

**DR INŻ. FAUSTYN RECHA**

Akademia Śląska, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, 40-555 Katowice; e-mail: *faustyn.recha@wst.pl*; ORCID: 0000-0002-8720-3382

## **EKSPERCKA OCENA PRZYDATNOŚCI BUDYNKU MIESZKALNEGO DO UŻYTKOWANIA NA PODSTAWIE STANU WYŁĘŻENIA STROPÓW**

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono analizę, związaną z oceną stanu technicznego konstrukcji stropów w budynku mieszkalnym jednorodzinny. W pracy zobrazowano stan istniejący konstrukcji wraz z przeprowadzoną inwentaryzacją uszkodzeń. Skupiono się na przedstawieniu wykonanych badań wraz z ich wynikami, które w rezultacie dały podstawy do podjęcia decyzji o konieczności wyłączenia obiektu z użytkowania. Następnie pokrótce ujęto wymagane i zalecane przedsięwzięcia, mające na celu umożliwienie dalszej eksploatacji obiektu w bezpiecznym zakresie.

s. 43-57

### SŁOWA KLUCZOWE

stan techniczny, ugięcia stropów, uszkodzenia konstrukcji żelbetowej, korozja stali zbrojeniowej, błędy wykonawcze konstrukcji

### **Wprowadzenie**

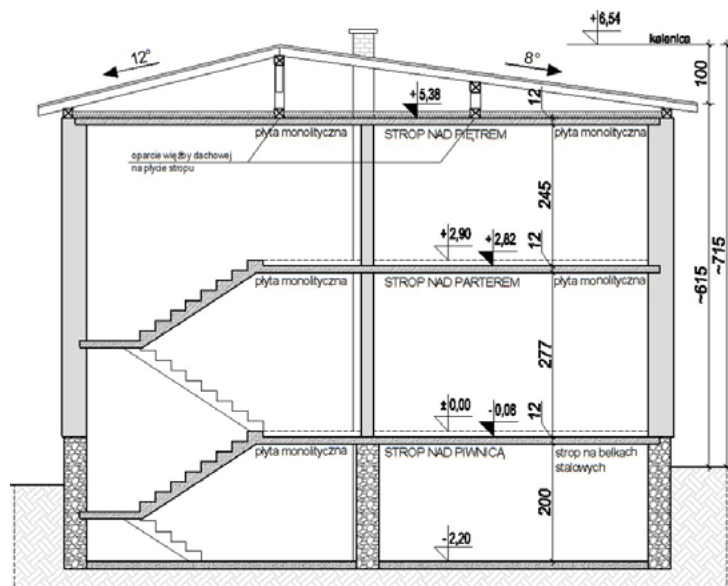
Określenie stanu istniejącego kondycji ustrojów nośnych konstrukcji, stanowi podstawowy aspekt bezpieczeństwa użytkowania obiektu. Szczególnie istotne jest oszacowanie bezpiecznego zakresu pracy konstrukcji, na etapie planowanej przebudowy, rozbudowy lub nadbudowy oraz w momencie, gdy zachodzi przypuszczenie o możliwości wystąpienia zagrożenia [1], [2]. Zapewnienie pracy konstrukcji w bezpiecznym zakresie sprowadza się do zweryfikowania warunków Stanu Granicznego Nośności oraz Stanu Granicznego Użytkowalności, dla wszystkich elementów składowych konstrukcji, włącznie z połączeniami i miejscami charakterystycznymi. Analiza stanów granicznych jest podstawą do podjęcia decyzji o możliwości dalszego użytkowania obiektu w bezpiecznym zakresie [3], [4], [5]. Procedury związane z oceną uszkodzonych konstrukcji, obejmują złożoną problematykę, uwzględniającą bezpieczeństwo pracy konstrukcji, możliwość dalszej eksploatacji obiektu, czy aspekty ekonomiczne związane z przeprowadzeniem remontów i napraw [1], [6], [7]. W niniejszym artykule przedstawiono przebieg prac, związanych z określeniem stanu technicznego istniejących stropów w budynku mieszkalnym jednorodzinny, co było wiodącym wątkiem podjętego zagadnienia. Celem podjętej analizy było określenie możliwości dalszego użytkowania budynku mieszkalnego jednorodzinny, w nawiązaniu do istniejącego stanu technicznego konstrukcji stropów. W ramach opracowania opisano stan istniejący, zinwentaryzowano występujące uszkodzenia i nieprawidłowości uwidocznione w trakcie przeprowadzonej wizji lokalnej oraz wykonano podstawowe badania materiałowe konstrukcji. Ze względu na brak archiwalnej dokumentacji technicznej, z czasu powstania obiektu, nie przeanalizowano poprawności i zgodności z ówczesnymi rozwiązaniami projektowymi. Ocenę przeprowadzono wyłącznie w oparciu o metody diagnostyczne istniejącej konstrukcji, bez przeprowadzenia szczegółowych obliczeń statycznie – wytrzymałościowych. Wyniki uzyskane z analizy stanu istniejącego bowiem, stanowiły wystarczającą przesłankę do wyprowadzenia jednoznacznych wniosków. Ocenę oparto głównie na obecnie obowiązujących zapisach normowych,

przy czym zapisy norm obowiązujących w trakcie powstawania obiektu traktowano wyłącznie informacyjnie [5]. Wyniki przeprowadzonych analiz dały podstawę do sformułowania wniosków, dotyczących konieczności wyłączenia obiektu z użytkowania, do czasu naprawy obiektu wraz z ich szerokim uzasadnieniem [5]. Artykuł ma charakter przedstawiający metodykę oceny stanu istniejącej konstrukcji stropów, na podstawie budynku mieszkalnego jednorodzinny, którego elementy mogą być wykorzystane na potrzeby wykonania innych opracowań z zakresu eksperckiego.

