

dr inż. Tomasz Kania<sup>1\*)</sup>

dr hab. inż. Bohdan Stawiski, prof. nzw. PWr.<sup>2)</sup>

# Badania inicjacji rys w ścianach opartych na stropach

Research on cracks initiation in partition walls based on the floor slabs

DOI: 10.15199/33.2015.11.30

(Oryginalny artykuł naukowy)

**Streszczenie.** Dużym problemem we wznoszonych budynkach jest pojawianie się rys i spękań na powierzchni ścian działowych w krótkim czasie po oddaniu obiektu do użytkowania lub jeszcze przed zakończeniem budowy. Uszkodzenia tego typu występują na wszystkich rodzajach ścian, od gipsowych, przez murowane z betonu komórkowego, z dużych pustaków ceramicznych, po ściany z bloczków silikatowych. W artykule przedstawiono obliczenia (metodą MES) ścian działowych opartych na płytach stropowych, projektowanych przy założeniu ugięcia dopuszczalnego  $l/250$ . Analizie poddano ścianę pełną z elementów wapienno-piaskowych. Przyjmowano różne wartości ugięcia podpory i analizowano powstające naprężenia. Po przekroczeniu granicznych wartości naprężeń obserwowano inicjację rys. Przebieg wzbudzanych rys pokrywał się z rysami w badanych ścianach zrealizowanych.

**Słowa kluczowe:** MES, ściany działowe, pękanie, model rys wmytych, ugięcia stropów.

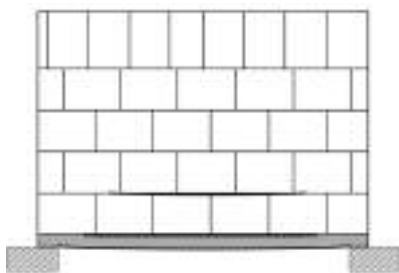
**Abstract.** Cracking damage in non-loadbearing internal partition walls is a serious problem that frequently occurs in new buildings within the short term after putting them into service or even before completion of construction. This type of damages appears on all kinds of partitions, starting with gypsum ones, through aerated concrete, ceramic hollow blocks, to walls made of calcium silicate elements. Paper presents the calculations of partitions based on floor slabs designed with the limit deflections of  $l/250$  of the span. Calcium silicate masonry wall without door opening has been analyzed. Different values of the support deflection has been assumed and the caused stresses has been analyzed. When the stresses reached the ultimate value the initiation of partitions cracks has been observed. Cracks of the Finite Element Models overlapped the real damages observed in the buildings.

**Keywords:** FEM, partition walls, cracking, smeared cracking model, floor deflections.

Obserwacji ścian posadowionych na odkształcającym się gruncie wynika, że pojawiają się w nich ukośne, rzadziej pionowe, a czasem także poziome rysy lub pęknięcia. Podobnie zachowują się ściany oparte na stropach, które pod obciążeniem uginają się. Skutkiem takich odkształceń stropu są rysy i pęknięcia przegród pionowych [1, 2, 3, 4]. Tradycyjne elementy drobnomiarowe, układane zwykle na dość grubej warstwie słabej zaprawy, umożliwiały łagodne odkształcanie muru i dopasowywanie się do uginającej podpory. Duża liczba spoin powodowała, że przemieszczenia występowały w wielu miejscach i były na tyle małe, że nie powstawały widoczne zarysowania. W przypadku dużych bloczków, np. gipsowych, liczba spoin jest wielokrotnie mniejsza i są one łączone na zaprawy klejowe o szybkim czasie wiązania. Dochodzi więc do kumulacji odkształceń w małej liczbie miejsc, a powstające zarysowania mają dużą rozwartość. Rysy i pęknięcia ścian nienośnych są niedopuszczalne, podobnie jak nośnych [5]. Należy je wykonywać w taki sposób, aby nie pękały.

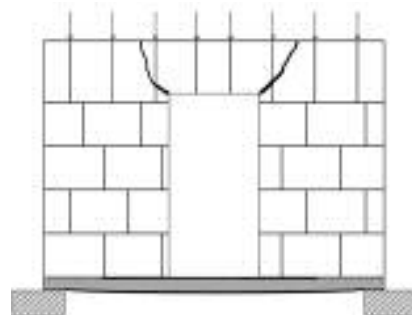
## Ilustracja problemu

Analizując występowanie rys w ścianach wewnętrznych, zauważa się więcej tego typu uszkodzeń w budynkach wielokondygnacyjnych niż w jednorodzinnych (rysunek 1). W przypadku, gdy w ścianach jest otwór drzwiowy lub okienny, to ugięcie stropu inicjuje rysy w jego narożach (rysunek 2). Ściany działowe w budynkach jednorodzinnych na ogół są obciążone tylko ciężarem własnym, natomiast w budynkach wielokondygnacyjnych zwykle przejmują dodatkowe obciążenie od uginających się górnych stropów, co wymusza ich deformację i uszkodzenia (fotografia).



