

LESŁAW HEBDA  
Firma „Doradca Techniczny Dorota Hebda”  
e-mail: leslaw.hebda@gmail.com  
ZDZISŁAWA OWSIAK  
Kielce University of Technology  
e-mail: owsiak@tu.kielce.pl

## CEILING DAMAGE DUE TO SWELLING OF SLAG AGGREGATE IN TERIVA CONCRETE FILLER BLOCKS

### USZKODZENIA STROPU SPOWODOWANE PĘCZNIENIEM KRUSZYWA ŻUŻLOWEGO W PUSTAKACH TERIVA

#### Abstract

*The paper reports an example of damage to a Teriva floor slab system. The bottom section of the concrete filling block and the ceiling plasterwork broke away. No symptoms were observed to indicate excessive deformation and/or displacements in the structure of the building. Laboratory tests revealed that the damage occurred on account of internal corrosion of concrete due to periclase swelling. The mineral was a component of the slag aggregates used for the production of the floor blocks. The factor initiating the corrosion process was most probably an increase in relative humidity in the rooms covered with the floor system, resulting from a change in the intended use. The damage occurred after over 10 years' damage-free service period. Swelling of periclase led to the failure of the concrete filler blocks in the Teriva beam-and-block floor system.*

**Keywords:** beam-and-block floor system, slag concrete filler block, internal corrosion of concrete

#### Streszczenie

*W referacie przedstawiono przykład awarii stropu teriva w budynku mieszkalnym wielorodzinnym, polegającej na odpadaniu dolnych ścianek pustaków oraz wystąpieniu odspojień tynku na suficie. Awarii tej nie towarzyszyły żadne objawy wskazujące na nadmierne odkształcenia lub/i przemieszczenia konstrukcji budynku. Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika, że awaria ta powstała w wyniku korozji wewnętrznej betonu, spowodowanej pęcznieniem peryklazu. Mineral ten znalazł się w kruszywie żużlowym zastosowanym do produkcji pustaków stropowych. Czynnikiem inicjującym proces korozyjny był najprawdopodobniej wzrost wilgotności względnej w pomieszczeniach przekrytych stropem w wyniku częściowej zmiany sposobu użytkowania. Zjawisko ujawniło się po przeszło 10 latach bezawaryjnej eksploatacji budynku. Pęcznienie peryklazu spowodowało destrukcję pustaków w stropie gęstożebrowym teriva.*

**Słowa kluczowe:** strop gęstożebrowy, pustak żużlobetonowy, korozja wnętrza betonu

#### 1. Introduction

The detachment of bottom surfaces of the filler blocks in the ceiling (Fig. 1) was reported in an apartment at the ground floor of a multi-family building situated in one of Warsaw suburban locations.

Some of the construction documents and as-built documentation of that 10-year-old building are missing. It follows from the materials available that the building has been designed in a traditional masonry style, with walls made of silicate blocks and with beam-and-block floors. It has four storeys above grade and a partial basement. The walls of the

#### 1. Wprowadzenie

W mieszkaniu usytuowanym na parterze murowanego budynku mieszkalnego wielorodzinnego, zlokalizowanego w jednej z podwarszawskich miejscowości, nastąpiło odspojenie dolnych ścianek pustaków stropowych na fragmencie sufitu (rys. 1).

Budynek, ten był eksploatowany od ponad 10 lat. Administrator budynku nie posiadał pełnej dokumentacji projektowej ani powykonawczej obiektu. Z dostępnych materiałów ustalono, że budynek został zaprojektowany w technologii tradycyjnej, ze ścianami z bloków silikatowych i stropami gęstożebrowymi. Budynek o czterech

building are insulated with polystyrene and covered with texture plaster. The apartment in which the ceiling degradation has been discovered is located in the basementless part section of the house, with its flooring laid directly on dirt-base.



kondygnacjach naziemnych jest częściowo podpiwniczony i ocieplony styropianem z tynkiem fakturowym. Mieszkanie, w którym ujawniła się awaria stropu, znajdowało się w części niepodpiwniczonej, a podłoga została ułożona bezpośrednio na gruncie.

