściany zewnętrznej z wewnętrzną [32]; 1- ściana ceramiczna, 2- ściana silikatowa, 3- strop żelbetowy

#### 2.4. Nieuwzględnienie możliwości wystąpienia naprężeń termicznych

Na etapie projektowania należy uwzględnić i odpowiednio zabezpieczyć miejsca wystąpienia naprężeń od obciążeń termicznych. Typowym przykładem uszkodzeń spowodowanych brakiem odpowiedniego rozwiązania projektowego (np. przez zastosowanie warstw poślizgowych) są zarysowania na styku stropodachu i ścinany (rys. 10). Stropodach na skutek odkształceń termicznych ulega wydłużeniu i następuje ścięcie muru. W podobny sposób powstać mogą zarysowania muru w okolicy innych elementów żelbetowych narażonych na działanie temperatury (balkony, nieocieplone wieńce i nadproża). Przykład uszkodzeń ścian przy stropodachu pokazano na rys. 11.

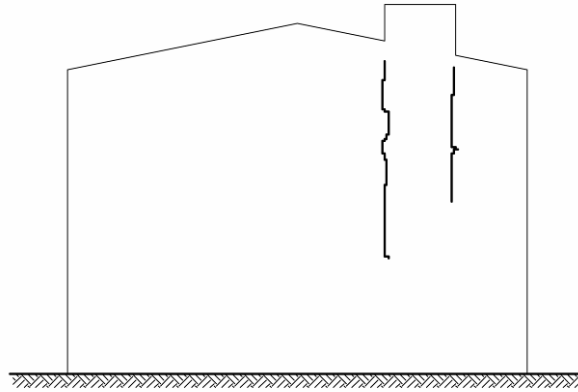
Innym typem uszkodzeń wywołanych przez naprężenia termiczne są zarysowania ścian przy trzonach kominowych (rys. 12 i rys. 13). W literaturze znaleźć można przypadki gdy rysy muru wywołane były przez lokalne źródło ciepła – grzejniki C.O [29].



Rys. 10. Zarysowania ścian zewnętrznych na skutek odkształceń termicznych stropodachu:  
a) ściana bez otworów, b) ściana z otworami



Rys. 11. Przykłady zarysowań spowodowanych odkształceniami termicznymi stropodachu:  
a) ściana bez otworów, b) narożnik ściany z oknami i ściany bez otworów



Rys. 12. Przykład zarysowania ściany szczytowej wzdłuż przewodu kominowego



Rys. 13. Rysy wzdłuż przewodu kominowego

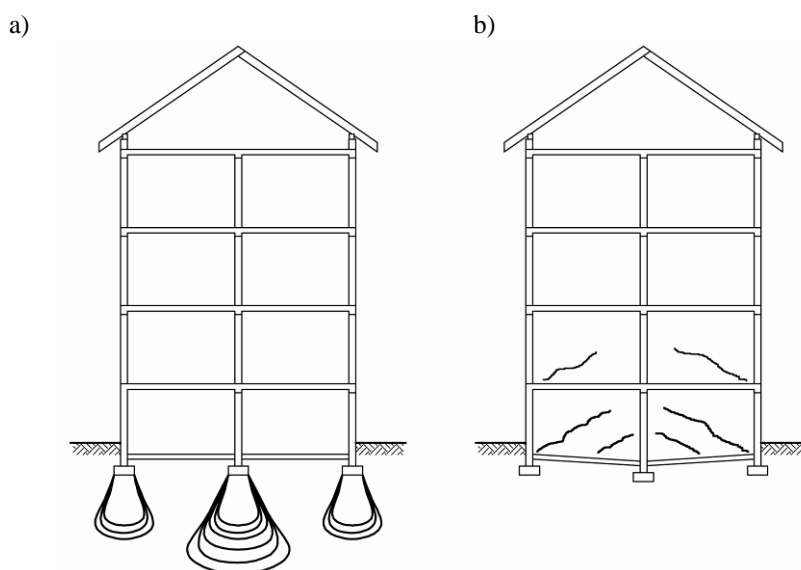
## 2.5. Błędy na etapie projektowania posadowienia

Projektując obiekt murowany budowlany wykonuje się najczęściej kilka odwiertów kontrolnych podłoża gruntowego – zazwyczaj 4 pod narożami budynku. Na podstawie wyników badań określa się szerokości i zbrojenie łąw fundamentowych. Częstym błędem, który może skutkować wystąpieniem zarysowań w ścianach budynków wielokondygnacyjnych jest **zaprojektowanie łąw fundamentowych o jednakowych szerokościach pod wszystkimi ścianami obiektu**. Ściany zewnętrzne są bowiem mniej obciążone od ścian wewnętrznych a tym samym wywierają mniejszy nacisk na grunt i ich osiadania są mniejsze. W wypadku zaprojektowania jednakowych fundamentów pod ściany zewnętrzne i wewnętrzne może dojść do zarysowania murów (rys. 14). Podobny przypadek ma miejsce gdy następuje skokowa zmiana wysokości budynku – rysy wysypują wtedy zazwyczaj w płaszczyźnie zmiany wysokości (rys. 15).

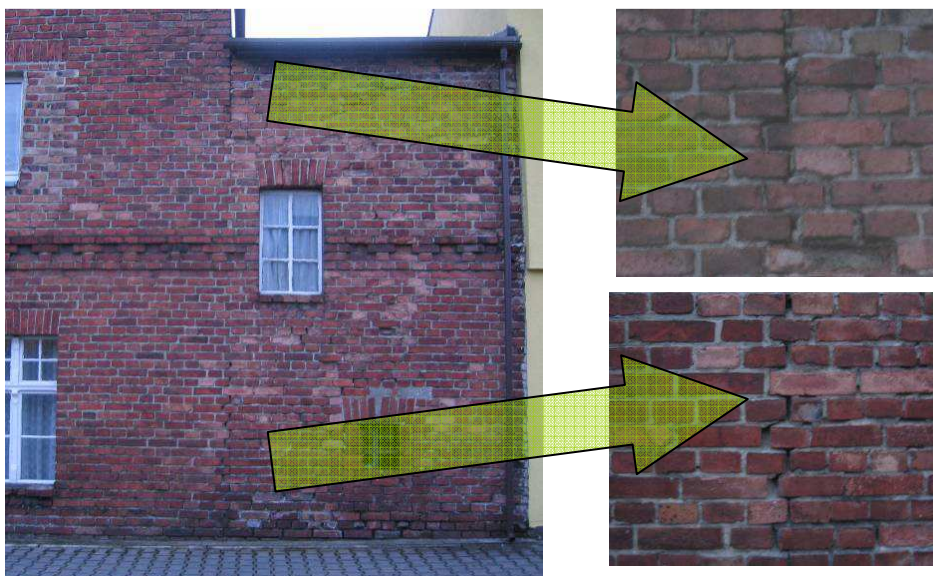
Zbyt mała liczba lub zbyt płytkie badania gruntu mogą skutkować **brakiem właściwego rozpoznania podłoża gruntowego** i niewłaściwym zaprojektowaniem fundamentów. Sytuacja taka jest niebezpieczna w wypadku posadawiania budynku na niejednorodnych gruntach o zróżnicowanym uwarstwieniu. Jeżeli podłoże gruntowe ma charakter wysadzinowy lub cechuje się o skłonnościami do skurczu i pęcznienia to wówczas może dojść do miejscowych osiadań i w efekcie zarysowań konstrukcji. W zależności od miejsca występowania osiadań na długości muru zarysowania mają różny przebieg [30]. Gdy osiadania wystąpią w części środkowej ściany rysy mogą mieć charakter pionowy i ukośny (rys. 16a). Przy większych wartościach osiadań w murze może wystąpić efekt przesklepienia. Wówczas w ścianach pojawić się mogą rysy poziome (rys. 16b). Gdy nierównomierne osiadanie występuje w narożniku obiektu obserwuje się zazwyczaj ukośne spękania muru (rys. 16c). W wypadku ścian perforowanych przebiegi rys dostosowują się do geometrii ściany. Przykład uszkodzeń spowodowanych lokalnym osiadaaniem podłoża gruntowego pokazano na rys. 17.

Projektując posadowienie nowych obiektów w okolicy budynków istniejących należy pamiętać o **wpływie nowej konstrukcji na istniejące obiekty**. Poprawnie zaprojektowany i wykonany budynek może spowodować wystąpienie zarysowań w budynkach przyległych. Nowe konstrukcje należy posadawiać nie głębiej niż przyległe budynki oraz oddylatować od starych. W przypadku posadowienia nowej konstrukcji głębiej od poziomu posadowienia istniejącego budynku należy przewidzieć stosowane zabezpieczenia.

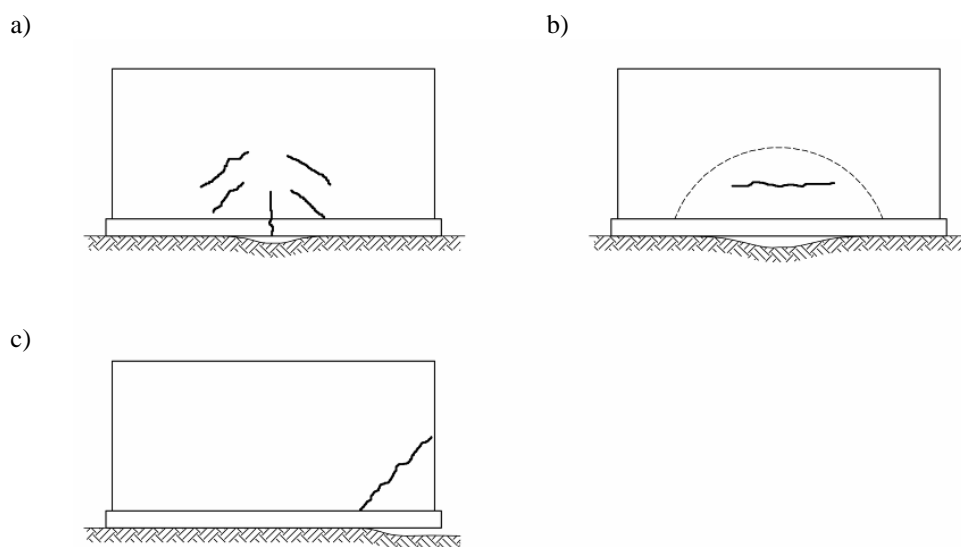
Znane są również przypadki gdy ruch podłoża wywołany dodatkowym obciążeniem wznieszonego budynku wysokiego spowodował osiadanie gruntu i zarysowania budynków znajdujących się nawet w pewnej odległości od budowy.