**Rys. 1.** Rysa pozioma w ścianie działowej spowodowana rozerwaniem muru na skutek ugięcia się stropu pod ścianą

Fig. 1. Horizontal crack in partition wall caused by the tension of wall under influence of the deflection of floor slab below it



**Rys. 2.** Rysy ukośne zaczynające się w narożach otworów drzwiowych

Fig. 2. Oblique cracks initiated in the corners of door openings



Przykład pęknięcia ścianki z bloczków silikatowych wykonanej między uginającymi się stropami

Example of cracking of silicate blocks partition built between the deflecting floor slabs

<sup>1)</sup> Akons Usługi dla Budownictwa

<sup>2)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji: e-mail: kania.tomasz@vp.pl

### Numeryczna analiza inicjacji pęknięć ścianek pod wpływem ciężaru własnego oraz po uwzględnieniu odkształceń stropów

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń MES ścian działowych poddanych deformacjom postaciowym. Odzworowano rzeczywiste schematy statyczne splekanych ścian nienośnych opartych na zbrojonych krzyżowo płytach stropowych. Analizie poddano ściany pełne z elementów wapienno-piaskowych. Przyjmowano różne wartości ugięcia podpór, na których opierały się ściany, i analizowano powstające w nich naprężenia oraz przebieg pęknięcia. Do opisanego właściwości materiałowych przyjęto model rys rozmytych. Przy rozciąganiu materiał zachowuje się w sposób liniowy do naprężenia granicznego, a dalej następuje jego gwałtowne osłabienie [6].

Parametry wytrzymałościowe murów na zaprawie klejowej z niewypełnionymi spoinami pionowymi przyjęto na podstawie norm oraz literatury [7, 8]. Właściwości badanych ścian działowych do analizy obliczeniowej przedstawiono w tabeli.

#### Parametry wytrzymałościowe ścian silikatowych

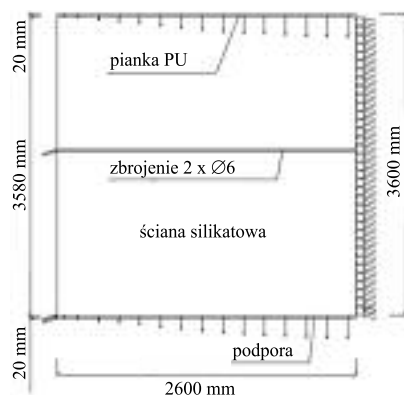
*Strength-related parameters of silicate partition walls*

Właściwości	Wartości
Wytrzymałość na ściskanie $f_c$ [MPa]	5,50
Wytrzymałość na rozciąganie $f_t$ [MPa]	0,30
Moduł sprężystości E [MPa]	5500
Liczba Poissona $\nu$ [-]	0,135
Przesunięcie graniczne przy rozciąganiu $u_0$ [mm]	0,025
Gęstość objętościowa $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1400

Wymuszenia odkształceń realizowano przez funkcyjne przesunięcie w kierunku pionowym stropów pod, a następnie nad ścianą. Połączenie belki stropowej oraz dolnej krawędzi badanej przegrody zamodelowano jako swobodne, opisane współczynnikiem tarcia  $\mu = 0,2$  [8]. Obliczenia wykonano w płaskim stanie naprężenia. W przeprowadzonych analizach zastosowano jednorodny model konstrukcji murew (właściwości wytrzymałościowe elementów murew oraz zaprawy zostały ujednolicone). Badano mur o wysokości 3,6 m i rozpiętości 7,2 m, wykonany z bloczków silikatowych na zaprawie klejowej, z niewypełnionymi spoinami czołowymi. Połączenie ze stropem wzdłuż górnej krawędzi ściany wykonano za pomocą

montażowej pianki poliuretanowej grubości 20 mm. Ściany zbrojono w spoinie wspornej, na wysokości 2 m przy użyciu dwóch prętów stalowych  $\varnothing 6$ , kotwionych w przegrodach przyległych. Ze względu na symetrię geometrii, warunków brzegowych oraz odkształceń, jako model analityczny przyjęto połowę ściany (rysunek 3).