## Stan istniejący

### Ogólna charakterystyka budynku

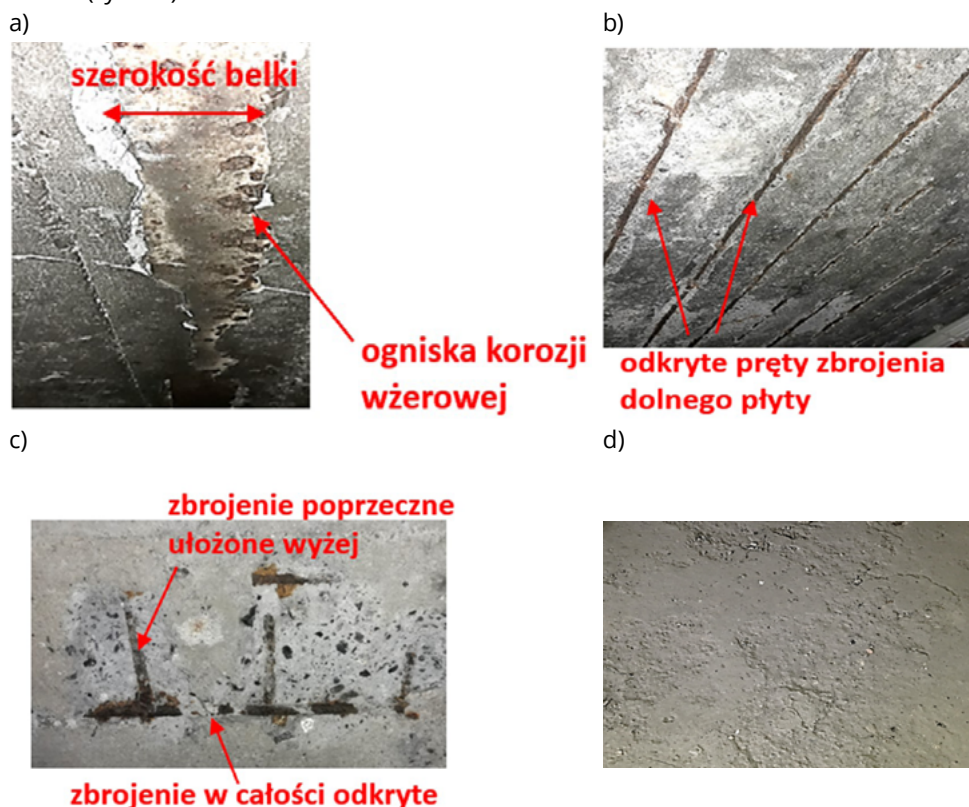
Obiekt, w którym przeprowadzono badania konstrukcji stropów był budynkiem mieszkalnym jednorodzinny, wykonany w latach 90. XX w, co potwierdzono na podstawie wywiadu z właścicielem nieruchomości. Bryła budynku zwarta, nierozczłonkowana, na planie prostokąta. Obiekt w pełni podpiwniczony, posiada dwie kondygnacje naziemne: parter i piętro. Wszystkie ściany zostały wykonane w technologii tradycyjnej murowanej, o zróżnicowanych materiałach i uwarstwieniu. Ściany piwnic jednowarstwowe, murowane z kamienia i cegły pełnej, na zaprawie cementowo-wapiennej. Ściany nadziemia zewnętrzne trójwarstwowe gr. ~38 cm (warstwa konstrukcyjna – pustak żuźlowy, pustka powietrzna pełniąca funkcję termoizolacyjną oraz cegła, przemurowana miejscami połową pustaka żuźlowego, stanowiąca warstwę osłonową). Ściany wewnętrzne nośne, w poziomie parteru i piętra z pustaków żuźlowych gr. 20 cm, murowane na zaprawie cementowo-wapiennej. Ściany działowe, murowane z cegły na gr. 12 cm. Budynek przekryty dachem dwuspadowym, w układzie niesymetrycznym, o kątach nachylenia połaci około 8 i 12 stopni (rys. 1), pokryty papą termozgrzewalną, na deskowaniu pełnym. Konstrukcja więźby dachowej drewniana, tradycyjna, płatiwio-krokwiowa. W chwili przeprowadzenia wizji lokalnej w budynku zostały skute tynki, rozebrano warstwy podłogi, tak aby w pełni odkryć konstrukcję stropów. Nie przeprowadzono odkrywki fundamentów, gdyż kwestia posadowienia nie stanowiła przedmiotu opracowania.



Rys. 1 Schematyczny przekrój analizowanego budynku (opis w tekście).

### Stan istniejący stropów

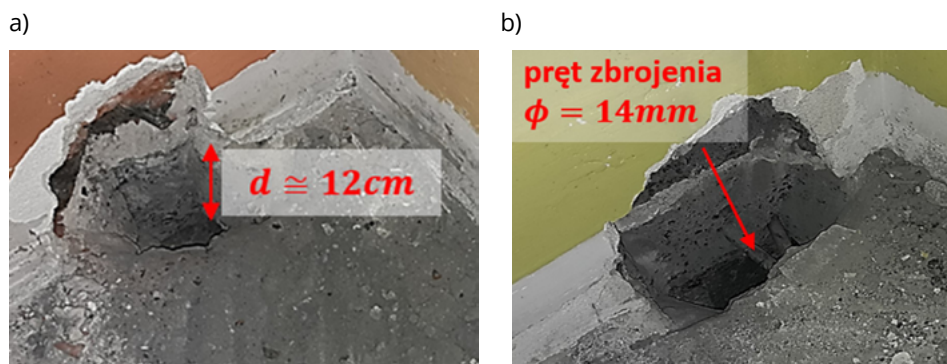
Strop nad piwnicą od strony północnej został wykonany w technologii stropu odcinkowego, na belkach stalowych (zastosowane belki występują o różnym przekroju i rozstawie). Od spodu stropu, widoczne skorodowane dolne półki belek stalowych (rys. 2a). Nad pomieszczeniami piwnicy od strony południowej, stropy wykonane jako monolityczne płyty żelbetowe, zbrojone dołem siatką z prętów żebrowanych, o średnicy 10 mm, w rozstawie 140 mm, w obu kierunkach. Stropy płytowe monolityczne, posiadają widoczne odspojone fragmenty otuliny betonowej, na skutek przyrostu produktów korozji, gromadzących się na powierzchni zbrojenia powstałych m.in. w wyniku silnej wilgotności pomieszczeń piwnicznych. Grubość otuliny prętów wynosi około 10 mm ( $\pm 5$  mm), która miejscami w całości została odspojona, na długości zbrojenia (rys. 2b). Odspojenia otuliny sięgają drugiej warstwy ułożonego zbrojenia, odsłaniając tym samym w całości pręty dolnej warstwy (rys. 2c). Grubość stropów waha się w przedziale 10 ÷ 12 cm. Górna powierzchnia stropu nieregularna, z silnymi złuszczeniami warstw betonu (rys. 2d).



Rys. 2 Stan istniejący stropów nad parterem i piętrem (opis w tekście).

## Badania konstrukcji Pomiary ugięć i rys

W ramach przeprowadzonej inwentaryzacji uszkodzeń stropu, wykonano pomiary istniejących ugięć oraz szczegółową inwentaryzację zarysowań stropów nad piwnicą i nad parterem, z zastosowaniem szczelinomierza kartowego NeoStrain. Dla stropu nad piętrem, z uwagi na ograniczony dostęp, zinwentaryzowano wyłącznie ugięcia płyt stropowych nad pomieszczeniami od strony północnej. Wykonano dwie odkrywki, po jednej dla stropu nad piwnicą i nad parterem, w strefach bezpośrednio przy podporach, w celu określenia rzeczywistego rozstawu prętów i grubości stropu. (rys. 4). Dzięki takiej lokalizacji odkrywki, zweryfikowano również występowanie elementów wiążących w poziomach stropów. W odkrytych miejscach nie stwierdzono występowania zbrojenia pełniącego funkcję wieńców lub innych rozwiązań ankrowania budynku. W trakcie wizji lokalnej pobrano próbki zbrojenia do badań statycznej próby rozciągania oraz wykonano nieniszczące badania sklerometryczne młotkiem Schmidta betonu płyt stropowych, nad parterem i piwnicą.