Rys. 14. Uszkodzenia muru przy stosowaniu jednakowych fundamentów pod nośnymi ścianami zewnętrznymi i wewnętrznymi: a) rozkład naprężeń pod fundamentami, b) obraz zarysowań



Rys. 15. Zarysowanie na styku części wyższej i części niższej budynku



Rys. 16. Typowe zarysowania ścian na skutek nierównomiernego osiadania fundamentów: a) osiadanie w środku ściany, b) znaczne osiadania w środku ściany, c) osiadania narożnika



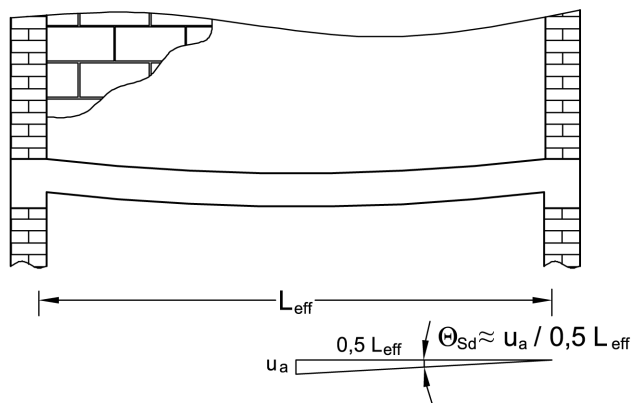
Rys. 17. Przykłady uszkodzeń ścian spowodowanych nierównomiernym osiadaniem podłoża gruntowego

## 2.6. Założenie dużych ugięć stopów pod ścinakami działowymi

Projektowanie żelbetowego elementu zginanego (stropu, belki, nadproża, rygla ramy itp.) w stanie granicznym użyteczności w praktyce sprowadza się do sprawdzenia czy jego ugięcia nie przekraczają wartości odpuszczalnych. Gwarantuje to, że ugięcia 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 [10].

Aby nie doszło do zarysowania ściany murowanej wspartej na stropie lub elemencie belkowym musi być dodatkowo spełniony warunek nie przekroczenia jej deformacji postaciowej, która jest charakteryzowana przez kąt odkształcenia postaciowego. Warunek ten, podany w normie PN-B-03002:1999 [N8] oraz w nowej normie murowej PrPN-B-03002:2006 [N17], dotyczy co prawda ścian usztywniających, ale równie dobrze może być stosowany do innych typów ścian w budynkach (także do ścianek działowych). Ściana murowana, zgodnie z zaleceniami normy, nie ulegnie zarysowaniu lub powstałe zarysowanie będzie miało szerokość rozwarcia nie przekraczającą 0,3 mm wtedy, gdy maksymalna war-

tość kąta odkształcenia postaciowego  $\Theta_{sd}$  wyznaczona dla danej ściany – np. na podstawie zależności geometrycznych (rys. 18) – nie przekroczy podanej w normie dopuszczalnej wartości  $\Theta_{adm}$ .



Rys. 18. Uproszczony sposób wyznaczania maksymalnej wartości kąta odkształcenia postaciowego  $\Theta_{sd}$  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 dopuszczalnych ugięć. W tabelicy 3 przedstawiono wyliczone przykładowe wartości maksymalnych ugięć, dopuszczalnych przez normę PN-B-03264:2002 [N9] oraz Eurokod 2 [N6] oraz wartości obliczonych na ich podstawie kątów odkształcenia postaciowego  $\Theta_{sd}$  w porównaniu z wartościami dopuszczalnymi  $\Theta_{adm}$  wg PrPN-B-03002:2006 [N17], które zależą do rodzaju zaprawy i elementów murowych, z których ściana została wykonana.

Tablica 3. 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-03264:2002 [N9] [m]	Kąt odkształcenia postaciowego muru przy maksymalnym dopuszczalnym ugięciu stropu [mm/m]	Dopuszczalny kąt odkształcenia postaciowego $\Theta_{adm}$ muru wg normy PrPN-B-03002:2006 [N17] [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

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  $\Theta_{adm}$  mur nie ma szans pozostać niezarysowany. Oczywiście dotyczy to przypadku szczególnego, gdy ścinana usytuowana jest w środku rozpiętości stropu. W przypadku gdy ścinana nie jest położona w strefie środkowej przekroczenie warunku  $\Theta_{adm}$  jest mniejsze – ale w dalszym ciągu znaczące.

Wartość dopuszczalnego kąta odkształcenia postaciowego ściany  $\Theta_{adm}$  zależy do rodzaju zaprawy i elementów murowych zastosowanych w murze. Dla ścian wykonanych z elementów grupy 1 na zaprawie cementowo-wapiennej  $\Theta_{adm} = 0,5$ , zaś dla murów z betonu komórkowego na zaprawie cementowej  $\Theta_{adm} = 0,2$ .

Aby wyeliminować możliwość pojawienia się rysy w działowej ścianie stropy należałoby projektować nie z uwagi na nie przekroczenie dopuszczalnych ugięć lecz z warunku na nie przekroczenie dopuszczalnej wartości kąta odkształcenia postaciowego muru. Wówczas graniczna wartość dopuszczalnych ugięć, która według normy żelbetowej wynosi:  $a_{lim} = l_{eff}/200$  (lub  $a_{lim} = l_{eff}/250$ ) ulega znacznemu zmniejszeniu. W tablicy 4 pokazano wartości granicznych ugięć wyznaczone z uwagi na nie przekroczenie dopuszczalnego kąta odkształcenia postaciowego  $\Theta_{adm}$ .

Tablica 4. Wartości dopuszczalnych ugięć wyznaczone z warunku na nie przekroczenie kąta odkształcenia postaciowego muru  $\Theta_{adm}$

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

Wielkości granicznych ugięć podane w tablicy 4 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-03264:2002 [N9] 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-03264:2002 [N9]) nie gwarantuje spełnienia nieprzekroczenia dopuszczalnych wartości kąta odkształcenia postaciowego muru (zgodnie z PrPN-B-03002:2006 [N17]). 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 Eurokodu-2 [N6] zawiera 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 również zapis dodatkowy, 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 wznieszenia konstrukcji, mogą wywołać uszkodzenia przyległych konstrukcji i elementów (np. ścianek działowych), to należy je ograniczyć do poziomu 1/500 rozpiętości efektywnej. Można ponadto stosować inne dodatkowe ograniczenia, zależne od wrażliwości przyległych konstrukcji – na co zwraca się uwagę w pracy [34]. Wartości rzeczywistych ugięć konstrukcji pod ścinakami działowymi, należy wg Eurokodu-2 wyznaczać dla obciążeń quasi-stałych, a nie dla obciążeń maksymalnych.

Podobne zalecenia znaleźć można w polskiej normie PN-EN 13747:2006 [N12] dotyczącej zespolonych płyt stropowych. 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 w sytuacji, gdy na stropie zabudowane są elementy niekonstrukcyjne (np. murowane ścianki działowe), dopuszczalne wartości ugięć ogranicza do nie przekraczających 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 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 miarodajna jest wartość mniejsza).

Niemiecka norma DIN 1045-1 [N3] 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;


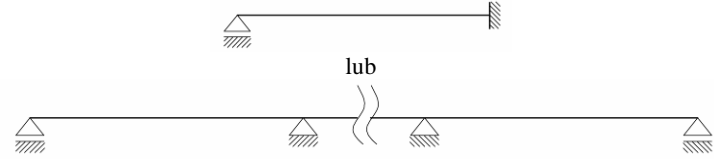
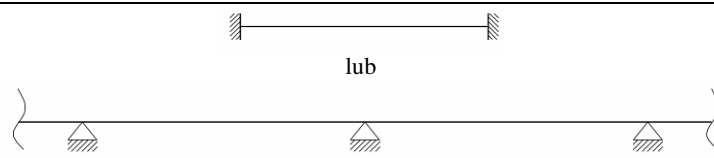

$l_i$  – rozpiętość obliczana wg wzoru (2)

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

gdzie:

$l_{\text{eff}}$  – rozpiętość efektywna;  
 $\alpha$  – współczynnik wg tablicy 5.

Tablica 5. Wartości współczynnika  $\alpha$  wg [N3] [45]

Schemat statyczny	Współczynnik $\alpha$
	1,0
	0,8
	0,6
	2,4

W wytycznych niemieckich [35] znaleźć można dodatkowe zalecenia odnośnie murowania ścianek działowych na stropach:

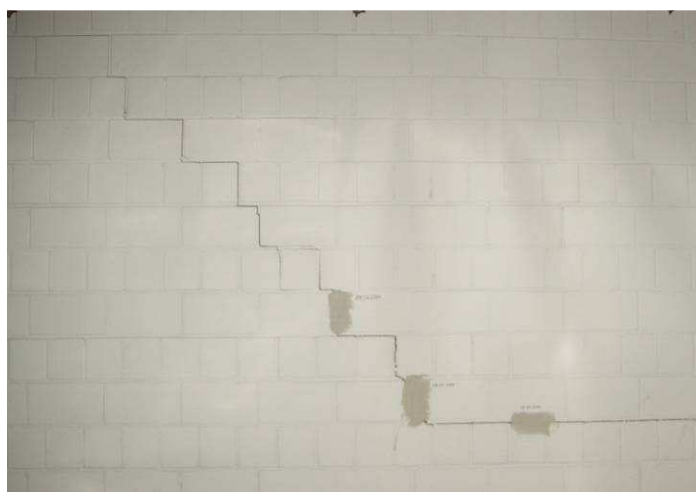
- należy jak najpóźniej przystąpić do murowania ścian działowych – po zakończeniu robót stanu surowego;
- przed wmurowaniem elementów murowych przykryć je folią w celu wyeliminowania skurczu;
- przy dużych rozpiętościach stropu  $l_i > 7,0$  m stosować zbrojenie w spoinach wspornych ścianek działowych.