Początek pęknięcia modelu przegrody nastąpił podczas ugięcia stropu pod



Rys. 3. Schemat statyczny modelu ściany silikatowej poddanej deformacjom

*Fig. 3. Static scheme of the model of silicate wall subject to deformations*

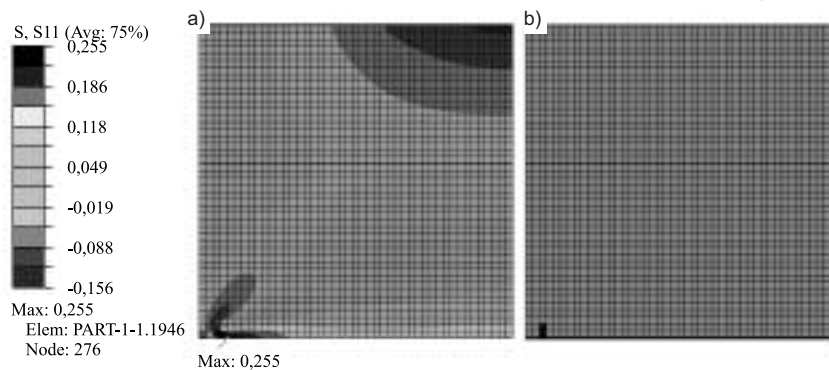
ścianą, przy strzałce o wartości  $a = 3,5$  mm. Na rysunku 4a przedstawiono mapę naprężeń normalnych  $\sigma_x$  z zaznaczonymi punktami wartości maksymalnych w chwili zarysowania, a na rysunku 4b mapę elementów spełniających kryterium pęknięcia.

Inicjacja pęknięcia modelu nastąpiła w punkcie, w którym naprężenia normalne osiągnęły wartość zbliżoną do przyjętej wytrzymałości na rozciąganie. Analizę zakończono przy strzałce ugięcia podpory pod ścianą o wartości  $a = 14$  mm oraz stropu nad ścianą o wartości  $a = 0,7$  mm (1/10000).

Na rysunku 5a przedstawiono mapę naprężeń normalnych  $\sigma_x$  z zaznaczonymi punktami wartości maksymalnych, a na rysunku 5b mapę elementów skończonych spełniających kryterium pęknięcia w kroku kończącym analizę numeryczną.

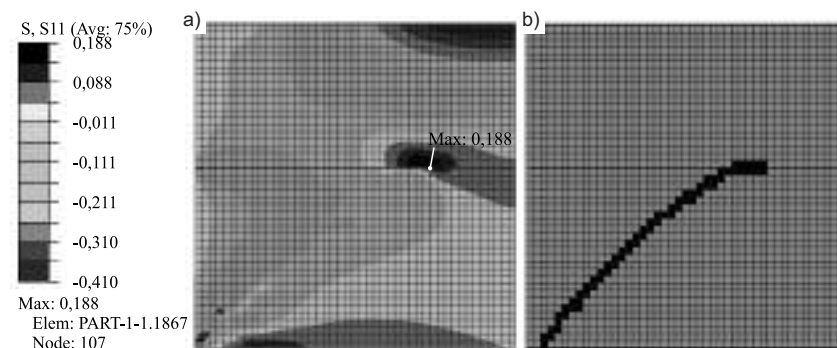
### Podsumowanie

Przeprowadzona analiza obliczeniowa wykazała, że ściany połączone w sposób sztywny wzdłuż górnej i dolnej krawędzi poziomej, a tym bardziej obciążone stropem górnym nie przeniosą odkształceń o wartości 1/250. W związku z tym ściany



Rys. 4. Mapa naprężeń normalnych  $\sigma_x$  [MPa] (a); siatka podziału z zaznaczeniem elementów splekanych pod wpływem ugięcia stropu pod ścianą o strzałce  $a = 3,5$  mm (b)

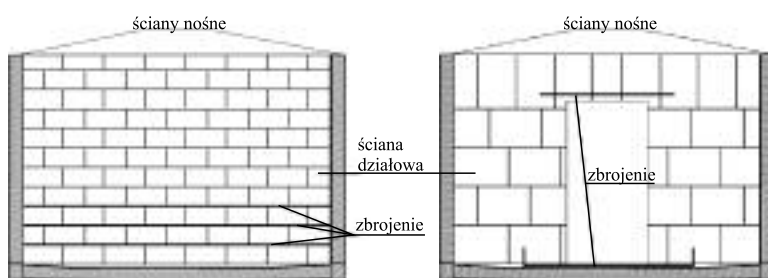
*Fig. 4. Map of normal stresses  $\sigma_x$  [MPa] (a); map of elements cracked under the influence of deflection of the bottom floor slab with deflection value of  $a = 3,5$  mm (b)*



Rys. 5. Mapa naprężeń normalnych  $\sigma_x$  [MPa] (a); mapa siatki podziału z zaznaczeniem elementów splekanych w kroku kończącym analizę numeryczną (b)