Rys. 3 Wykonane odkrywki konstrukcji stropów: a) odkrywka O2 – strop nad piwnicą, b) odkrywka O1 – strop nad parterem.

Na potrzeby inwentaryzacji rzeczywistych ugięć, zastosowano poziomicę laserową, z automatyczną niwelacją poziomą. Poziomicę ustawiano w różnych miejscach na stropach, co w dalszych rozważaniach jest opisane jako poszczególne strefy pomiarowe  $K_i$ . Odmierzane poszczególne wysokości, od założonego laserowo poziomu do konkretnych miejsc na stropach, były podstawą do wyznaczenia faktycznych ugięć płyt stropowych jako różnicę pomiędzy poszczególnymi pomiarami, zgodnie z uogólnioną zależnością:

$$f_K = |f_i - f_{max.K}| \quad (1)$$

gdzie:  $f_K$  – ugięcie wyznaczone pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi w rozpatrywanej strefie  $K$ ,  $f_i$  –  $i$ -ty pomiar wysokości względem punktu odniesienia,  $f_{max.K}$  – maksymalny pomiar wysokości względem punktu odniesienia dla danej strefy  $K$ . Maksymalna wielkość ugięcia stropu została wyznaczona jako wielkość ekstremum rozpatrywana dla danej strefy  $K$ :

$$f = \max f_{K,i} \quad (2)$$

W tabelicy 1 zestawiono wyniki wyznaczonych na podstawie zależności (1) i (2) ugięć stropów nad parterem, nad piwnicą i nad piętrem. Pomiary ugięcia stropu nad piętrem wykonano od spodu (z poziomu piętra), ze względu na brak odpowiedniego dostępu do przestrzeni poddasza. Z tego względu wyniki pomiarów nie zostały zestawione

w schematach inwentaryzacji uszkodzeń (rys. 5 i rys. 6). Uzyskane wyniki porównano z dopuszczalnym ugięciem płyt stropowych, wynikających ze spełnienia warunku granicznego równego:

$$f_{dop[8]} = \frac{L_{eff}}{250} \quad \text{wg [8]} \quad (3)$$

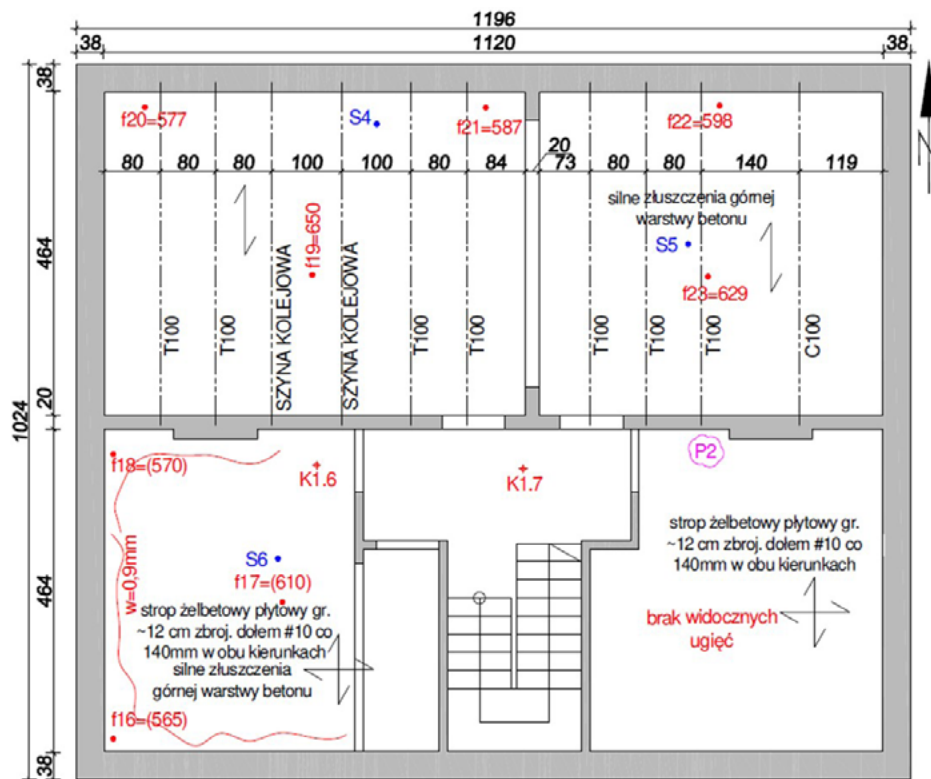
$$f_{dop[13]} = \frac{L_{eff}}{200} \quad \text{wg[13]}$$

gdzie  $L_{eff}$  jest efektywną rozpiętością pola stropowego, określoną odpowiednio wg [8] i [13]

Tablica 1. Wyniki pomiaru ugięć stropów.