Fig. 1. Bottom section of the filler block fallen away

Rys. 1. Fragment sufitu z odspojoną dolną ścianką pustaka stropowego

The condition of the building was investigated to assess floor joist deflections, quality of the bond beams, floor bearing capacity, the support depth of ceiling joists on bearing walls, quality of the bearing wall and floor materials, condition of the foundations and floor load [1].

## 2. Description of ceiling damage in the apartments analyzed

Two apartments denoted as A and B are accommodated on the ground floor of the part section without a basement. Apartment A is a single-span apartment without internal load-bearing walls, covered with the floor with a nominal span of 6.30 m, that consists of two rooms, a kitchen and a bathroom. Cracks corresponding to the filler block arrangement occurred on the ceilings in all the rooms (Fig. 2). The plaster detached from the joists, but no cracks perpendicular to their axes were observed on the joist surface.

One vertical crack with a span of 0.2-0.15 mm developed on the bearing wall plaster. Vertical cracks were also seen on the partition wall between the rooms. No diagonal cracks occurred on the walls or under the floor at joist supports.

On the ceiling, in addition to linear cracks, circular cracks were observed, indicative of popouts. The removal of the cracked fragment left a shallow conical depression (Fig. 3) and at the bottom of the void, fragments of brownish aggregate grains were exposed, components of the floor concrete block wall. The brownish inclusion was also observed

W związku z awarią stropu przeprowadzono ocenę stanu technicznego budynku. W ramach ekspertyzy oceniono: ugięcia belek stropowych i jakość wykonanych wieńców, nośność stropów, głębokość podparcia belek stropowych na ścianach nośnych, jakość użytych materiałów ścian nośnych i stropu, stan techniczny fundamentów oraz obciążenie stropu [1].

## 2. Opis uszkodzeń sufitu w analizowanych mieszkaniach

Na parterze, w części niepodpiwniczonej budynku, znajdowały się dwa lokale mieszkalne, które zostały oznaczone jako A i B. Mieszkanie A jest jednonawowe, bez ścian konstrukcyjnych wewnątrz, przekryte stropem o nominalnej rozpiętości 6,30 m i składa się z dwóch pokoi, kuchni oraz łazienki. We wszystkich pomieszczeniach wystąpiły zarysowania na suficie, odwzorowujące układ pustaków w stropie (rys. 2). Wystąpiło także odspojenie tynku od belek stropowych, a na odsłoniętej ich powierzchni nie zaobserwowano rys prostokątnych do ich osi.

Na tynku ścian nośnych zaobserwowano tylko jedną rysę pionową o rozwarości 0,2-0,15 mm. Występuje też pionowe zarysowanie na ścianie działowej pomiędzy pokojami. Na ścianach nie zaobserwowano natomiast żadnych rys ukośnych oraz zarysowań pod stropem w miejscach oparcia belek na ścianach.

Na suficie, oprócz zarysowań liniowych, występują zarysowania koliste, wskazujące na uszkodzenia typu pop-out. Po usunięciu zarysowanego fragmentu tynku, kształt powstałego ubytku przypomina stożek (rys. 3), a na dnie powstałego krateru widoczne były fragmenty brunatnego ziarna kruszywa, pochodzące-



Fig. 2. Cracks perpendicular to the ceiling joist

Rys. 2. Rysy na suficie przebiegają prostopadłe do belki stropowej

at the point of the popout cone. Similar pop-outs occurred at other sites of the ceiling. In this case, the detachment of the plaster resulted from the swelling of the material incorporated in the floor concrete filler blocks.

Concrete mass was visible inside the blocks and between them, which confirmed good quality concretework. The ceiling plaster detached together with the bottom parts of the concrete block walls. No damage was observed on the joist elements.

Apartment B is double-span. The internal bearing wall, which extends the stairwell wall, separates one room from the rest of the apartment, covered by a single span ceiling. Numerous plasterwork cracks are visible on the ceiling, as is its detachment from the ceiling joists.

The cracks on the ceiling reflected the shape of the filler blocks. Circular cracks and popouts were observed. At the bottom of the resulting void, a grey substrate of the filler block wall was seen with a distinct brownish inclusion. Lack of cracks on the walls indicates correct building statics [2].

Visual inspection of the hallway and staircase along its full height did not show any cracks that might indicate excessive deformation or displacements. On the external walls of the building, no serious damage to plaster texture was found. Measurement of deflection of floor beams in apartment A showed no excessive deflections and the serviceability limit state was not exceeded [3].