*Fig. 5. Map of normal stresses  $\sigma_x$  [MPa] (a); map of elements cracked at deflection ending the numerical analysis (b)*

działowe wymagają specjalnego wykonania i wzmocnienia miejsc najbardziej wrażliwych na pękanie, czyli ich dolnej strefy oraz miejsc powyżej otworów drzwiowych i okiennych. Wzmocnienie można wykonać za pomocą zbrojenia układanego w dolnej części ściany pełnej oraz poniżej i powyżej otworów (rysunek 6). Drugim koniecznym warunkiem jest wykonanie warstwy poślizgowej na dolnym stropie (minimum 2 warstwy papy lub przekładka elastyczna z filcu), a trzecim warunkiem – niedopuszczenie do tego, aby strop górny opierał się na ścianie. Można to zapewnić przez właściwą organizację pracy – przegrody działkowe powinny być murywane, począwszy od najwyższej kondygnacji ku dołowi. W przypadku, gdy ściany są lekkie, a podłogi ciężkie, może to być niewystarczające. Warunek ten należy wspomóc szczeliną między ścianą a stropem o takiej szerokości, aby strop po ugięciu całkowitym nie opierał się na ścianie. Szerokość szczeliny zależy w znacznym stopniu od długości stropu i może wynosić nawet 4 cm. Należy ją wypełnić materia-



Rys. 6. Sposoby wzmocnienia ścian działowych bez i z otworem drzwiowym  
Fig. 6. Methods of reinforcement of partition walls without and with door opening

łem łatwo odkształcalnym (wełna mineralna, pianka poliuretanowa).

#### Literatura

- [1] Beeby A. W., Narayanan R. S.: Designer handbook to Eurocode 2. Part 1.1: Design of concrete structures. Thomas Telford House, London, 1995.
- [2] Деркач В.Н. Исследования напряженно-деформированного состояния каменных перегородок при прогибе перекрытия// Промышленное и гражданское строительство. №6.-2013.-С.62-66.
- [3] Drobiec Ł., Kubica J.: Zapobieganie zarysowaniu ścian murowych opartych na stropach żelbetowych. Materiały Budowlane 4 (2006) 21 – 23.

[4] Stawiski B.: Konstrukcje murowe. Naprawy i wzmocnienia. Polcen, Warszawa, 2014.

[5] Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami).

[6] Hillerborg A., Modeer M., P. E. and Petersson: Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by Means of Fracture Mechanics and Finite Elements, Cement and Concrete Research 6 (1976) 773 – 782.

[7] PN-B-03002: 2007 Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie.

[8] Brameshuber W., Beer I., Kang B.: Untersuchungen zur Vermeidung von Rißschäden bei nicht tragenden Trennwänden. Mauerwerk 11 (2007) 54.

Przyjęto do druku: 04.09.2015 r.

dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz<sup>1)</sup>

mgr inż. Dorota Jawor<sup>1)</sup>

mgr inż. Łukasz Radzik<sup>1)\*</sup>

# Analiza nieniszczących metod akustycznych do badania remontowanych konstrukcji betonowych

## Analysis of NDT acoustic methods for repairing concrete structures

DOI: 10.15199/33.2015.11.31

(Artykuł przeglądowy)

**Streszczenie.** W artykule omówiono nieniszczące metody akustyczne przydatne w badaniach konstrukcji betonowych. Zostały one przeanalizowane pod kątem wykorzystania podczas remontu obiektu budowlanego. Zgodnie z ustalonymi kryteriami dokonano oceny każdej metody, porównano je ze sobą i na podstawie przeprowadzonej analizy wytypowano „najlepszą” nieniszczącą metodę akustyczną – metodę tomografii ultradźwiękowej – do badania konstrukcji betonowych na potrzeby remontów.

**Słowa kluczowe:** remont, badania nieniszczące, metody akustyczne, tomografia ultradźwiękowa.

**Abstract.** The article discusses the non-destructive acoustic method of concrete structures. They were analyzed for use on the construction site during the renovation of a building. According to the established criteria evaluation is made by each method, they were compare and based on the analysis „the best” non-destructive acoustic method – ultrasonic tomography was chosen as a method for testing repairing concrete structures.

**Keywords:** repair, non-destructive testing, acoustic methods, ultrasonic tomography.

W celu oceny konieczności i zakresu remontu mogą być przydatne metody nieniszczące [3, 4], a wśród nich metody akustyczne. Niektóre z nich opisano w [1, 2, 6], natomiast ich podłoże teore-

tyczne i zastosowanie praktyczne w [3 – 5]. W artykule zaprezentowano pięć wybranych współczesnych metod akustycznych i określono ich przydatność do badania remontowanych konstrukcji betonowych. Pokróctce przedstawiono te metody, a następnie porównano je w ramach założonych kryteriów. Analiza została przeprowadzona celem uła-

twienia wyboru danej metody akustycznej podczas remontu konstrukcji betonowych.

### Opis metod

**Metoda ultradźwiękowa** (metoda przepuszczania i metoda powierzchniowa) polega na pomiarze czasu rozchodzenia się fali podłużnej w osrodku. Zestaw badawczy

<sup>1)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

\* Autor do korespondencji:

e-mail: lukasz.radzik@pwr.edu.pl