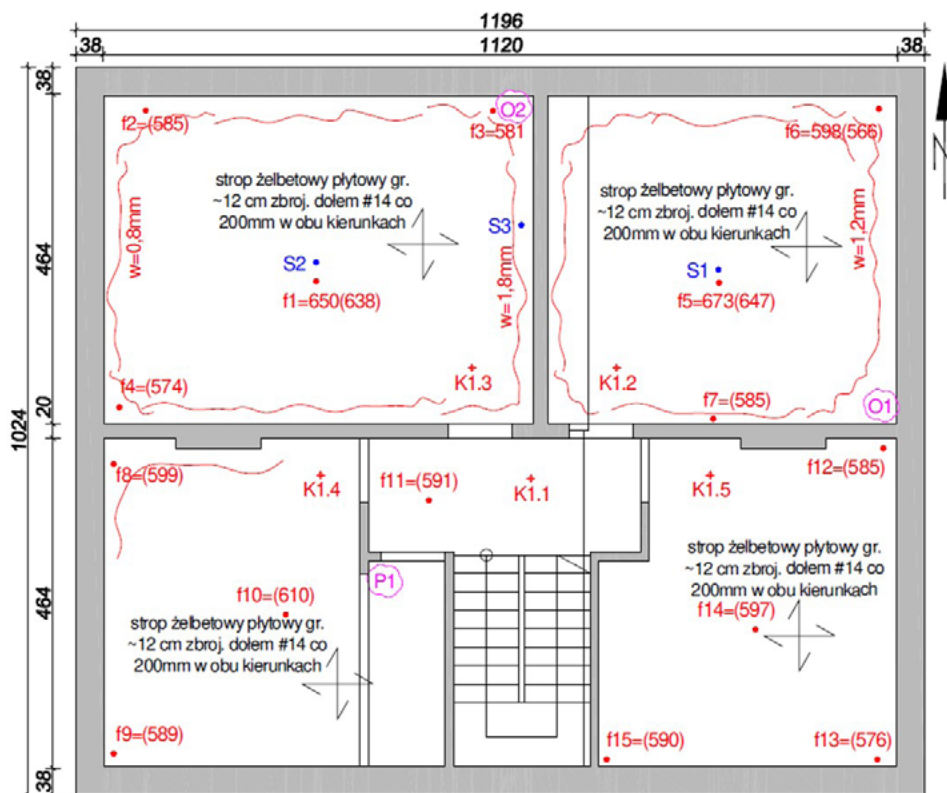
| Poziom                                  | Strefa pomiaru | Nr pomiaru | $f_i$ [mm] | $f_{max,K}$ [mm] | $f_K$ [mm] | $maxf_K$ [mm] | $L_{eff}$ [mm] | $f_{dop[8]}$ [mm] | $f_{dop[13]}$ [mm] | $\frac{maxf_K}{f_{dop[8]}}$ | $\frac{maxf_K}{f_{dop[13]}}$ |
|---|----------------|------------|------------|------------------|------------|---------------|----------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Strop nad piwnicą                       | K1.6           | f16        | 565        | 610              | 45         | 45            | 4780           | 19                | 23                 | 2,37                        | 1,96                         |
|   |                | f17        | 610        |                  | 0          |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f18        | 570        |                  | 40         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   | K1.7           | f19        | 650        | 650              | 0          | 73            |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f20        | 577        |                  | 73         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f21        | 587        |                  | 63         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f22        | 598        |                  | 52         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f23        | 629        |                  | 21         |               |                |                   |                    |                             |                              |
| Maksymalne ugięcie dla wszystkich stref |                |            |            |                  |            | 73            |                |                   |                    | 3,85                        | 3,18                         |
| Strop nad parterem                      | K1.1           | f1         | 650        | 673              | 23         | 92            | 4780           | 19                | 23                 | 4,84                        | 4,00                         |
|   |                | f3         | 581        |                  | 92         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f5         | 673        |                  | 0          |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f6         | 598        |                  | 75         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   | K1.2           | f5         | 647        | 647              | 0          | 81            |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f6         | 566        |                  | 81         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f7         | 585        |                  | 62         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   | K1.3           | f1         | 638        | 638              | 0          | 64            |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f2         | 585        |                  | 53         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f4         | 574        |                  | 64         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   | K1.4           | f8         | 599        | 610              | 11         | 21            |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f9         | 589        |                  | 21         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f10        | 610        |                  | 0          |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f11        | 591        |                  | 19         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   | K1.5           | f12        | 585        | 597              | 12         | 21            |                |                   |                    |                             |                              |
| f13                                     |                | 576        | 21         |                  |            |               |                |                   |                    |                             |                              |
| f14                                     |                | 597        | 0          |                  |            |               |                |                   |                    |                             |                              |
| f15                                     |                | 590        | 7          |                  |            |               |                |                   |                    |                             |                              |
| Maksymalne ugięcie dla wszystkich stref |                |            |            |                  |            | 92            |                |                   |                    | 4,84                        | 4,00                         |
| Strop nad piętrem                       | K1.8           | f24        | 883        | 883              | 0          | 73            | 4780           | 19                | 23                 | 3,85                        | 3,18                         |
|   |                | f25        | 810        |                  | 73         |               |                |                   |                    |                             |                              |
|   | K1.9           | f26        | 1897       | 1897             | 0          | 53            |                |                   |                    |                             |                              |
|   |                | f27        | 1844       |                  | 53         |               |                |                   |                    |                             |                              |
| Maksymalne ugięcie dla wszystkich stref |                |            |            |                  |            | 73            |                |                   |                    | 3,85                        | 3,18                         |

Zarysowania stropu nad piwnicą występowały głównie w obszarze płyty stropowej, od strony południowo-zachodniej. Stropy na belkach stalowych nie wykazywały zarysowań, zarówno w strefach przęsłowych, jak i podporowych. Największe ugięcia stropu nad piwnicą, sięgające 45 mm również posiadała płyta stropu nad pomieszczeniem przy wejściu do budynku, od strony frontowej (strona południowo-zachodnia). Strop od frontu, po stronie wschodniej nie wykazywał nadmiernych ugięć, ani zarysowań. Stropy nad parterem, były silnie zarysowane w strefach przypodporowych. Rysy osiągały rozwarłość 1,8 mm (podpora środkowa) oraz 0,8 - 1,2 mm nad podporami skrajnymi. Dodatkowo, silne zarysowania górne występowały w narożach stropów, które przebiegały skośnie, pod kątem zbliżonym do 45 stopni względem ścian budynku. Ugięcia stropów nad parterem wynosiły 81 mm (w pomieszczeniach od strony północnej) oraz około 21 mm w pomieszczeniach od strony południowej. Inwentaryzację ugięć stropu nad piętrem, wykonano wyłącznie z poziomu piętra, odmierzając poszczególne wysokości dolnej krawędzi stropu, do założonego laserowo poziomu niwelacyjnego. Zinwentaryzowano ugięcia sięgające 53 mm, w pomieszczeniu od strony północno-wschodniej budynku oraz 73 mm, w pomieszczeniu od północno-zachodniej. W ramach analizy uszkodzeń stropu nad piętrem nie wykonano pomiarów szerokości rozwarcia rys, ze względu na utrudniony dostęp do przestrzeni poddasza nieużytkowego. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono odpowiednio schematy zinwentaryzowanych uszkodzeń, odpowiednio dla stropów nad piwnicą i parterem wraz z ich lokalizacją oraz oznaczeniem punktów pomiarowych i miejsc odkrywek. Na schematach podano następujące oznaczenia: f - miejsca pomiarowe ugięć stropów, K - lokalizacje ustawienia poziomicy laserowej do wyznaczenia ugięć, S - miejsca badań młotkiem Schmidta, O - miejsca odkrywek stropów, P - miejsca pobranych prętów do badań próby statecznego rozciągania.



Rys. 4 Schemat zinwentaryzowanych uszkodzeń stropu nad piwnicą (opis w tekście).





Rys. 5 Schemat zinwentaryzowanych uszkodzeń stropu nad parterem (opis w tekście).

### Sklerometryczne badania nieniszczące betonu

Badania wytrzymałościowe betonu płyt stropowych wykonano nieniszczącą metodą sklerometryczną, przy użyciu młotka Schmidta typu N (rys. 7a). Metoda badawcza bazuje na zależności pomiędzy sprężystymi cechami wytrzymałościowymi badanego materiału, a jego wytrzymałością powierzchniową. Pojedynczy pomiar polega na uderzeniu w materiał wewnętrznego ciężarka zawartego w obudowie przyrządu, a następnie odczytaniu wyskalowanej wielkości tzw. liczby odbicia L. Wielkość ta odpowiada wysokości na jaką odbije się od badanej powierzchni materiału obciążnik, uderzający zawsze z tą samą energią.

a)



b)



Rys. 6 Urządzenia stosowane w trakcie badań: a) Młotek Schmidta typu N, b) maszyna wytrzymałościowa QU-ASAR, w trakcie próby rozciągania prętów zbrojeniowych.