Gdy na etapie projektowania pominięty zostanie problem ugięć stropu i projektant ograniczy się do zachowania warunków ugięć z normy żelbetowej PN-B-03264:2002 [N9] może dojść do zarysowania ścianek działowych 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. 19) oraz ukośnym (rys. 20). Zarysowania poziome przebiegają zazwyczaj przez spoiny wsporne, zaś rysy ukośne wzdłuż spoin wspornych i czołowych lub także przez elementy murowe.



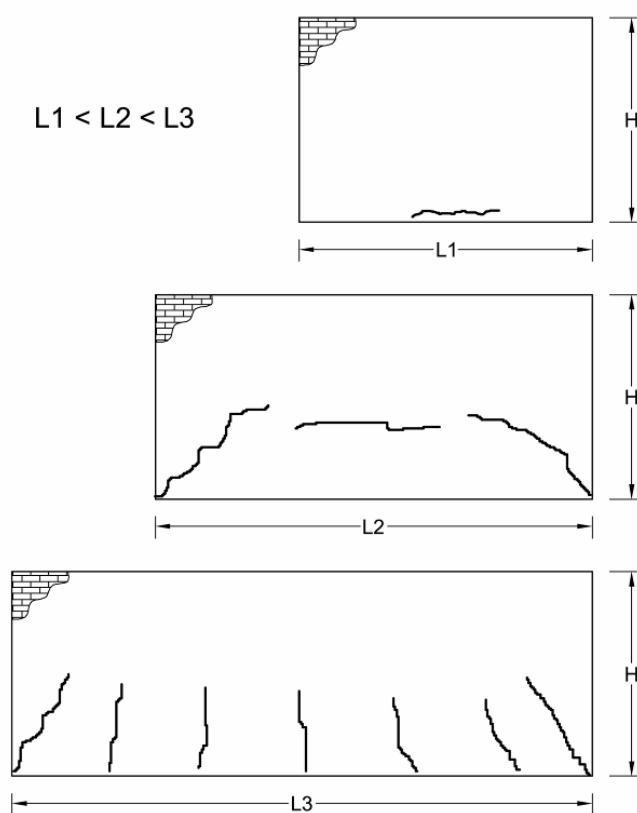
Rys. 19. Pozioma rysa w dolnej części ściany



Rys. 20. Ukośne i poziome zarysowanie ścianki działowej

Sposób zarysowania ścian działowych spowodowany ugięciem konstrukcji je podpierającej jest podobny do zarysowań ścian pod wpływem nierównomiernego osiadania gruntu (rys. 16 a i b). Przebieg rys zależy przede wszystkim od stosunku wysokości  $H$  do szerokości  $L$  ściany (rys. 21). Elementy o  $H/L$  zbliżonym do 1 wykazują najczęściej zarysowanie w układzie horyzontalnym, tuż przy poziomie stropu lub na niewielkiej wysokości licząc od powierzchni stropu. Ściany o nieco większej szerokości najczęściej rysują się ukośnie, a dodatkowo mogą wtedy także wystąpić zarysowania poziome usytuowane bliżej środka wysokości ściany. Natomiast w murach o szerokości 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 jej proporcji geometrycznych, ale również od stosunku sztywności ściany do sztywności stropów.

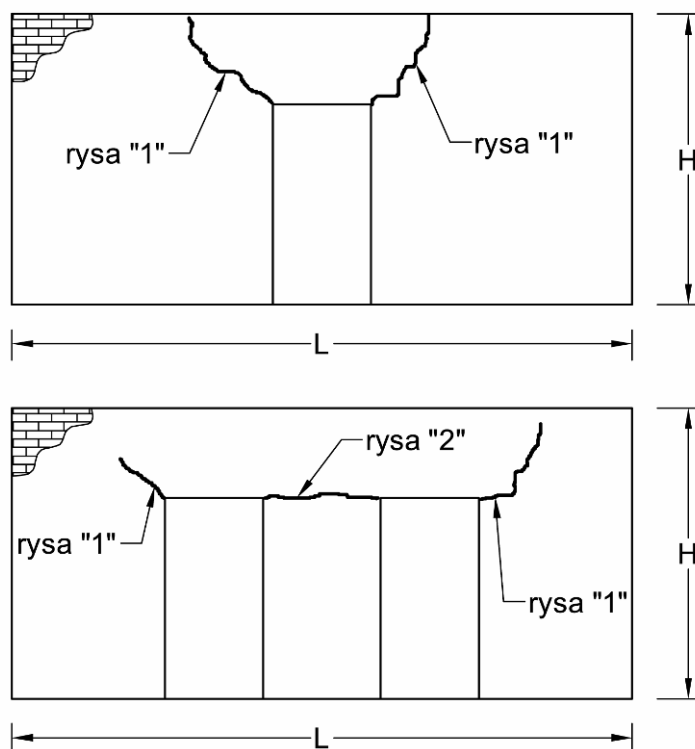
W przypadku, gdy w ścianie działowej występują otwory drzwiowe lub okienne, rysy występują zazwyczaj w rejonie naroży otworów i często mają ukośny, bądź poziomy przebieg (rys. 22). Układ uszkodzeń zależy wtedy zarówno od stosunku  $H/L$ , jak i stopnia perforacji ściany otworami (rys. 23) oraz lokalizacji otworu w ścianie. W wypadku pojedynczego otworu zarysowania mają zazwyczaj ukośny przebieg, w górę od naroża otworu (rysy oznaczone jako „1” na rys. 23). Gdy w ścianie znajduje się kilka otworów, tworzyć się mogą poziome rysy łączące ich górne narożniki (rysa „2” rys. 23). Przykłady różnych zarysowań ścian działowych spowodowanych ugięciem stropu pokazano na rys. 24.



Rys. 21. Zarysowanie ścian działowych w zależności od stosunku wysokości do szerokości



Rys. 22. Zarysowanie w rejonie naroży otworu drzwiowego

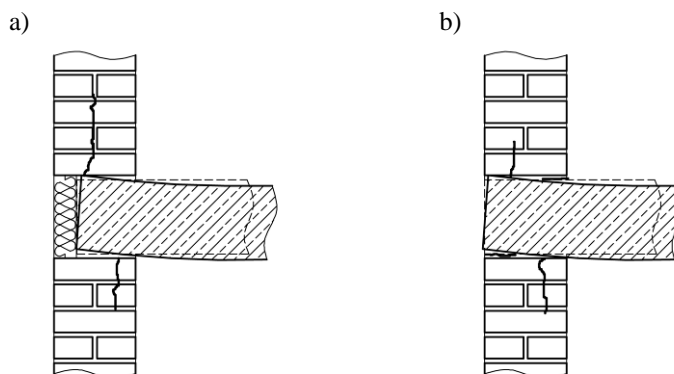


Rys. 23. Zarysowanie ścian działowych z otworami



Rys. 24. Przykłady zarysowań ścianek działowych

Ugięcia stropów mogą być przyczyną uszkodzeń nie tylko ścian działowych, ale również i ścian nośnych. Gdy docisk ścian wyższych kondygnacji jest na tyle mały (model przegubowy wg PrPN-B-03002:2006 [N17]), że umożliwia obrót uginającego się stropu na podporze, wówczas istnieje niebezpieczeństwo powstania rysy wewnętrznej rozwarstwiającej ścianę w płaszczyźnie ocieplenia wieńca (rys. 25). Jeżeli wieńiec nie jest ocieplony wtedy dodatkowo powstaje zazwyczaj rysa pozioma na elewacji budynku.



Rys. 25. Zarysowania ścian nośnych wywołane ugięciem stropu i jego obrotem na podporze

### 3. Uszkodzenia spowodowane złym wykonawstwem

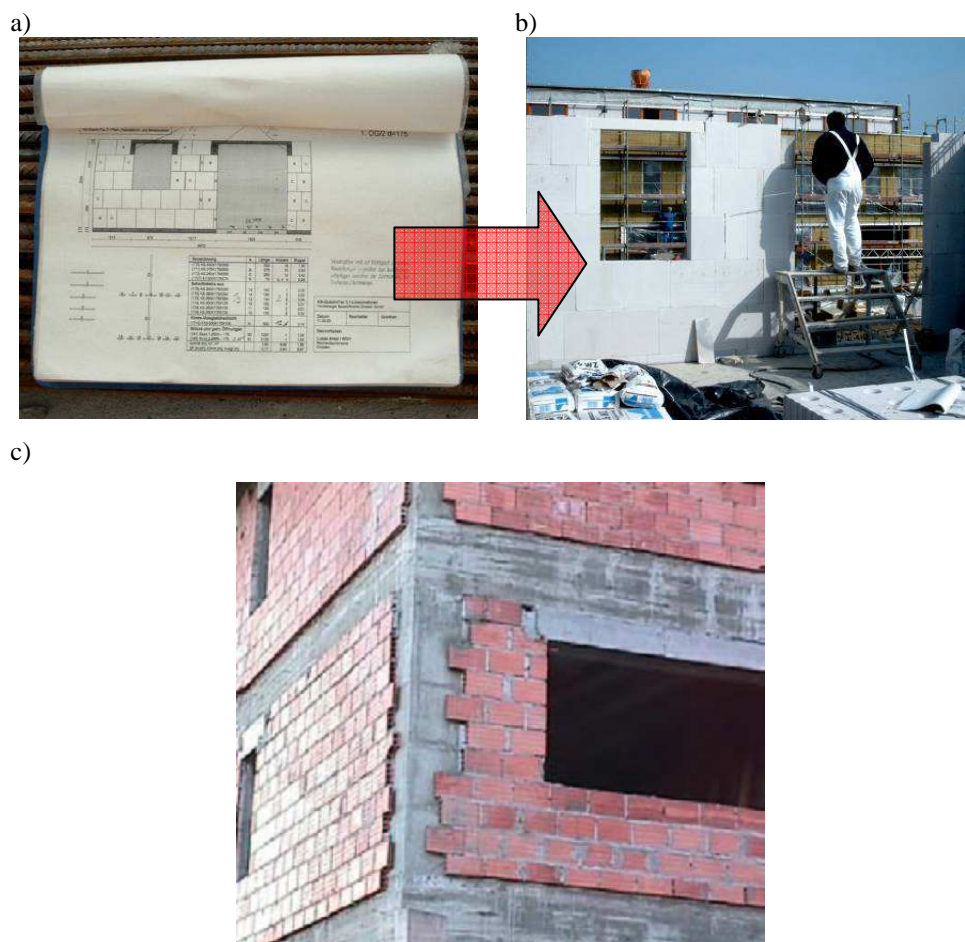
Wykonawstwo konstrukcji murowych w sposób istotny wpływa na ich nośność odkształcalność i trwałość [19]. Błędy wykonawstwa mogą zniweczyć trud projektanta i nawet przy najlepiej sporządzonym projekcie mogą przyczynić się do powstania uszkodzeń muru. Do typowych błędów wykonawczych należą:

- niekorzystne odstępstwo od projektu;
- zła jakość robót;
- brak przewiązania elementów murowych;
- stosowanie w murze różnych materiałów;
- nieodpowiednie spoinowanie na elewacjach;
- stosowanie materiałów złej jakości;
- błędy wynikające z niezajomości pracy stycznej konstrukcji.

#### 3.1. Niekorzystne odstępstwo od projektu

Zgodnie z obowiązującym Prawem Budowlanym na etapie wykonywania obiektu można dokonać zmian nieodstępujących w sposób istotny od zatwierdzonego projektu lub warunków pozwolenia na budowę. Kierownik ma prawo do występowania do inwestora o zmiany w rozwiązaniach projektowych jeżeli są one uzasadnione koniecznością zwiększenia bezpieczeństwa realizacji robót lub usprawnienia procesu budowy. Wszelkie inne zmiany dokonywane samowolnie podczas budowy obiektu są niedopuszczalne. W tym miejscu można podać szereg przykładów stwierdzonych na budowach odstępstw od projektów. W celu

zwiększenia kontrastu zdecydowano się zaprezentować sytuację idealną – gdzie w pełni zrealizowano założenia projektowe i przykład patologii budowlanej (rys. 26).

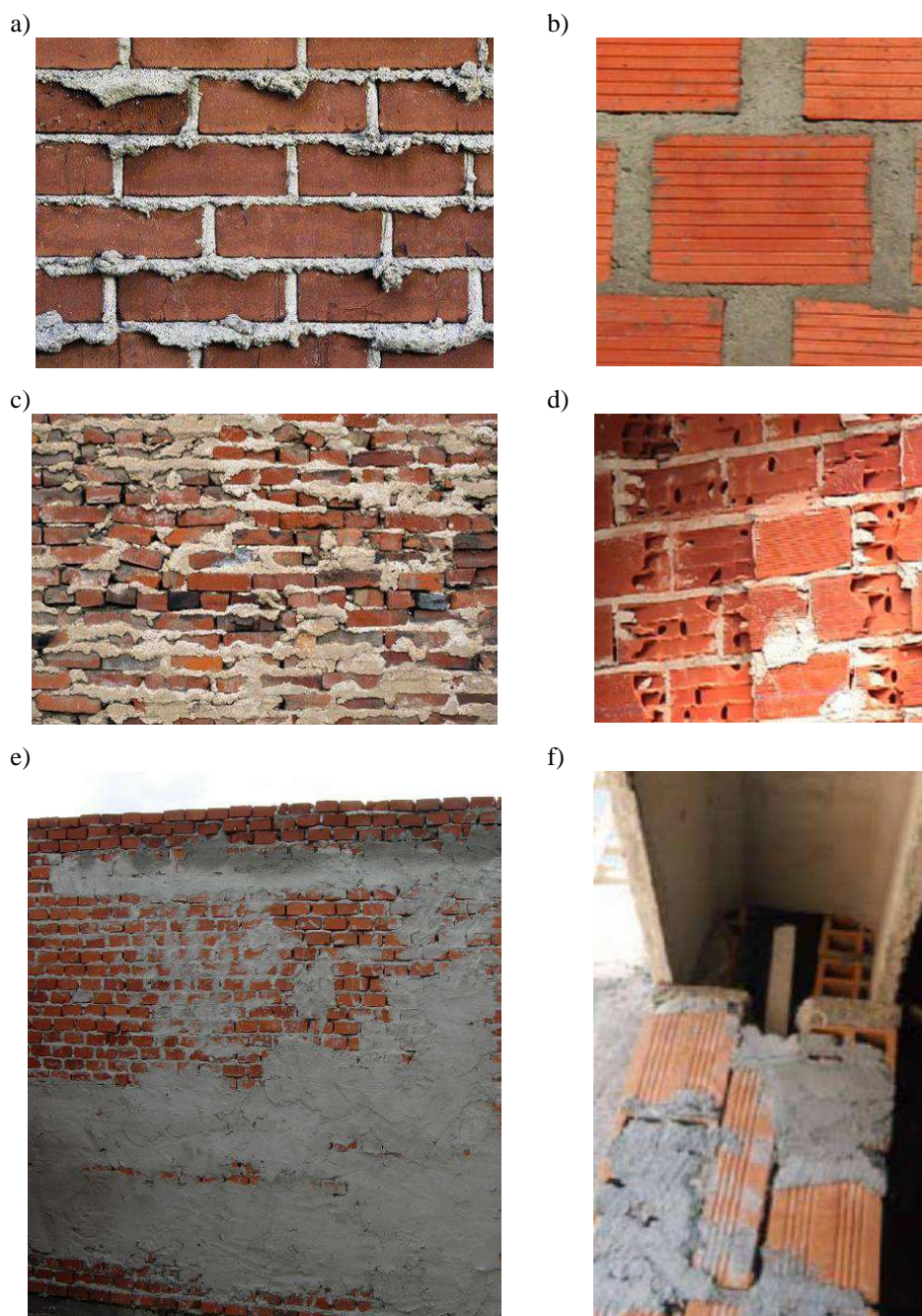


Rys. 26. Porównanie dobrego i złego wykonawstwa: a) projekt i b) jego wykonanie, c) niezgodne z projektem połączenie muru i monolitycznego szkieletu

### 3.2. Zła jakość robót

Nieodpowiednia jakość robót murarskich jest przyczyną wszystkich opisanych wyżej uszkodzeń wygenerowanych przez złe wykonawstwo. W tym punkcie przedstawione zostaną jednak przypadki szczególne, gdzie uszkodzenia zostały spowodowane przez niechlujstwo i niedbalstwo wykonawcy. Wymienić tutaj należy niestaranne układanie elementów murowych, brak wypełniania spoin lub wykonywanie zbyt grubych spoin, odchyłki od pionu, stosowanie uszkodzonych elementów murowych, umieszczenie w warstwie izolacji gruzu, cegieł itp. Przykłady takich uszkodzeń pokazano na rys. 27.



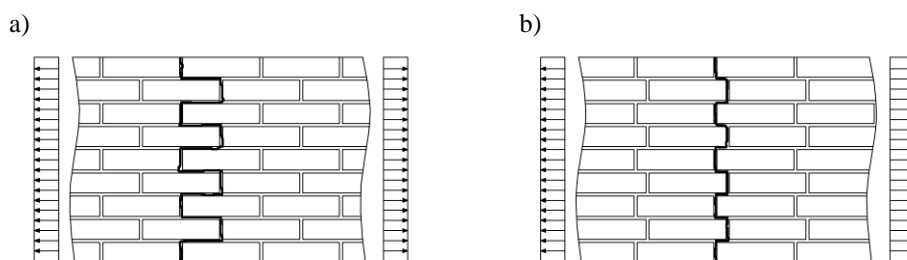


Rys. 27. Przykłady niewłaściwego wykonawstwa murów: a) nie usunięta zaprawa wypływająca ze spoin, b) zbyt grube spoiny, c) niestaranne układanie elementów murowych, d) stosowanie uszkodzonych elementów murowych, e) wyrównanie odchyłek od pionu zaprawą, f) brak lub zbyt cienka warstwa izolacji termicznej, gruz zamiast izolacji

### 3.3. Brak przewiązania elementów murowych

Przewiązanie muru jest istotną stroną wykonawstwa. Niewykonanie odpowiednich przewiązań elementów murowych mieści się w ramach opisanej wyżej złej jakości robót, jednakże z uwagi na swój specyficzny charakter wymaga odrębnego omówienia. Norma PrPN-B-03002:2006 [N17] w warunkach konstrukcyjnych nakazuje by elementy murowe wiązać w kolejnych warstwach tak, aby mur zachowywał się jak jeden element konstrukcyjny. W celu zapewnienia należytego wiązania, elementy murowe powinny nachodzić na siebie na długość nie mniejszą niż 0,4 wysokości elementu lub 40 mm. Miarodajna jest wartość większa.