Observations made during the survey indicate that the failure of the ceiling did not result from structural problems of the building. Apart from the ceilings above apartments A and B, no other cracks caused by excessive deflection and/or displacements were



Fig. 3. Detachment of a circular section of ceiling plaster

Rys. 3. Widok odsłonięcia zarysowanego koła fragmentu tynku na suficie

go ze ścianki pustaka stropowego. Obecność wtrącenia brunatnego była też widoczna na wierzchołku odsłoniętego stożka. Podobne odsłonięcia, typu pop-out, wystąpiły w innych miejscach na suficie. Odsłanianie tynku nastąpiło na skutek pęcznienia materiału wchodzącego w skład pustaków wbudowanych w strop.

Wewnątrz pustaków oraz na stykach między nimi występują wycieki zaprawy, wskazując na dobre ich obetonowanie. Na stropie występuje odsłanianie tynku wraz z dolnymi ściankami pustaków. Nie zaobserwowano natomiast uszkodzeń na elementach belek stropowych.

Mieszkanie B jest dwunawowe. Ściana wewnętrzna nośna, będąca przedłużeniem ściany klatki schodowej, oddziela jeden pokój od pozostałej części mieszkania, przekrytej jedną nawą stropu. W przypadku tego mieszkania zaobserwowano również liczne zarysowania tynku na stropie i jego odsłonięcia od belek stropowych.

Zarysowania na stropie obrazowały kształt pustaków stropowych i widoczne były też zarysowania koliste oraz odsłanianie tynku typu pop-out. Na dnie powstałego krateru widoczne jest szare podłoże ścianki pustaka z wyraźnym brunatnym wtrąceniem. Natomiast brak zarysowań na ścianach wskazuje na prawidłową statykę budynku [2].

Oględziny korytarza i klatki schodowej na całej wysokości również nie wykazały obecności zarysowań wskazujących na nadmierne odkształcenia lub przemieszczenia konstrukcji. Na powierzchni tynku fakturowego, na zewnątrz budynku, też nie ujawniono żadnych niepokojących uszkodzeń. Przeprowadzony pomiar ugięć belek stropowych w mieszkaniu A wykazał brak nadmiernych ugięć i brak przekroczenia stanu granicznego użyteczności [3].

Obserwacje wskazują, że awaria stropu nie nastąpiła w wyniku problemów konstrukcyjnych budynków.

found. Materials testing was undertaken to clarify the cause of the ceiling failure.

### 3. Test results

Observations of the filler blocks showing damage type illustrated in Figure 1 revealed distinctive horizontal cracks that indicated delaminations of the bottom faces of the blocks (Fig. 4).



Fig. 4. Floor filler blocks with visible cracks indicative of disintegration of their bottom faces

Rys. 4. Pustaki stropowe z widocznymi zarysowaniami wskazującymi na odpajanie się dolnych ścianek

The observation of conical delaminations of the plaster (Fig. 4), detached fragments of the filler blocks and cracks on the filler block walls gave rise to an assumption that the damage to the ceiling may result from internal corrosion of the concrete caused by the presence of swelling minerals [2, 3].

In order to verify the above thesis, material samples were taken for testing: a fragment of the freshly delaminated bottom wall of the filler block, the material taken from the depression left by the popout and brown mineral dust scraped from the bottom of the conical void.

Mineral composition of the aggregate was determined by X-ray diffraction of its grains and fragments taken from the bottom of the delaminations. The results are shown in Figures 5 and 6, respectively.

The phases identified in the aggregates were mainly quartz, augite and anorthite.

Analysis of the mineral composition of the aggregate fragments responsible for the ceiling delaminations revealed the presence of significant amounts of periclase, as well as quartz, brownmillerite and calcite. Gypsum and portlandite found came from exterior plaster.

Nie stwierdzono, poza sufitami nad mieszkaniami A i B, żadnych innych zarysowań spowodowanych nadmiernymi ugięciami lub/i przemieszczeniami konstrukcji. Dla wyjaśnienia przyczyny awarii stropu podjęto przeprowadzenie badań materiałowych.

### 3. Wyniki badań

Obserwacje pustaków stropowych, wykazujących uszkodzenie zobrazowane na rysunku 1, wykazały w pustakach widoczne poziome zarysowania, wskazujące na odpajanie się ich dolnych ścianek (rys. 4).