Badaniom poddano beton płyt stropowych we wskazanych na schematach inwentaryzacji uszkodzeń (por. rys. 5 i rys. 6) miejscach oznaczonych symbolami S1÷S6 (łącznie 6 miejsc pomiarowych). Pomiary wykonywano w miejscach, w których powierzchnia była możliwie najbardziej gładka i wolna od uszkodzeń, a powierzchnie przed badaniem zostały oczyszczone i wygładzone kamieniem ściernym. W każdym miejscu pomiarowym wykonano 12 pomiarów, które były oddalone od siebie o minimalną odległość, równą  $d_{min}=25$  mm, następnie każdy uzyskany wynik pojedynczej liczby odbicia  $L_{ia}$  odnotowano w dzienniku pomiarowym. Badanie prowadzono zgodnie z normą [9]. Odczytane liczby odbicia  $L_{ia}$  skorelowano o poprawkę  $\Delta L$ , uwzględniając kierunek ułożenia młotka w trakcie badania. Dla kierunku pionowego i uderzenia od góry, przyjęto poprawkę  $\Delta L=3,8$  [10]. Następnie określono średnią liczbę odbicia  $L_{mv,i}$  oraz średnią, sprawdzoną liczbę odbicia  $L_{mv}$  obliczoną dla liczb odbicia, których poszczególne wielkości nie różniły się o więcej niż 5 jednostek od średniej  $L_{mv,i}$  [10]. Powyższe opracowanie wyników przeprowadzono odrębnie dla stropu nad piwnicą i dla stropu nad parterem, których zestawienie ujęto w tabelicy 2. Finalnie oszacowano średnią wytrzymałość betonu  $f_L$  badanych konstrukcji, którą wyznaczano zgodnie empiryczną krzywą ITB, wg instrukcji nr 210/1977 zdefiniowanej równaniem:

$$f_L = 1,15(0,0356 \cdot L^2 - 0,795 \cdot L + 6,4) \quad (4)$$

gdzie:  $L$  – liczba odbicia

Tabela 2. Wyniki pomiarów wykonanych w trakcie badań sklerometrycznych.

| Poziom konstrukcji                          | strop nad parterem |      |       |      |      |      | strop nad piwnicą |      |      |      |      |      |
|---|--------------------|------|-------|------|------|------|-------------------|------|------|------|------|------|
| Nr pomiaru                                  | S1                 | S1 x | S2    | S2 x | S3   | S3 x | S4                | S4 x | S5   | S5 x | S6   | S6 x |
| Kąt $\alpha$ , [°]                          | -90                | -90  | -90   | -90  | -90  | -90  | -90               | -90  | -90  | -90  | -90  | -90  |
| Liczba odbicia,<br>$L_i=L_{ia}+\Delta L$    | 22,4               | 22,4 | 24,4  | 24,4 | 20,4 | 20,4 | 17,4              | 17,0 | 17,4 | 17,4 | 16,4 | 16,4 |
|   | 22,4               | 22,4 | 27,4  | 27,4 | 22,4 | 22,4 | 21,4              | 21,0 | 18,4 | 18,4 | 19,4 | 19,4 |
|   | 24,4               | 24,4 | 20,4  | 20,4 | 21,4 | 21,4 | 19,4              | 19,0 | 17,4 | 17,4 | 19,4 | 19,4 |
|   | 20,4               | 20,4 | 24,4  | 24,4 | 21,4 | 21,4 | 17,4              | 17,0 | 17,4 | 17,4 | 14,4 | 14,4 |
|   | 21,4               | 21,4 | 24,4  | 24,4 | 17,4 | 0,00 | 20,4              | 20,0 | 18,4 | 18,4 | 17,4 | 17,4 |
|   | 23,4               | 23,4 | 23,4  | 23,4 | 24,4 | 24,4 | 19,4              | 19,0 | 19,4 | 19,4 | 18,4 | 18,4 |
|   | 23,4               | 23,4 | 27,4  | 27,4 | 21,4 | 21,4 | 19,4              | 19,0 | 17,4 | 17,4 | 17,4 | 17,4 |
|   | 20,4               | 20,4 | 25,4  | 25,4 | 23,4 | 23,4 | 20,4              | 20,0 | 17,4 | 17,4 | 14,4 | 14,4 |
|   | 24,4               | 24,4 | 25,4  | 25,4 | 21,4 | 21,4 | 19,4              | 19,0 | 19,4 | 19,4 | 19,4 | 19,4 |
|   | 20,4               | 20,4 | 27,4  | 27,4 | 24,4 | 24,4 | 21,4              | 21,0 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
|   | 22,4               | 22,4 | 27,4  | 27,4 | 26,4 | 26,4 | 22,4              | 22,0 | 21,4 | 21,4 | 19,4 | 19,4 |
|   | 23,4               | 23,4 | 27,4  | 27,4 | 25,4 | 25,4 | 16,4              | 16,0 | 20,4 | 20,4 | 15,4 | 15,4 |
| Średnia liczba odbicia, $L_{mv,i}$          | 22,4               | 22,4 | 25,4  | 25,4 | 22,5 | 21,0 | 19,6              | 19,6 | 18,6 | 18,6 | 17,5 | 17,5 |
| Średnia sprawdzona liczba odbicia, $L_{mv}$ | 22,4               |      | 25,4  |      | 21,8 |      | 19,6              |      | 18,6 |      | 17,5 |      |
| Wytrzymałość betonu                         | 7,42               |      | 10,55 |      | 6,85 |      | 5,15              |      | 4,51 |      | 3,89 |      |

$S_i^x$  – pomiary po odrzuceniu wyników o więcej niż 5 jednostek od średniej

Dla uzyskanych wyników wyznaczono odchylenie standardowe  $s_L$  i współczynnik zmienności  $v_L$ , obrazujący zmienność wyników pomiarów względem wielkości średniej całej populacji. Wielkości te określono odrębnie, dla wszystkich pomiarów wykonanych w obrębie stropu nad piwnicą i osobno, dla stropu nad parterem. Dla stropu nad piwnicą uzyskano odpowiednio wielkości  $s_L=1,89$  oraz  $v_L=12\%$ , natomiast dla stropu nad parterem  $s_L=2,47$  i  $v_L=13\%$ .