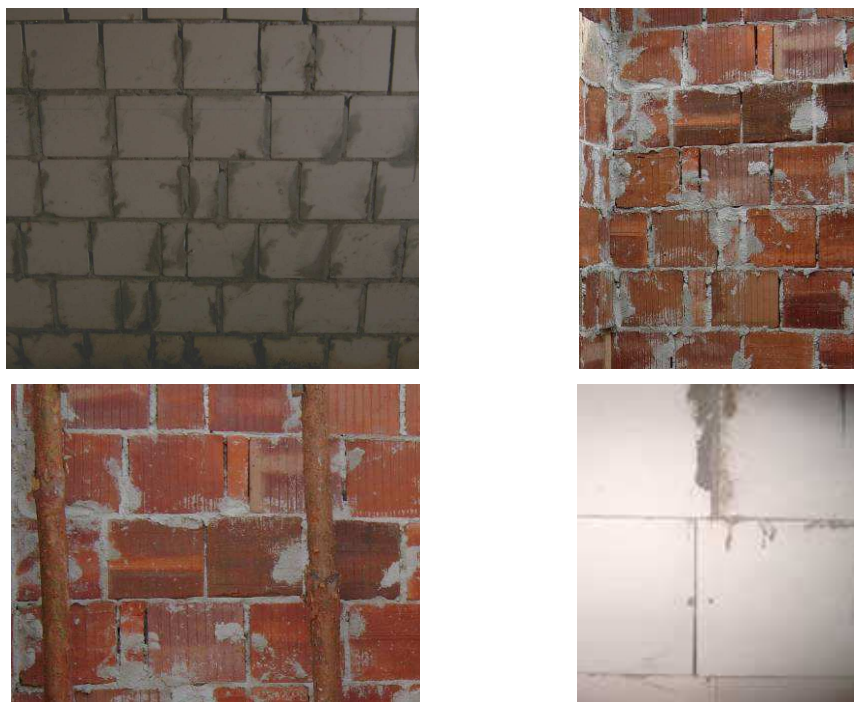
Mur ze względu na swą kompozytową budowę (elementy murowe + zaprawa) już pod wpływem osiowego obciążenia znajduje się w złożonym stanie naprężenia. Zarysowania muru występują zazwyczaj w kierunku prostopadłym do głównych naprężeń rozciągających. Jeżeli kierunek głównych naprężeń rozciągających pokrywa się z płaszczyzną spoin wspornych lub jest od nich w niewielkim stopniu odchylny to przewiązanie w istotny sposób decyduje o odporności muru na zarysowanie. Przy dobrym wiązaniu elementów murowych powierzchnia przewiązania jest większa i maleje ryzyko zarysowania (rys. 28). Na rys. 29 pokazano odkrywkę tynku w miejscu rysy powstałej na skutek złego przewiązania. Inne przykłady złego przewiązania elementów murowych pokazano na rys. 30.



Rys. 28. Wpływ przewiązania elementów murowych na zarysowanie muru: a) zmniejszone ryzyko zarysowania poprzez dużą powierzchnię przewiązania, b) zwiększone ryzyko zarysowania poprzez małą powierzchnię przewiązania



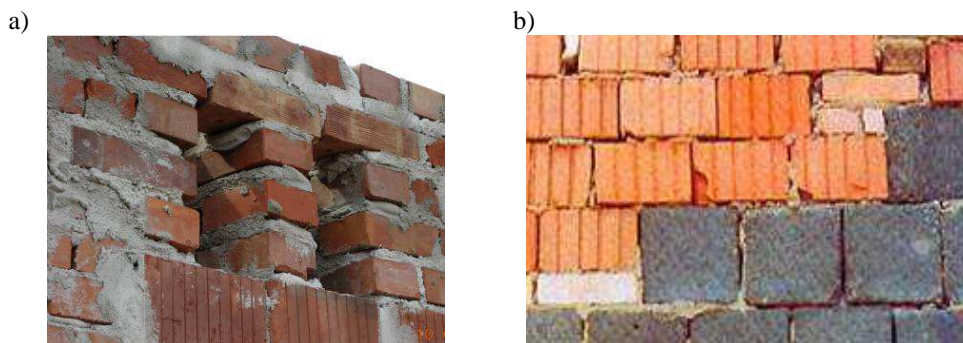
Rys. 29. Odkrywka tynku przy rysie – złe przewiązanie elementów murowych



Rys. 30. Przykłady złego przewiązania elementów murowych

### 3.4. Stosowanie w murze różnych materiałów

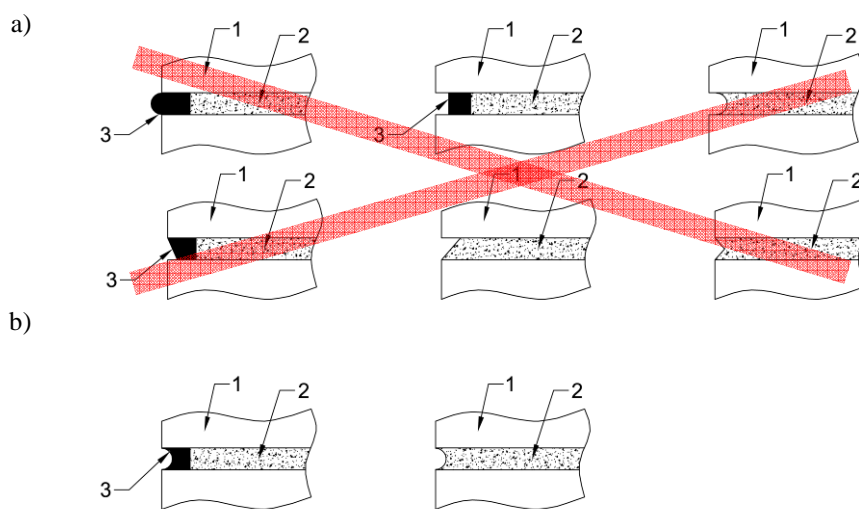
Podobnie jak w wypadku wykonywania ścian jednego obiektu z różnych materiałów (patrz pkt 2.3) stosowanie w jednej ścianie różnych elementów murowych, z uwagi na ich różne odkształcalności, może powodować poswatanie zarysowań. Bezwzględnie trzeba unikać stosowania różnych typów materiałów: ceramika-beton, ceramika-silikat, beton-silikat. Jeżeli już istnieje taka konieczność, to stosować trzeba połączenia różnych elementów w ramach jednego materiału, np. ceramika-ceramika, beton-beton (rys. 31).



Rys. 31. Połączenia w ścianie różnych materiałów: a) dopuszczalne ceramika-ceramika, b) niedopuszczalne – 4 elementy murowe na około 1 m<sup>2</sup> ściany

### 3.5. Nieodpowiednie spoinowanie na elewacjach

Na elewacjach beztynkowych istotnym problemem jest jakość wykonania fug. Źle wykonane spoinowanie, poprzez ułatwienie podciekania i migracji wód opadowych wgłąb struktury muru, przyczynić się może do wywołania uszkodzeń korozyjnych muru [18]. Na rys. 32 pokazano za [42] przykłady niezalecanych oraz zalecanych rozwiązań spoinowania elementów murowych.



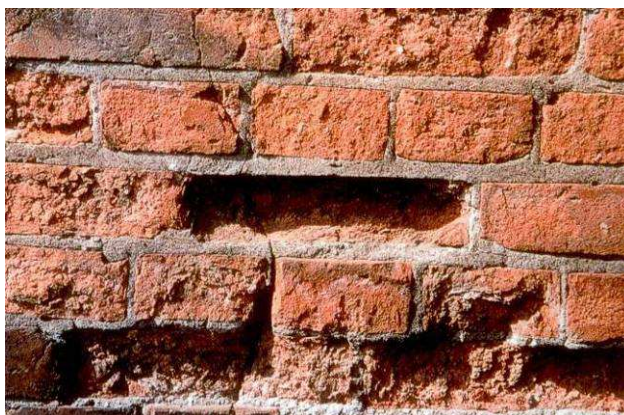
Rys. 32. Przykłady fachowego i niefachowego spoinowania: a) niezalecane b) zalecane;  
1- element murowy, 2- zaprawa, 3- fuga

### 3.6. Stosowanie materiałów złej jakości

Na etapie budowy nie zawsze jest możliwe określenie jakości wykorzystywanych materiałów. Cechy takie jak mrozoodporność, tendencja do nadmiernego skurczu czy pęcznienie ujawniają się zazwyczaj dopiero po pierwszym okresie grzewczym. Dopuszczone do handlu materiały powinny spełniać wymagania stosowanych norm, np. elementy murowe norm PN-EN 771 [N13]. Podczas zamawiania i zakupu materiałów należy jednak zwrócić uwagę nie tylko na ich cenę lecz również na wygląd zewnętrzny – czyli określić ich typowe wady i uszkodzenia.

Do typowych wad elementów murowych zalicza się: skrzywienia powierzchni i krawędzi, odchylenia od kąta prostego między powierzchniami podstawy i bocznymi, uszkodzenia krawędzi i naroży, zarysowania na powierzchniach, pęknięcia ścianek, odpryski na powierzchniach [20]. Oczywiście wyższe kryterium oceny przyjąć należy w stosunku do elementów licowych i elewacyjnych.

Stosowanie materiałów złej jakości może spowodować uszkodzenia korozyjne muru (rys. 33).



Rys. 33. Uszkodzenia korozyjne muru

### 3.6. Błędy wynikające z nieznanomości pracy stycznej konstrukcji

Opisy techniczne projektów budowlanych nie zawsze szczegółowo określają technologię prowadzenia robót konieczną do realizacji założeń projektu. Wiele zależy tu od umiejętności i fachowości kierownika budowy. Podczas wznoszenia obiektów można popełnić dużo błędów wynikających z nieznanomości pracy statycznej konstrukcji, które skutkować będą wystąpieniem uszkodzeń. Ilustracją tego niech będą następujący przykład. W pewnym budynku podczas montażu prefabrykowanych żelbetowych stropów nad parterem stropy te uciąglono w miejscach dylatacji budynku. Powyżej stosowano stropy gęstożebrowe. Uciąglone na dylatacjach stropy nie pozwoliły na swobodne osiadanie jednej części budynku względem drugiej. Dylatacja otwierała się u góry budynku a sztywne tarcze stropów powodowały poziome odkształcenia budynku (rys. 34). Wynikiem tego było ścięcie wewnętrznych ścian działowych na piętrze obiektu (rys. 35).



Rys. 34. Szczelina między skrzydłem drzwiowym a ościeżnicą powstała na skutek odkształceń ścian



Rys. 35. Zarysowania na skutek ścięcia ścian działowych

#### 4. Uszkodzenia wywołane niewłaściwą eksploatacją obiektu

Również na etapie eksploatacji obiektu można wygenerować przyczyny, które doprowadzić mogą do stopniowej degradacji konstrukcji. Wśród typowych błędów eksploatacyjnych wyróżnić należy:

- brak remontów i zaniedbania;
- niefachowe remonty;
- wpływ otoczenia na budynek;
- wyburzenia;
- zmiany funkcji, przeciążenia.