W związku z wystąpieniem na suficie uszkodzeń w formie odpajających się stożków tynku (rys. 4) wraz z fragmentami ścianek pustaków oraz zarysowaniami na ścianach pustaków stropowych postawiono tezę, że uszkodzenia stropu mogą być następstwem korozji wewnętrznej betonu spowodowanej obecnością pęczniejących minerałów [4, 5].

W celu weryfikacji powyżej określonej tezy, pobrano próbki materiałowe w postaci: fragmentu świeżo odspojonej dolnej ścianki pustaka stropowego, materiału pobranego z odspojenia typu pop-out oraz pyłu mineralnego koloru brunatnego, zeszkobanego z dna krateru, powstałego po stożkowym odspojeniu tynku.

W celu określenia składu mineralnego kruszywa przeprowadzono analizę jego ziaren oraz fragmentów pobranych z dna odspojeń metodą dyfrakcji rentgenowskiej. Wyniki badań przedstawiono odpowiednio na rysunkach 5 i 6.

Zidentyfikowanymi fazami w kruszywie jest głównie kwarc, augit oraz skalenie typu anortyt.

Analiza składu mineralnego fragmentów kruszywa, odpowiedzialnych za odspojenie pustaka stropowego, wykazała obecność znacznych ilości peryklazu, a także kwarcu, braunmillerytu oraz kalcytu (rys.

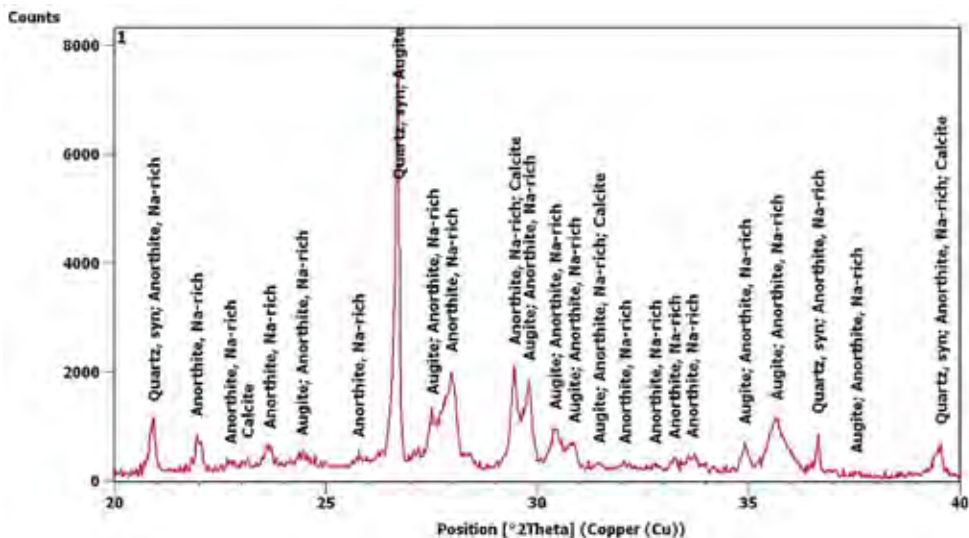


Fig. 5. X-ray diffraction pattern of aggregate from the disintegrated section  
Rys. 5. Dyfraktogram kruszywa pobranego z odspojenia