### Określenie klasy betonu

Klasę betonu określono na podstawie uzyskanych wyników badań sklerometrycznych, odrębnie dla płyt stropowych nad piwnicą i nad parterem. Podjęto próbę klasyfikacji betonu do klas, zgodnie z zalecaniami normy [11]. W celu określenia możliwości zaklasyfikowania badanego betonu do klasy wytrzymałościowej przyjęto następujące kryteria:

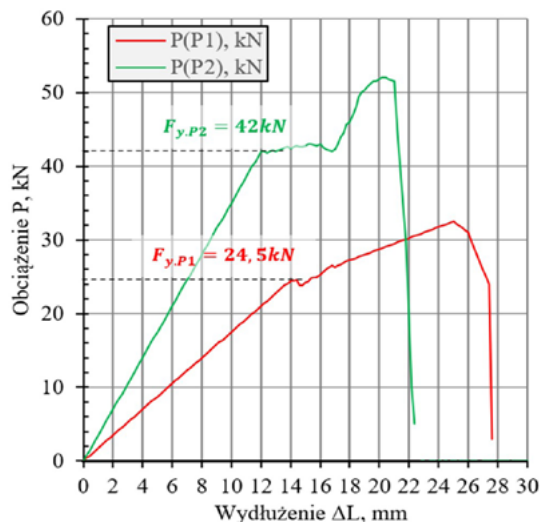
$$\begin{aligned} f_{c,i,min} &\geq f_{ck} - 4 \text{ MPa} \\ f_{c,mean} &\geq f_{ck} + 4 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (5)$$

w których  $f_{c,mean}$  oznacza średnią skorygowaną wytrzymałość betonu z trzech miejsc pomiarowych w obrębie badanego stropu, natomiast  $f_{c,i,min}$  wytrzymałość najłabszej próbki dla analizowanej płyty stropowej. Wielkość  $f_{ck}$  jest poszukiwaną wytrzymałością charakterystyczną betonu na ściskanie. Podwójne kryterium (5), zaadaptowano do wyników badań biorąc pod uwagę najniższą możliwą klasę betonu C12/15 określoną normą [8].

Uzyskane z badań szacunkowe wyniki wytrzymałości betonu na ściskanie nie wykazały zgodności z kryterium (5), przez co betonów konstrukcji stropów nad piwnicą i nad parterem nie można było zakwalifikować do żadnej klasy konstrukcyjnej, wyszczególnionej wg obecnie obowiązującej normy [8]. Możliwe było jedynie zakwalifikowanie betonu stropu nad parterem do klasy C8/10 wg normy [11], jednak nie jest to klasa betonu konstrukcyjnego [8]. Na bardzo małe wartości wyników wytrzymałości betonu na ściskanie uzyskane w trakcie badań, wpływać mogły różne aspekty obejmujące m.in. skład mieszanki betonowej (bardzo duży udział kruszywa żuźlowego), warunki wykonania robót, w tym warunki atmosferyczne panujące na placu budowy oraz nieodpowiednia pielęgnacja świeżego betonu.

### Statyczna próba rozciągania stali

W miejscach P1 i P2 (por. rys. 5 i rys. 6), w trakcie przeprowadzonej wizji lokalnej zostały wycięte pojedyncze pręty zbrojeniowe. Dla stropu nad piwnicą pobrano pręt zbrojenia od spodu, w miejscu istniejącego uszkodzenia stropu, w miejscu przebiecia płyty stropu w obrębie otworu instalacyjnego, tak aby dodatkowo nie naruszać konstrukcji. Podobnie w przypadku płyty stropu nad parterem, pręt pobrano w miejscu otworowania stropu na potrzeby przeprowadzenia instalacji. Następnie pręty zostały wstępnie oczyszczone, zmierzone i poddane badaniu statycznej próbie rozciągania, która stanowi podstawowe badanie wytrzymałości materiału na rozciąganie. Badanie przeprowadzono na stacjonarnej maszynie wytrzymałościowej QUASAR, w warunkach laboratoryjnych (rys. 7b). Badaniu poddano dwie próbki prętów (po jednej z każdego stropu), których wyniki zobrazowano na wykresie zmian wydłużenia próbki, w funkcji przyrostu siły rozciągającej (rys. 8). Pręt zbrojenia stropu nad piwnicą, o średnicy 10 mm, żebrowany z silnie widocznymi oznakami korozji oraz pręt zbrojenia stropu nad parterem, o średnicy 14 mm, gładki z widocznymi oznakami korozji z etapu wbudowania pręta (brak widocznych postępujących oznak procesu korozyjnego). Mała ilość pobranych próbek testowych wynikała z konieczności zminimalizowania ingerencji, w ślad za tym osłabienia już zdegradowanej konstrukcji stropów.



Rys. 7 Wykresy zależności siła  $F_{y,i}$  – wydłużenie  $\Delta l_i$  uzyskane w trakcie próby rozciągania próbek prętów P1 i P2.

Na podstawie uzyskanych w trakcie rozciągania statycznego wielkości sił granicznych  $F_{y,i}$  przy której pręt zaczyna się uplastyczniać, dla poszczególnych prętów określono charakterystyczną granicę plastyczności stali  $f_{yk,i}$  z zastosowaniem liniowej zależności pomiędzy siłą  $F_{y,i}$  a pomierzonym wydłużeniem  $\Delta l_i$  w stanie sprężystym, znanej z teorii wytrzymałości materiałów jako prawo Hooke'a [12]:

$$f_{yk,i} = \frac{F_{y,i}}{A_i} \quad (6)$$

gdzie  $A_i$  jest polem przekroju badanego pręta.

Dla zbrojenia stropu nad piwnicą prętami o średnicy 10 mm, nominalne pole przekroju pojedynczego pręta jest równe  $A_{\phi 10} = 0,79 \text{ cm}^2$ . Przy maksymalnej sile odpowiadającej uplastycznieniu zbrojenia w trakcie badań równej  $F_{y,\phi 10} = 24,5 \text{ kN}$  charakterystyczna granica plastyczności stali, z której wykonano pręty obliczona wg (6) wynosi  $f_{yk,\phi 10} = 310,1 \text{ MPa}$ . Dla prętów stropu nad parterem, o nominalnej średnicy równej 14 mm, pole przekroju pojedynczego pręta wynosi  $A_{\phi 14} = 1,54 \text{ cm}^2$ . Siła odczytana w próbie statycznego rozciągania w chwili uplastycznienia pręta wynosiła  $F_{y,\phi 14} = 42,0 \text{ kN}$ , w związku z czym charakterystyczna granica plastyczności zbrojenia wyznaczona wg zależności (6) była równa  $f_{yk,\phi 14} = 272,7 \text{ MPa}$ . Uzyskane wyniki należy traktować wyłącznie jako orientacyjne, ze względu na brak dodatkowych próbek porównawczych. Wyniki te jednak odpowiadają stalom stosowanym w okresie budowy obiektu. Na tej podstawie można szacunkowo przyjąć gatunek stali zbrojeniowej odpowiednio dla stropu nad piwnicą A-II, natomiast dla stropu nad parterem A-I, klasyfikowany zgodnie z normą obowiązującą w trakcie budowy obiektu [13].