##### 4.1. Brak remontów i zaniedbania

Brak prowadzenia doraźnych konserwacji, remontów oraz likwidacji drobnych uszkodzeń to najczęstsza przyczyna powstawania znacznych uszkodzeń obiektów podczas eksploatacji. Mury elewacyjne, które narażone są na skutki działania środowiska zewnętrznego, szczególnie wymagają zabiegów naprawczych. W przypadku braku takowych warstwy lico- we muru ulegają stopniowemu zniszczeniu. Na rys. 36 pokazano przykłady uszkodzeń murów spowodowanych naturalnym starzeniem materiału i brakiem doraźnych remontów.

W wypadku braku prowadzenia remontów przez bardzo długi okres czasu można doprowadzić do całkowitej degradacji budynku (rys. 37).



Rys. 36. Uszkodzenia elewacji spowodowane brakiem doraźnych remontów:  
 a) wyrastająca z muru roślinność, b) mech na elementach murowych,  
 c) uszkodzenia tynku, cegieł i spoinowania

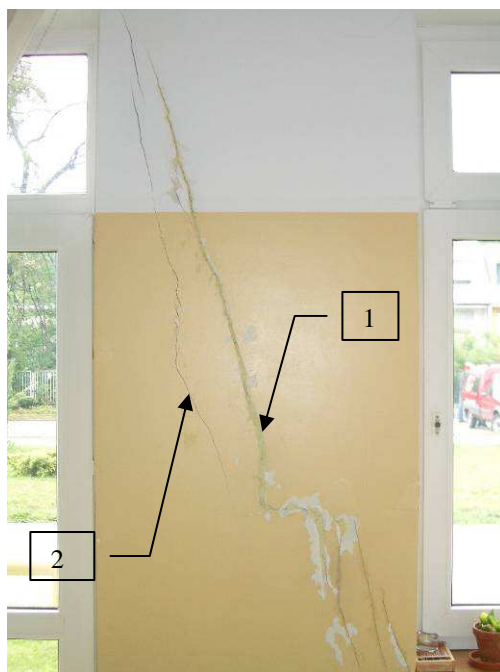


Rys. 37. Całkowita degradacja konstrukcji

## 4.2. Niefachowe remonty

Nie tylko nie prowadzenie remontów lecz również złe ich wykonywanie może być przyczyną uszkodzeń. Często błędem podczas remontów konstrukcji murowych jest stosowanie przemurowań ze sztywnych elementów murowych i mocnej zaprawy cementowej w murach starych, wykonanych z elementów murowych o zupełnie innej charakterystyce odkształceniowej i plastycznej zaprawy wapiennej. Innym podobnym przykładem jest stosowanie mocnej zaprawy wapiennej do spoinowania zabytkowych murów [18].

Aby poprawnie przeprowadzić remont konstrukcji murowej należy najpierw określić przyczynę występowania danego uszkodzenia, następnie starać się ją wyeliminować i dopiero później przeprowadzić remont. Na rys. 38 pokazano zainiektowaną rysę w murze z elementów silikatowych na cienkie spoiny. Przed wykonaniem iniekcji nie zdiagnozowano przyczyn uszkodzeń ani tym bardziej przyczyn tych nie wyeliminowano. Po pewnym czasie od wykonania naprawy obok starej zainiektowanej rysy pojawiła się nowa rysa.



Rys. 38. Naprawa rysy przez iniekcję bez wyeliminowania przyczyn uszkodzeń – skutek: nowe zarysowanie; 1- zainiektowana rysa, 2- nowa rysa

## 4.3. Wpływ otoczenia na budynek

Wszystkie czynniki mogące wpłynąć na ruch podłoża wokół budynku mogą być potencjalnymi przyczynami wywołującymi uszkodzenia obiektu. Ruch szynowy i kołowy powodujący obciążenia o charakterze dynamicznym, budowa w okolicy nowych wysokich obiektów,



a nawet przepływające w rurach kanalizacji deszczowej i sanitarnej ścieki mogą powodować lokalne dogęszczenia i rozluźnienia gruntu, a w konsekwencji zarysowania murów.

Ciekawym aspektem jest wpływ drzew na sąsiadujące z nimi budynki [21],[22]. Szata roślinna usytuowana w pobliżu budynku odprowadza z gruntu wodę. Jeżeli budynek posadowiony jest na gruntach pęczniących to zaburzenie stosunku gruntowo-wodnego może skutkować ich nierównomiernym osiadaniem, a następnie zarysowaniem murów budynku. Należy się jednak powstrzymać przed natychmiastową wycinką wszystkich drzew w sąsiedztwie budynku. Wycinanie drzew również zaburzy stosunek gruntowo-wodny i tak samo może doprowadzać do uszkodzeń ścian. Wszelką wycinkę drzew należy poprzedzić dokładną analizą istniejącego podłoża gruntowego. Na pewno jednak nie należy dopuścić do sytuacji, gdy drzewa wyrastają z samych fundamentów lub ze ścian (rys. 39).

a)



b)



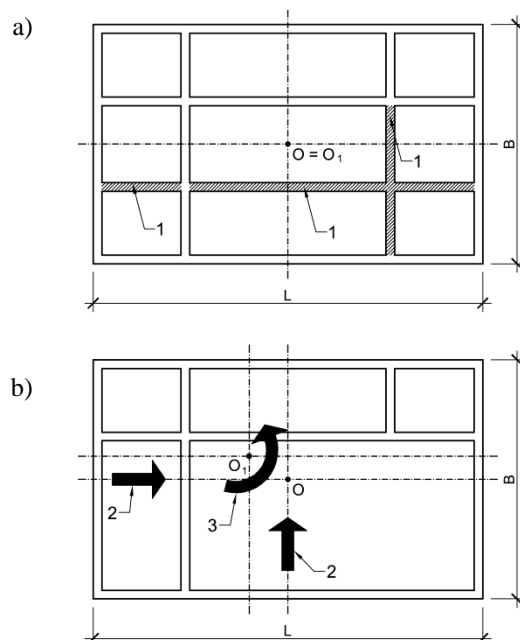
Rys. 39. Drzewa jako przyczyny uszkodzeń murów: a) drzewo wyrastające z okolic fundamentu, b) samosiejki wyrastające z murów

#### 4.4. Wyburzenia

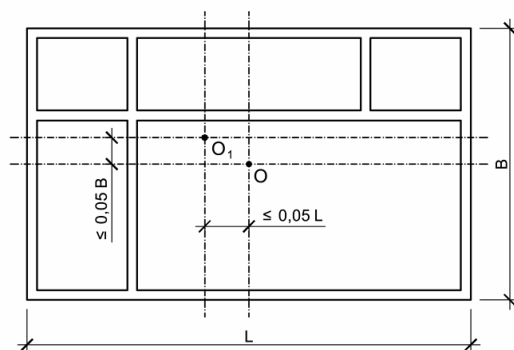
Prowadząc modernizację obiektów istniejących należy mieć na uwadze przestrzenną sztywność i stateczność budowli. Wyburzenia ścian wewnętrznych w celu uzyskania większej przestrzeni – pomimo stosowania podciągów i belek przejmujących obciążenia pionowe, może do prowadzić do uszkodzeń innych ścian. Jeżeli wyburzana ściana jest ścianą usztywniającą przenoszącą obciążenia poziome (np. od parcia wiatrem) to po jej wyburzeniu zmienia się układ ścian przejmujących obciążenia i może dojść do dodatkowego obciążenia momentem skręcającym (rys. 40).

Zgodnie z normą PrPN-B-03002:2006 [N17] jeżeli ściany usztywniające są rozmieszczone asymetrycznie lub jeżeli z innego powodu siła wypadkowa z poziomych obciążeń lub oddziaływań na budynek działa mimośrodowo w stosunku do środka ciężkości rzutu ścian

usztyniających, na mimośrodku większym niż 0,05 długości względnie szerokości budynku (rys. 41).



Rys. 40. Wpływ wyburzeń na układ ścian przejmujących obciążenia poziome:  
 a) przed wyburzeniem – brak mimośrodu, b) po wyburzeniu – powstaje mimośród obciążenia i dodatkowy moment; 1- ściana do wyburzenia, 2- wypadkowa obciążenia poziomego, 3- dodatkowy moment, O – środek geometryczny,  $O_1$  – środek ciężkości ścian usztyniających, L i B – szerokość i długość budynku



Rys. 41. Dopuszczalne wartości mimośrodu od obciążeń poziomych wg PrPN-B-03002:2006 [N17]

Prowadząc wyburzenia całych obiektów należy mieć na uwadze stateczność budynków sąsiednich. Szczególną ostrożność trzeba zachować w zabudowie zwartej. Stare budynki ze stropami odcinkowymi na belkach stalowych w postaci sklepień często wykorzystują pod-

parcie ścianami sąsiednich budynków w celu przejęcia poziomych sił rozporu na ścianach szczytowych. Jeżeli dokonamy wyburzenia budynku współpracującego w przenoszeniu obciążeń to sąsiednie budynki należy zabezpieczyć (rys. 42). W przeciwnym wypadku na ścianach szczytowych sąsiednich budynków mogą wystąpić poziome zarysowania oraz dodatkowe zarysowania w zworniku sklepień.

Przy wykonywaniu wszelkich prac ziemnych w pobliżu budynków istniejących (np. związanych z rozbiórką innych obiektów) należy stosować wszelkie możliwe zabezpieczenia. Jakakolwiek zmiana warunków gruntowo-wodnych może doprowadzić do poważnych uszkodzeń sąsiednich budynków a nawet do katastrofy [46].