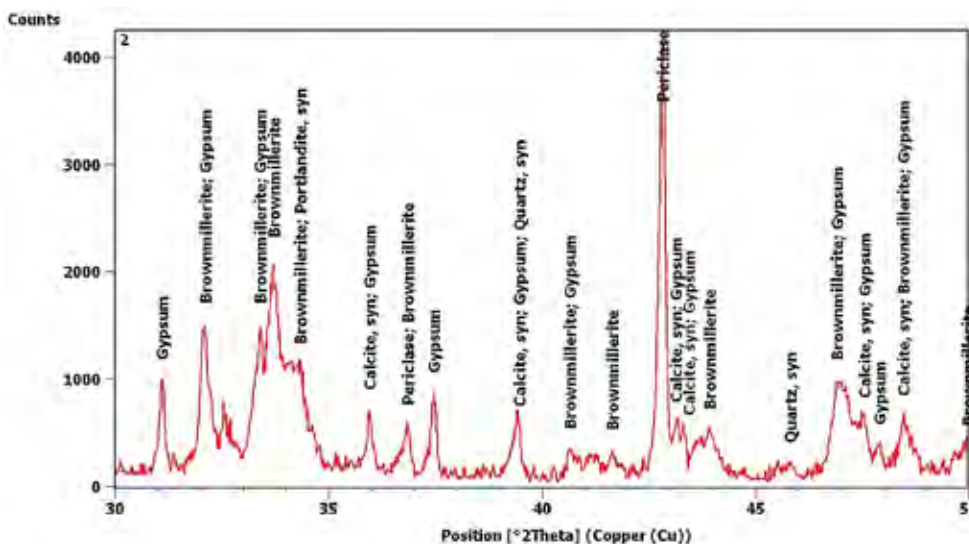


Fig. 6. X-ray diffraction pattern of aggregate grain from the detachment area  
Rys. 6. Dyfraktogram ziarna kruszywa z obszaru odspojenia

The mineral composition of aggregate grains (Fig. 6), shows that periclase increased in volume due to slow hydration processes, causing the stresses responsible for the delaminations of slag concrete blocks.

Slowly progressing hydration of periclase leads to the formation of brucite,  $Mg(OH)_2$ , whose molar volume is far higher than that of  $MgO$ . This process is long lasting and occurs in the hardened material, leading to a reduction in its strength and even to the detachment of filler block fragments [6].

Of all metallurgical slags, the steel slag can sometimes cause problems in ensuring proper durability of concrete made with this type of aggregate. Significant technological changes in steelmaking processes have stabilized the

6). Zidentyfikowany gips oraz portlandyt pochodzą z tynku zewnętrznego.

Skład mineralny ziaren kruszywa przedstawiony na rysunku 6 świadczy o tym, że obecny peryklaz, ulegając powolnym procesom uwodnienia, zwiększył objętość, powodując powstawanie naprężeń odpowiedzialnych za odspojenia fragmentów pustaka żużlobetonowego.

Powoli postępująca hydratacja peryklazu prowadzi do powstania brucytu  $Mg(OH)_2$ , którego objętość molowa jest dużo większa niż objętość molowa  $MgO$ . Proces ten jest długotrwały i zachodzi w stwardniałym materiale, prowadząc do obniżenia jego wytrzymałości, a nawet do odspojen fragmentów pustaka [6].

Spośród żużli metalurgicznych, żużel stalowniczy może stwarzać niekiedy problemy w zapewnieniu

composition of steel slags, which can be recycled into the production process thereby reducing their supply. However, in certain cases, the steel slags available on the market may contain significant amounts of unbound magnesium oxide – periclase. During the steelmaking process, this oxide is strongly sintered and reacts with water very slowly. Its hydration product, magnesium hydroxide, has a volume larger than the volume originally occupied by MgO. As a result, there is a slow but continuous increase in the volume of the material, which can lead to the destruction of the concrete element (popouts from the surface layer or delamination in the concrete block). Apart from MgO, unbound calcium oxide in slags poses similar risk. In order to avoid undesirable changes in the volume of concrete elements, steel slags need sufficiently long ageing period before being used, to ensure the conversion of MgO and CaO into hydroxides –  $Mg(OH)_2$  and  $Ca(OH)_2$ . It is essential to maintain a constant quality control of the slags, and in particular to systematically make determinations of their volume under hydrothermal conditions.

In the analyzed sections of the Teriva slag blocks, light aggregate derived from blast furnace slag is the predominant aggregate, but grains of steel slag are also present in it.

#### 4. Summary

Observations made in apartments A and B showed the presence of cracks on the ceiling plaster in all rooms, delaminations, and detachment of the bottom surfaces of concrete filler blocks. This poses a direct safety risk to the occupants.

Popouts were another type of damage observed. The fragments of plaster broke away leaving a cone-like void with filler block concrete visible at its point. All popout voids revealed a brownish mineral material. Such damage in concrete is usually associated with internal corrosion in concrete caused by the presence of swelling minerals. The popouts and horizontal cracks in the filler blocks indicate internal corrosion as an evident cause of the damage. Swelling minerals cause the deterioration of the concrete structure and lead to ceiling delaminations.