## Dyskusja wyników

Analizowane płyty stropowe posiadały liczne uszkodzenia, w postaci silnych zarysowań w strefach podporowych, co świadczy o całkowitym braku zbrojenia górnego. Szczególne silne zarysowania występowały w obrębie podpór środkowych oraz w narożach stropów. Taki efekt został spowodowany przez częściowe utwierdzenie płyty stropowej, wynikły z docisku ściany wyższej kondygnacji i tym samym braku swobodnego obrotu na podporze. Zgodnie z obecnie obowiązującą normą [11], wielkość zbrojenia podporowego dla płyt swobodnie podpartych (jeżeli takie były założenia na etapie projektu i wykonania budynku), powinna wynosić minimum 15% ilości zbrojenia ułożonego w przeszle elementu. Na potrzeby odkrywki konstrukcji stropów w trakcie robót remontowych usunięto ze stropu wylewki o zróżnicowanych grubościach, mieszczących się w przedziale ~ 70 mm (przy podporach) do 140 mm (w strefie przeszłowej płyt), co świadczy o wadliwym wykonaniu stropu, już na etapie budowy budynku i próby niwelacji ugięć, poprzez wykonanie warstw podłogi. Niestety, takie podejście potęgowało uszkodzenia stropów, ze względu na dodatkowe dociążenia warstwami wylewek. Wykruszenia struktury górnych warstw betonu w środku rozpiętości stropów, a więc w miejscach koncentracji największych naprężeń ściskających płyty stropu, również jest zjawiskiem niedopuszczalnym i powodującym tym samym zmniejszenie efektywnej wysokości strefy ściskanej w przeszle. Zbrojenia stropu nad parterem, wykonane z prętów gładkich mimo, że były dopuszczone do stosowania warunkami normowymi obowiązującymi w trakcie budowy obiektu [13], powoduje występowanie poślizgu na styku stali z betonem i nie zapewnia wymaganych sił przyczepności, zgodnie z obecnie obowiązującymi warunkami normowymi [11]. Stropy nad piwnicą, wykonane w technologii płyt monolitycznych posiadają zbyt małą otulinę lub nawet miejscami otulina w ogóle nie występuje. Zgodnie z normą [11] i literaturą techniczną [14], [15], zalecaną klasą ekspozycji dla pomieszczeń umiarkowanej lub wysokiej wilgotności powietrza jest klasa XC3, która obliuguje do przyjęcia otuliny min.  $c_{min,dur}=35$  mm, przy założeniu klasy konstrukcji S4 (50 lat eksploatacji) oraz dodatkowo, odchyłkę dokładności wykonania elementu żelbetowego równą  $\Delta c_{dev}=10$  mm. Sumarycznie, minimalna otulina nominalna powinna wynosić  $c_{nom}=45$  mm. Postępujące na przestrzeni lat procesy korozyjne stali zbrojeniowej spowodowały silne zarysowania i odspojenia fragmentów otuliny betonowej na skutek przyrostu objętości produktów korozji [16-19]. W momencie przeprowadzania wizji lokalnej pręty były w większości odsłonięte, tym samym nie miały zapewnionych odpowiednich warunków ochrony przed agresją środowiska zewnętrznego i jednocześnie nie posiadają wymaganej przyczepności do betonu. Należy również pamiętać, że postępujące procesy korozyjne powodują nie tylko ubytek przekroju zbrojenia [17], a w ślad za tym postępujących ugięć stropu [18], ale również zmiany w granicy plastyczności stali [22], [23][20]. Stropy na belkach stalowych wykonane zostały z różnych elementów o przekrojach, które posiadają znaczne różnice w charakterystykach geometrycznych oraz wykonanych z różnych materiałów (ceowniki, teowniki, dwuteowniki i szyny kolejowe). Z tego powodu, sztywność poszczególnych belek na zginanie jest zróżnicowana, przez co praca stropu również jest nierównomierna. Beton wypełniający przestrzeń pomiędzy belkami został silnie złuszczonej w warstwie górnej i tym samym spowodował zmniejszenie się nośności na zginanie, z uwagi na degradację efektywnej strefy ściskanej przekroju betonowego. Zinventaryzowane ugięcia stropu na belkach stalowych potwierdzały przekroczenie warunków Stanu Granicznego Użytkowalności. Odkrywki konstrukcji pozwoliły określić, że beton zastosowany do konstrukcji zarówno stropu nad piwnicą, jak i stropu nad parterem został wykonany głównie na bazie żużla przemysłowego, stwierdzono występowanie znikomych ilości kruszywa kwarcowego. Badania

sklerometryczne z kolei potwierdziły bardzo małe wytrzymałości materiału na ściskanie, którego nie można zakwalifikować do żadnej klasy konstrukcyjnej betonu wg [11]. Wszystkie płyty stropowe posiadały przekroczone dopuszczalne wielkości ugięć, sięgające przeszło 4-krotnej wielkości dopuszczalnej równej  $f_{dop}=L/250$  (wg [8]) lub  $f_{dop}=L/200$  (wg [13]). Należy zauważyć, że ugięcia te zostały mierzone wyłącznie w momencie obciążenia płyty ciężarem własnym i tynkiem od spodu, pozostałe warstwy wykończeniowe płyt stropowych zostały rozebrane przed wykonaną wizją lokalną. Stwierdzono, że ugięcia te spowodowane zostały głównie na skutek braku zbrojenia górnego płyt stropowych (braku uciąglenia płyt nad podporami). Poprzez swoje złamania w strefach podporowych, płyty zaczęły pracować jako elementy przegubowo podparte, które zgodnie z teorią mechaniki budowli posiadają większe ugięcia niż ustroje wieloprzęsłowe. Dodatkowo, grubość płyt stropowych w stosunku do ich rozpiętości była stosunkowo niewielka, przez co przekroje płyt posiadały małe sztywności na zginanie. Ostatnim elementem, który budził duże wątpliwości na etapie przeprowadzonej wizji lokalnej były umieszczone w stropie nad parterem drewniane fragmenty desek, które najprawdopodobniej miały służyć jako podkładki zbrojenia, w celu zachowania wymaganej grubości otuliny, układane w trakcie wykonania stropu. Są to elementy liniowo przecinające ciągłość stropu (szczególnie niebezpieczne w przekrojach przęsłowych), które tym samym zmniejszają ich sztywność, co jest rozwiązaniem niedopuszczalnym. Po odkrywce tynków stropu nad parterem, w miejscu powstających zarysowań, oprócz umieszczonych elementów drewnianych, stwierdzono występowanie licznych raków i pustek w strukturze betonu, które powstały na skutek nieodpowiedniego zagęszczania mieszanki betonowej na etapie jej układania. Ze względu na brak odpowiedniego dostępu do przestrzeni poddasza, dla stropu nad piętrem zostały wykonane tylko pomiary ugięcia od spodu płyty stropowej (strefy K1.8 i K1.9) oraz wizja lokalna, z dokumentacją fotograficzną przestrzeni poddasza. Struktura betonu górnej powierzchni stropu została w większości zdegradowana. Stwierdzono luźno leżące fragmenty betonu, które można było łatwo wykruszyć manualnie, bez użycia narzędzi mechanicznych. Taki stan górnej powierzchni stropu nasuwa wniosek o możliwym cyklicznym przemarzaniu i rozmarzaniu wody porowej w dojrzewającym betonie stropu, w krótkim czasie po zabetonowaniu, przez co struktura betonu została silnie naruszona. Należy zwrócić uwagę, że na stropie tym opierała się również konstrukcja więźby dachowej, co dodatkowo powodowało ugięcia płyt stropowych, na skutek reakcji skupionych przekazywanych przez słupki więźby. W przekroju podporowym płyty stropu nad piętrem, również stwierdzono brak zbrojenia górnego nad wewnętrzną ścianą nośną, w śladzie której powstała podłużna rysa. Tym samym układ stropu analogicznie jak strop nad parterem, zaczął pracować na kształt układu przegubowo, połączonego na podporze, co z kolei znacznie zwiększyło ugięcia poszczególnych przęseł.