Rys. 42. Zabezpieczenie sąsiednich budynków po wyburzeniu budynku środkowego

#### **4.5. Zmiany funkcji, przeciążenia**

W czasie eksploatacji czasem dochodzi do zmiany funkcji obiektu. Wraz ze zmianą funkcji często zmieniają się wartości obciążeń. Może wtedy dojść do przeciążenia elementów konstrukcyjnych, w tym i ścian murowanych. Opis uszkodzeń spowodowanych przeciążeniem zamieszczono w punkcie 2.1.

### **5. Uszkodzenia wywołane obciążeniami wyjątkowymi**

Obciążenia wyjątkowe takie jak pożary, powódzie, wybuchy, trzęsienia ziemi itp. mogą powodować znaczne uszkodzenia murów. Norma PrPN-B-03002:2006 [N17] zaleca by oddziaływania wyjątkowe, na skutek których ulega zniszczeniu część konstrukcji nie powodowały zniszczenia konstrukcji w zakresie nieproporcjonalnie dużym w stosunku do przyczyny. Problem w tym, że o ile samo wystąpienie obciążeń wyjątkowych można przewidzieć

(np. obiekt jest usytuowany w strefie częstych oddziaływań sejsmicznych, czy parasejsmicznych), to jego intensywność pozostaje niewiadomą. Zadaniem projektanta, wykonawcy i zarządcy obiektu jest takie zaprojektowanie, wykonanie i eksploataowanie budynku by maksymalnie zminimalizować skutki możliwych obciążeń wyjątkowych.

Każdy z typów obciążeń wyjątkowych ma swój specyficzny charakter i zabezpieczenie przed każdym z nich wiąże się z innymi problemami. Temat ten nie będzie tutaj szerzej rozwijany. Sporo informacji znaleźć można w pracach [2], [5], [6], [7], [8], [14], [44].

Na rys. 43 pokazano przykładowe uszkodzenia spowodowane trzęsieniem ziemi, wpływami eksploatacji górniczej oraz powodzią.

a)



b)



c)



d)



Rys. 43. Uszkodzenia od obciążeń wyjątkowych: a) trzęsieniem ziemi, b) i c) wpływami eksploatacji górniczej, d) powodzią

## 6. Uszkodzenia tynków

Znaczna część zniszczeń tynków wywołana jest uszkodzeniami konstrukcji (opisanymi w punktach 2÷5) dlatego w tej części pracy omówiono tylko uszkodzenia warstw wyprawy

tynkarskiej. Ponieważ tematyka rodzajów i przyczyn uszkodzeń tynków jest znacznie rozbudowana skoncentrowano się głównie na opisaniu zniszczeń tradycyjnych tynków trójwarstwowych (obrzutka – narzut – gładź).

Do podstawowych typów uszkodzeń tynków zaliczyć można [1], [12], [39], [43]:

- zarysowania i spękania;
- odparzenia, odpryski i pęcherze;
- złuszczenia;
- uszkodzenia mrozowe;
- wykwity solne;
- odspojenia i osłabienia przyczepności do podłoża;
- wykruszenia;
- zabrudzenia;
- rozwój glonów, grzybów i mchów;
- uszkodzenia mechaniczne.

Najczęstszym rodzajem uszkodzeń tynków są **zarysowania i spękania**. Ze względu na szerokość rozwarcia rys można je podzielić na:

- rysy włoskowate o szerokości do 0,1 mm;
- drobne zarysowania o szerokości 0,1÷1 mm;
- spękania o szerokości powyżej 1,0 mm.

Przyczyny powstawania rys włoskowatych na tynku są różne w zależności od stosowanych materiałów ściany i rodzaju tynku. Rysy te mają postać siatki regularnych bądź nieregularnych zarysowań. Jeżeli rysy tworzą regularny obraz odzwierciedlający układ elementów murowych w ścianie to przyczyną ich powstania są zbyt słaba zaprawa murarska lub złe wykonanie spoin muru (zaprawa spoin wystająca poza lico muru - rys. 27a). Jeżeli rysy mają nieregularny przebieg (rys. 44) to przyczyną ich powstania może być naniesienie ostatniej warstwy tynku – gładzi na warstwę narzutu przed jej wyschnięciem lub stosowanie do wykonania narzuty zaprawy z kruszywem piaskowym zanieczyszczonym gliną. Uszkodzenia te występują również przy narzutach z dużą ilością cementu. Wówczas warstwa ta odsąca wodę z gładzi i powoduje jej zarysowania.

Drobne zarysowania tynku o szerokości do 1 mm występują zazwyczaj na skutek niewłaściwego stosunku W/C w warstwach tynku co powoduje skurcz zaprawy tynkarskiej. Zarysowania takie występują również w wypadku ekstremalnych warunków dojrzewania tynku (np. przy dużych temperaturach i znacznym nasłonecznieniu).

Spękania o szerokości powyżej 1 mm (nie związane z zarysowaniem konstrukcji) występują na skutek nakładania się kilku niekorzystnych czynników (np. zły skład tynku, niekorzystne warunki dojrzewania, złe wykonawstwo).

**Odparzenia, odpryski i pęcherze** tynków mają zazwyczaj charakter lokalny. Przyczyna ich powstawania są niestabilne cząstki obecne w zaprawie tynkarskiej podczas jej wykonywania. Mogą one pochodzić z zaprawy gipsowej, wapna, gliny lub częściowo uwodnionego cementu.



Rys. 44. Przykłady nieregularnych rys włoskowatych na tynku

Podstawową przyczyną powstawania **wykwitów na tynkach** jest ich wykonywanie na zawilgoconych murach lub znaczne zwilgocenie tynków w późniejszym okresie. Aby powstały wykwity konieczne jest występowanie w porach tynku lub w murze wolnej wody oraz źródeł soli różnych substancji, które w wodzie tej się roztapiają. Woda zawierająca sole migrując przez tynk kieruje się ku jego powierzchni, gdzie odparowuje pozostawiając osad w postaci wykwitu lub nalotu krystalizującej soli [33]. Wilgoć konieczna do powstania wykwitów może pochodzić z wody gruntowej, opadów atmosferycznych, wody znajdującej się w murze, pary wodnej migrującej z wnętrza budynku. Źródłem soli tworzących wykwity na tynkach mogą być materiał elementów murowych, rodzaj użytej zaprawy oraz zanieczyszczenia wody dostającej się do ścian.

Nasilenie powstawania wykwitów obserwuje się w okresie zimowym, zaś zmniejszenie intensywności ich pojawiania się w okresie wiosennym. Związane to jest z tzw. zjawiskiem osmozy. W okresie zimowym, przy ujemnych temperaturach, woda znajdująca się w porach zewnętrznej warstwy tynku zamarza jako pierwsza. Lód powstaje najpierw w dużych kapilarach, a następnie w porach mniejszych. Po zmianie pewnej ilości wody w lód, powstaje różnica stężeń pomiędzy większymi kapilarami z lodem, a małymi porami gdzie nie ma jeszcze lodu oraz porami położonymi w głębszych warstwach tynku. Woda dąży do stanu równowagi termodynamicznej i migruje z mniejszych i głębszych porów do porów większych o większej koncentracji roztworu (lód). Zjawisku temu towarzyszy ciśnienie osmotyczne, które odpowiedzialne jest również za **uszkodzenia mrozowe tynków**.

**Odspojenia i osłabienia przyczepności podłoża tynków** powstają na skutek wielu różnych czynników. Do jednych z nich zaliczyć można duże właściwości higroskopijne materiału muru powodujące odsysanie wody z zapraw tynkarskich podczas ich wykonywania. Zaprawa tynkarska zostaje osłabiona co może prowadzić do odspojenia tynku. Również zbyt mała chłonność muru, spowodowana dużą gęstością lub znacznym zawilgoceniem powoduje brak odpowiedniej przyczepności zaprawy do muru i w konsekwencji odspojenia. Zbyt gru-

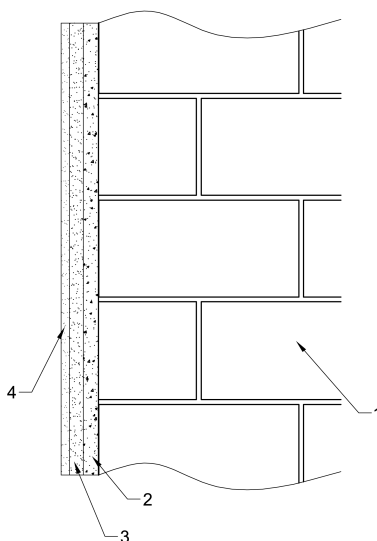
be tynki, lub tynki wykonane niewłaściwie (np. bez obrzutki) cechują się tendencją do odspojień. Zastosowanie tynków o wytrzymałości większej od wytrzymałości podłoża powodować może odspajanie tynku wraz z fragmentami elementów murowych, podobnie wykonanie zbyt zwartej i nieprzepuszczalnej gładzi. Przykład odspojień tynku pokazano na rys. 45.



Rys. 45. Przykład odspojień tynku na skutek niewykonania obrzutki

Wymagania odnośnie zapraw murarskich i zapraw tynkarskich podano w normach PN-EN 998 – 1 i 2 [N15], [N16]. Wytyczne odnośnie sposobów badań świeżych i stwardniałych zapraw zamieszczono w pakiecie norm PN-EN 1015 [N11].

Uzyskanie trwałego tynku zależy od dobrego wykonawstwa i przestrzegania kilku podstawowych zasad. Należy dopilnować aby wytrzymałość tynku była mniejsza od wytrzymałości muru tynkowanego oraz aby każda kolejna warstwa była słabsza od poprzedniej. Tynk musi mieć również odpowiednią strukturę. Trwały tynk elewacyjny cechuje to, że każda kolejna jego warstwa ma pory mniejsze od warstwy poprzedniej. Taki układ pozwala na migrację wody z zawilgoconego muru na zewnątrz, a zabezpiecza przed wnikaniem niepożądanego wody z otoczenia (rys. 46). Szczegółowe wytyczne odnośnie wykonawstwa tynków znaleźć można w pracach [12], [33].