At the same time, no signs of static problems were observed during the examination. There were no visible cracks on the structural and partition walls, which might indicate excessive deformation of the structure. No transverse cracks on the ceiling beams

odpowiedniej trwałości betonu z tego rodzaju kruszywem. Znaczące zmiany technologiczne w procesach wytwarzania stali ustabilizowały skład żużli stalowniczych, które mogą być zwracane do procesu produkcyjnego, i ograniczyły ich podaż. W określonych jednak przypadkach mogą pojawić się na rynku żużle stalownicze, również takie, które będą zawierać znaczne ilości niezwiązanego tlenku magnezu – peryklazu. W warunkach procesu stalowniczego tlenek ten jest silnie spieczony i bardzo powoli reaguje z wodą. Produktem reakcji jest wodorotlenek magnezu, którego objętość jest znacznie większa niż objętość zajmowana pierwotnie przez MgO. W wyniku hydratacji peryklazu następuje powolny, lecz narastający w sposób ciągły, przyrost objętości materiału, który może doprowadzić do destrukcji elementu betonowego (odpryski z warstwy wierzchniej czy odkruszenie fragmentów pustaka). Podobne zagrożenie jak obecność MgO, stwarza występowanie w żużlach niezwiązanego tlenku wapnia. Aby uniknąć niepożądanych zmian objętości elementów betonowych, należy stosować żużle stalownicze po dostatecznie długim okresie sezonowania, zapewniającym przekształcenie się MgO i CaO w odpowiednie wodorotlenki –  $Mg(OH)_2$  i  $Ca(OH)_2$ . Niezbędna jest stała kontrola jakości żużli, a zwłaszcza systematyczne wykonywanie oznaczeń stałości ich objętości w warunkach hydrotermalnych.

W analizowanych fragmentach pustaków żużlobetonowych Teriva główne kruszywo stanowi kruszywo lekkie z żużla wielkopiecowego, występują w nim jednak ziarna kruszywa z żużla stalowniczego.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone obserwacje w lokalach mieszkalnych A i B wykazały występowanie rysowania się tynku na sufitach we wszystkich pomieszczeniach, odpajanie tynku, odpadanie dolnych ścianek pustaków stropowych. Zjawisko to stanowi bezpośrednie zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi przebywających w tych mieszkaniach.

Zaobserwowano też uszkodzenia tynku na suficie typu pop-out. W miejscach tych odspojeniu ulegał fragment tynku w kształcie zbliżonym do stożka. Wierzchołek stożka stanowił beton ścianki pustaka stropowego. W każdym przypadku na dnie powstałego krateru widoczne było wtrącenie materiału mineralnego o brunatnym zabarwieniu. Tego typu uszkodzenia w betonie zwykle związane są z jego korozją wewnętrzną spowodowaną obecnością pęczniących minerałów. Uszkodzenia typu pop-out oraz

or signs of excessive deflection of the ceilings were observed, as confirmed by the initial measurements. No cracks were found on the walls and ceilings in either of the two staircases. No subsidence or concrete apron displacement were detected, which could indicate problems with the subsoil.

Laboratory tests carried out on concrete samples extracted from the filler blocks revealed the presence of periclase in artificial slag aggregate.

Concrete filler blocks can be produced with blast-furnace slag, but steel slag is not allowed. The periclase may have come from a steel slag.

Periclase is a mineral that swells in the presence of moisture. The process of volume growth, in its case, is very slow, measured in months and years.

For the analyzed apartments, there were factors which, several years after construction, triggered internal corrosion in concrete. Both apartments are located in the slab-on-grade section of the building and have floors laid directly on the ground. This can cause increased diffusion of moisture from the ground into the apartments.

In the case of apartment A, the fact that a small child is one of the occupants causes occasional increases in dampness (more laundry, cooking). Apartment B is left unoccupied in the period from spring to autumn.

Both of these factors caused a temporary increase in relative humidity in the apartments. The accumulated amount of water-vapour diffusing towards the ceiling blocks was sufficient to trigger the internal corrosion process in the ceiling concrete blocks. The rate of corrosion processes was dependent on the amount of water vapour. The concentration of periclase grains affected the magnitude of resulting defects: from single popouts to detachment of entire walls of concrete blocks, falling across entire lower walls of hollow blocks.