### **Wnioski końcowe**

Na potrzeby określenia stanu istniejącego konstrukcji stropów w budynku mieszkalnym jednorodzinny, przeprowadzono szereg zabiegów, umożliwiających sformułowanie wniosków końcowych i finalne określenie możliwości dalszej eksploatacji obiektu. W ramach opracowania, wykonano wizję lokalną wraz z przeprowadzoną inwentaryzacją uszkodzeń, wykonaniem odkrywek oraz badaniami materiałowymi. Ostateczna analiza z zakresu konstrukcyjno-budowlanego, z uwzględnieniem warunków ujętych w obecnie obowiązujących normach i wiedzy technicznej pozwoliła na sformułowanie głównego wniosku. Stwierdzono, że stropy w analizowanym budynku są w stanie niedostatecznym, tym samym dalsze użytkowanie obiektu w obecnym stanie zagraża bezpieczeństwu osób przebywających wewnątrz budynku i w bezpośrednim jego otoczeniu. W związku z wynikami przeprowadzonej oceny, zalecono wyłączenie budynku z użytkowania do czasu przywrócenia stanu konstrukcji, spełniającego wymogi dotyczące bezpieczeństwa, zgodnie z ustawą [2] i aktami wykonawczymi [3]. W związku z tym zalecono całkowitą rozbórkę stropów oraz wykonanie nowych, z zachowaniem spełnienia warunków Stanu Granicznego Nośności i Stanu Granicznego Użytkowalności, definiowanych obecnie obowiązującymi normami [11] wraz z wykonaniem systemów wiążących (wieńców), w poziomie każdego stropu. Powyższe zabiegi były konieczne z punktu widzenia pracy konstrukcji w bezpiecznym zakresie oraz możliwości dalszego użytkowania obiektu [1].

## BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Recha, P. Nagel, Zasady przeprowadzania okresowych badań technicznych obiektów budowlanych w zakresie bezpieczeństwa i użytkowania. *Builder*, 295, 2, 12–14, 2022, doi: 10.5604/01.3001.0015.6949.
- [2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. Dz. U. 2022 poz. 1225.
- [4] Praca zbiorowa pod redakcją L. Runkiewicza, Diagnostyka obiektów budowlanych. Zasady przeprowadzania ekspertyz. Warszawa: PWN, 2023.
- [5] L. Brunarski, J. Pawlikowski, Ocena bezpieczeństwa istniejących konstrukcji. *Badania i studia. Prace Instytutu Techniki Budowlanej.*, 116, 4, 2000, .
- [6] Z. Wang, W. Jin, Y. Dong, D. M. Frangopol, Hierarchical life-cycle design of reinforced concrete structures incorporating durability, economic efficiency and green objectives. *Engineering Structures*, 157119–131, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.11.022.
- [7] L. Li, M. Mahmoodian, A. Khaloo, Z. Sun, Risk-Cost Optimized Maintenance Strategy for Steel Bridge Subjected to Deterioration. *Sustainability*, 14, 436, 2022, .
- [8] Polski Komitet Normalizacyjny, Norma PN-EN 1992-1-1: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków. Warszawa, 2008.
- [9] Polski Komitet Normalizacyjny, PN-EN 12504-2:2013-03: Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badanie nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia. Warszawa, 2013.
- [10] Ł. Drobiec, R. Jasiński, A. Piekarczyk, Diagnostyka konstrukcji żelbetowych - Tom 1. Warszawa: PWN, 2022.
- [11] Polski Komitet Normalizacyjny, Norma PN-EN 206 + A1: 2016-12: Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność. Warszawa, 2016.
- [12] R. Hooke, *De Potentia Restitutiva or Spring. Explaining the Power of Springing Bodies.* Londyn: Royal Society, 1674.
- [13] Polski Komitet Normalizacyjny, PN-B 03264: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Warszawa, 1984.
- [14] A. Zybura, M. Jaśniok, T. Jaśniok, Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. *Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, t.2.* Warszawa: PWN, 2011.
- [15] L. Czarnecki, P. H. Emmons, *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych.* Kraków: Polski Cement, 2002.
- [16] F. Rech, T. Jaśniok, T. Krykowski, The simulation of corrosion degradation of concrete specimen in stationary heat and moisture conditions. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 10, 4, 107–113, 2017, doi: 10.21307/acee-2017-054.
- [17] Y. Wang, T. Yin, X. Sun, Y. Zhao, H. Chen, Review of corrosion test methods of prestressed anchor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 861, 2, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/861/2/022060.
- [18] F. Recha, Estimation method of corrosion current density of RC elements. *Open Engineering*, 13, 1, 2023, doi: [www.doi.org/10.1515/eng-2022-0430](https://doi.org/10.1515/eng-2022-0430).
- [19] M. Fiertak, S. Kańka, Właściwości mechaniczne skorodowanej stali zbrojeniowej w betonie trzonu komina przemysłowego. *Przegląd Budowlany*, 83, 6, 27–29, 2012, .
- [20] A. A. Almusallam, Effect of degree of corrosion on the properties of reinforcing steel bars. *Construction and Building Materials*, 15, 8, 361–368, 2001, doi: 10.1016/S0950-0618(01)00009-5.



## EXPERT ASSESSMENT OF THE SUITABILITY OF A RESIDENTIAL BUILDING FOR USE BASED ON THE CONDITION OF THE CEILING

### ABSTRACT

The paper presents an analysis related to the assessment of the technical condition of ceiling structures in a single-family residential building. The work illustrates the existing state of the structure together with the inventory of damages. The focus was on the presentation of the tests carried out together with their results, which as a result gave grounds for making a decision about the need to exclude the facility from use. Then, the required and recommended measures aimed at enabling further operation of the facility in a safe range are presented.

### KEYWORDS

technical condition, floor deflections, damage to the reinforced concrete structure, corrosion of the reinforcing steel, construction errors



Artykuł udostępniony na licencjach Creative Commons/ Article distributed under the terms of Creative Commons licenses: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0). License available: [www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/](http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)