Rys. 46. Poprawna struktura warstw tynku: 1- mur, 2- obrzutka z kruszywem 0÷5 mm, 3- narzut z kruszywem 0÷3 mm, 4- gładź z kruszywem 0÷2 mm

## 7. Podsumowanie

Uszkodzenia konstrukcji murowych, a w szczególności rysy i spękania są problemem tak starym jak sam mur. Choć zapewne nie jesteśmy w stanie zaprojektować, wykonać i eksploatować murowanych obiektów z pełną gwarancją nie pojawienia się zarysowań i innych wad, to znaczą część tych uszkodzeń można wyeliminować właśnie na etapie projektowania, wykonawstwa i podczas eksploatacji obiektu.

## Piśmiennictwo



- [1] Andreasik M., Sekiendka K.: Naprawa tynków zewnętrznych i wewnętrznych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 1, s. 17÷30.
- [2] Bobula S.: Pożary oraz specyfika działań ratowniczo-gaśniczych w obiektach zabytkowych. V Konferencja Naukowo-Techniczna: Inżynierskie Problemy Odnowy Staromiejskich Zespołów Zabytkowych Rew-Inż. Kraków, 2000, tom 1, s. 9÷14.
- [3] Braun K.: Przyczynek do problemu awarii, katastrof i wzmocnienia budowli. Inżynieria i Budownictwo, nr 4, 1969, s. 150÷152.
- [4] Bukowski B.: Morfologia rys w konstrukcjach żelbetowych i betonowych. Archiwum Inżynierii Lądowej, nr 4, 1957, s. 391÷441.
- [5] Cholewicki A., Zembaty Z., Szulc J., Jankowski R.: Charakterystyczne uszkodzenia budowli powstałe w wyniku trzęsień ziemi w Polsce w 2004 r. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane. Szczecin-Międzyzdroje, 2005, s. 311÷318.
- [6] Ciesielski R.: O pomiarze, opisie i interpretacji rys w konstrukcjach murowych – wskazówki instrukcyjne. Przegląd Budowlany, nr 11, 1987, s. 481÷485.
- [7] Ciesielski R.: Obciążenia wyjątkowe budowli zabytkowych. IV Konferencja Naukowo-Techniczna: Inżynierskie Problemy Odnowy Staromiejskich Zespołów Zabytkowych Rew-Inż. Kraków, 1998, tom 1, s. 135÷148.
- [8] Ciesielski R.: Wpływ obciążeń dynamicznych na konstrukcje murowe. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 1, s. 63÷96.
- [9] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Murowane zbrojone ściany osłonowe. Materiały Budowlane, nr 4, 2003, s. 2÷8.
- [10] Drobiec Ł., Kubica J.: Zapobieganie zarysowaniem ścian murowych opartych na stropach żelbetowych. Materiały Budowlane, nr 4, 2006, s. 21÷23, 72.
- [11] Drobiec Ł.: Mury z poziomym zbrojeniem układanym w spoinach wspornych. Materiały Budowlane, nr 2, 2006, s. 29÷32.
- [12] Gaczek M., Fiszer S.: Tynki. XVIII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 2003, tom 3, s. 323÷384.
- [13] Godycki-Ćwirko T.: Morfologia rys w konstrukcjach z betonu. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej. Białystok, 1993.
- [14] Gwóźdź M.: Przegląd uszkodzeń wybranych budynków po trzęsieniu ziemi na Podhalu. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane. Szczecin-Międzyzdroje, 2005, s. 327÷334.
- [15] Hendry A.W.: Structural Masonry. MacMillan Education Ltd, 1990.
- [16] Hilsdorf H.K.: Investigation in to the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. Proceedings of the International Conference on Masonry Structural Systems, Austin, USA, 1967, s. 34÷41.
- [17] Hilsdorf H.K.: Untersuchungen über die Grundlagen der Mauerwerksfestigkeit. Materialprüfung für das Bauwesen, Technische Hochschule München, Bericht nr 40, 1965.
- [18] Janowski Z.: Metody i materiały stosowane do napraw tradycyjnych konstrukcji murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, s. 5÷18.
- [19] Janowski Z.: Zasady prawidłowego wykonania i odbioru jakościowego konstrukcji murowych. XVIII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 2003, tom 3, s. 485÷501.

- [20] Jarmontowicz R., Sieczkowski J.: Elementy murowe. Właściwości i zastosowanie. XVIII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 2003, tom 1, s. 291÷328.
- [21] Jeż J.: Drzewa a stateczność budowli posadowionych na gruntach pęczniejących. Przegląd Budowlany, nr 2-3, 1990, s. 57÷62.
- [22] Jeż J.: Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1995.
- [23] Khoo C.L., Hendry A.W.: A failure criterion for brickwork in axial compression. Proceedings of the Thrid International Brick Masonry Conference, Essen, Niemcy, 1973, s. 139÷145.
- [24] Kubica J., Drobiec Ł.: Murowane ściany usztywniające z uwagi na poziome obciążenie wiatrem – obliczanie w świetle nowelizacji PN-B-03002:1999. Materiały Budowlane, nr 5, 2006, s. 49÷53.
- [25] Kubica J., Drobiec Ł.: Zasady obliczania wzmocnień konstrukcji murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, s. 73÷116.
- [26] Kubica J.: Zbrojenie do spoin wspornych w konstrukcjach murowych – zasady stosowania i obliczania. Materiały Budowlane, nr 10, 2002, s. 70÷73.
- [27] Lewicki B., Jarmontowicz R., Kubica J.: Podstawy projektowania niezbrojonych konstrukcji murowych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2001.
- [28] Lewicki B.: Rysy w ścianach i stropach budynków wielkopłytowych. Prace Instytutu Techniki Budowlanej, nr 2-3, 2000, s. 5÷24.
- [29] Małyszko L., Orłowicz R.: Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, 2000.
- [30] Masłowski E., Spizewska D.: Wzmacnianie konstrukcji budowlanych. Arkady, Warszawa, wydanie III, 2000.
- [31] Orłowicz R., Małyszko L., Kindracki J.: Morfologia uszkodzeń ścian i elementów wykończenia w konstrukcjach murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, s. 167÷192.
- [32] Orłowicz R., Małyszko L.: Wady i usterki ścian ceramicznych. Przegląd Budowlany, nr 2, 2002, s. 30÷33.
- [33] Osiecka E.: Wapno w budownictwie – tradycja i nowoczesność. Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego, Kraków, 2006.
- [34] Praca zbiorowa (koordynator: M. Knauff): Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych wg Eurokodu 2. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2006.
- [35] Praca zbiorowa: Mauerwerksbau Aktuell. Nichtragende innere Trennwände. Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, 3. Auflage, August 2004.
- [36] Rudziński L.: Konstrukcje murowe. Remonty i wzmocnienia. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2006.
- [37] Schneider K. J., Schubert P., Wormuth R.: Mauerwerksbau. Gestaltung, Baustoffe, Konstruktion, Berechnung, Ausführung. Werner Verlag GmbH & Co.KG, 6. Auflage, Düsseldorf, 1999.
- [38] Schneider K.J., Weickenmeier N.: Aktuell Mauerwerksbau. Werner Verlag GmbH & Co.KG, Düsseldorf, 2000, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich 2000.
- [39] Schubert P.: Außenputz auf Leichtmauerwerk - Vermeiden schädlicher Risse. Mauerwerk, nr 10, 2006, s. 87÷101.

- [40] Schubert P.: Beitragsserie: Schadenfreies bauen mit Mauerwerk. Thema 1: Zweischalige Außenwende – Risse durch zu große Verformungsunterschiede in horizontaler Richtung. Das Mauerwerk, nr 1, 2001, s. 35÷38.
- [41] Schubert P.: Beitragsserie: Schadenfreies bauen mit Mauerwerk. Thema 2: Innen/Außenwende – Risse durch zu große Verformungsunterschiede in vertikaler Richtung. Das Mauerwerk, nr 4, 2001, s. 142÷144.
- [42] Schubert P.: Mauerwerk. Risse vermeiden und instandsetzen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2004.
- [43] Schubert P.: Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. Mauerwerk-Kalender, Ernst & Sohn, 21, 1996, s. 621÷651.
- [44] Stawiski B.: Specyficzne problemy naprawy murów w obiektach uszkodzonych w wyniku powodzi. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, s. 285÷316.
- [45] Wetzell O.: Bautechnische Zahlentafeln. Beuth Verlag, Berlin und Köln, 1994.
- [46] Wysokiński L.: Problemy realizacji głębokich wykopów w miastach. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna Awary Budowlane. Szczecin-Międzyzdroje, 2005, s. 635÷642.

### Normy

- [N1] ACI 318-02: Building Code Requirements for Structural Concrete.
- [N2] ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05: Building Code Requirements for Masonry Structures.
- [N3] DIN 1045-1:2001: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion.
- [N4] DIN 1053-1:1996: Mauerwerk. Teil 1: Berechnung und Ausführung.
- [N5] DIN 1053-100:2006-08: Mauerwerk. Teil 100. Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen sicherheitskonzepts.
- [N6] EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for building. December 2004.
- [N7] EN 1996-1-1: Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced Masonry structures. November 2005.
- [N8] PN-B-03002:1999: Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- [N9] PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [N10] PN-B-03340:1999: Konstrukcje murowe zbrojone. Projektowanie i obliczanie.
- [N11] PN-EN 1015:2000÷2003 Metody badań zapraw do murów. Części 1÷21.
- [N12] PN-EN 13747:2006: Prefabrykaty z betonu. Płyty stropowe do zespolonych systemów stropowych.
- [N13] PN-EN 771: Wymagania dotyczące elementów murowych. Części 1÷6.
- [N14] PN-EN 845-3:2003: Specyfikacja techniczna wyrobów dodatkowych do wznoszenia murów Część 3: Stalowe zbrojenie do spoin wspornych.
- [N15] PN-EN 998-1:2004: Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 1. Zaprawy tynkarskie.
- [N16] PN-EN 998-2:2004: Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 1. Zaprawy murarskie.
- [N17] PrPN-B-03002:2006: Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie.