Observed damage is caused by a hidden defect of the material – the concrete of filler blocks – that appeared after several years of apartments' reliable service life.

widoczne zarysowania poziome w zabudowanych w stropie pustakach wskazują na taką właśnie przyczynę obserwowanych uszkodzeń sufitu.

Równocześnie podczas oględzin nie zaobserwowano żadnych objawów wskazujących na problemy ze statyką budynku. Nie było widocznych rys na ścianach konstrukcyjnych i działowych, wskazujących na nadmierne odkształcenia konstrukcji. Również nie zaobserwowano zarysowań poprzecznych na belkach stropowych ani objawów nadmiernego ugięcia stropów, co potwierdziły wstępne pomiary. Nie zaobserwowano też zarysowań na ścianach i stropach w żadnej z dwóch klatek schodowych. Nie było też widocznych zapadłisk i odsunięć opaski od budynku, które mogły by wskazywać na problemy z podłożem gruntowym.

Badania laboratoryjne, przeprowadzone na pobranych próbkach betonu z pustaków, wykazały jednoznacznie występowanie peryklazu w sztucznym kruszywie żużlowym.

Pustaki stropowe mogą być wykonane z betonu z żużlem wielkopieczowym, lecz nie dopuszcza się stosowania żużla stalowniczego. Zaobserwowany peryklaz mógł pochodzić właśnie z żużla stalowniczego.

Peryklaz jest minerałem wykazującym pęcznienie w obecności wilgoci. Proces przyrostu objętości, w jego przypadku, następuje bardzo powoli i czas ten jest mierzony w miesiącach i latach.

W przypadku analizowanych lokali mieszkalnych wystąpiły czynniki, które po kilku latach od wybudowania uruchomiły proces korozji wewnętrznej w betonie. Obydwa mieszkania są usytuowane w części niepodpiwniczonej i mają posadzki ułożone bezpośrednio na gruncie. To może powodować zwiększoną dyfuzję wilgoci z gruntu do wnętrza mieszkań.

W przypadku mieszkania A obecność małego dziecka spowodowała okresowe zwiększenia zawilgocenia (więcej prania, gotowania). Natomiast mieszkanie B w czasie od wiosny do jesieni jest zamknięte i nieużytkowane, gdyż jego właściciele przebywają poza nim.

Obydwa te czynniki spowodowały okresowe zwiększenie wilgotności względnej w mieszkaniach. Dyfundująca do pustaków w stropie para wodna i zgromadzona jej ilość okazała się wystarczająca do uruchomienia procesu korozji wewnętrznej betonu pustaków stropowych. W zależności od ilości pary wodnej tempo procesów korozyjnych było zmienne. Z kolei koncentracja ziaren peryklazu wpływała na wielkość pojawiających się uszkodzeń: od pojedynczych pop-outów do odpadania całych dolnych ścianek pustaków.

Zaobserwowane uszkodzenia są spowodowane wadą ukrytą pustaków stropowych, która ujawniła się po kilku latach eksploatacji mieszkań.

**References**

- [1] Hebda L.: *Ekspertyza techniczna stropu nad parterem w mieszkaniach A i B w budynku mieszkalnym w Piasecznie*, 2016.
- [2] Praca zbiorowa, *Poradnik. Remonty i modernizacja budynków mieszkalnych*. Arkady, Warszawa 1987.
- [3] Masłowski F., Spizewska D.: *Wzmocnienie konstrukcji budowlanych*, Arkady, Warszawa 2000.
- [4] Owsiak Z. *Analiza przyczyn awarii stropu betonowego*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, Awarie Budowlane, Międzyzdroje, 1994, s. 735-741.
- [5] Żaboklicki A., Owsiak Z.: *Uszkodzenia żelbetowych płyt dachowych przyczyną stanu awaryjnego dachu hali przemysłowej*. Materiały XXVI Konferencji Naukowo-Technicznej, Awarie Budowlane, Międzyzdroje, 2013, s. 897-904.
- [6] Gawlicki M., Małolepszy J.: *Wykorzystanie odpadów przemysłowych w drogownictwie – zagrożenia*, Materiały XXVI Konferencji Naukowo-Technicznej, Awarie Budowlane, Międzyzdroje, 2013, s. 23-38.