

dr hab. inż. Ryszard Chmielewski^{1)*}

ORCID: 0000-0001-5662-9180

mgr inż. Jacek Sankowski²⁾

ORCID 0000-0002-5712-267X:

mgr inż. Marcin Lisowski¹⁾

ORCID: 0000-0003-4073-8467

mgr inż. Paweł Muzolf¹⁾

ORCID: 0000-0002-5096-1657

Diagnostyka uszkodzonych ścian budynków z zastosowaniem monitoringu geodezyjnego

Diagnostics of damaged building walls using geodetic monitoring

DOI: 10.15199/33.2023.07.04

Streszczenie. W artykule przedstawiono diagnostykę dwóch budynków zlokalizowanych na terenie jednego kompleksu zamkniętego. W obiektach tych powstały uszkodzenia mogące świadczyć o ich nadmiernym osiadaniu bądź wypiętrzaniu. Opracowane ekspertyzy zalecały wzmocnienie ich posadowienia przez zastosowanie mikropali. Ze względu na znaczne koszty rozwiązania oraz dość duże zużycie techniczne budynków zalecono zweryfikowanie zakresu przewidywanych robót budowlanych oraz przeanalizowanie ich opłacalności. W trakcie wykonywania tej oceny stwierdzono, że w przypadku pierwszego z obiektów remont był niezasadny ze względu na nieprawidłowo zdiagnozowaną przyczynę powstania uszkodzeń. Natomiast zaproponowana technologia remontu drugiego obiektu prowadziła do powiększenia istniejących już uszkodzeń w wyniku pojawienia się dodatkowego osiadania i remont byłby nieopłacalny. Określenie zakresu robót budowlanych i dobór właściwych rozwiązań projektowych w celu naprawy uszkodzonych obiektów budowlanych wymaga ustalenia rzeczywistych przyczyn powstania uszkodzeń, które w połączeniu z aktualną oceną stanu technicznego obiektu pozwalają na podjęcie właściwych decyzji dotyczących sposobu dalszego postępowania.

Słowa kluczowe: diagnostyka obiektów budowlanych; rozpoznanie podłoża gruntowego; pomiary geodezyjne.

Abstract. The article presents the process of diagnostics of two buildings located in a selected restricted military area. In these structures, damage was found that could indicate excessive settlement of buildings or their uplift. The expert opinions recommended strengthening their foundations by using micropiles. Due to the significant costs and quite high technical wear of the buildings, it was recommended to verify the scope of the anticipated construction works and analyse their cost-effectiveness. During this assessment, it was found that the renovation of the first building was unjustified due to the incorrectly diagnosed cause of the damage. With regard to the second structure, the proposed renovation technology threatened to collapse the building, and the renovation would be unprofitable. Determining the scope of construction works and selecting appropriate design solutions to repair damaged buildings requires special care. Only the proper determination of the actual causes of damage, combined with the assessment of the current technical condition of the facility, enables making the right decision on how to proceed.

Keywords: building diagnosis; subsoil investigation; geodetic surveying.

Decyzja dotycząca przyjęcia zakresu i technologii robót remontowych uszkodzonych ścian obiektów budowlanych wynika z właściwie wykonanej oceny ich stanu technicznego, obejmującej wiele czynności na różnych etapach jej wykonywania. W pierwszej kolejności, na etapie przygotowywania się do wykonania oceny stanu technicznego budynku, zgodnie z [1] zalecane są następujące prace:

- analiza informacji zawartych w dokumentacji technicznej, w tym w protokołach kontroli okresowych;

- przeprowadzenie oględzin obiektu w terenie;

- określenie założeń oceny wraz z zakresem niezbędnych badań i pomiarów;

- określenie sposobu przeprowadzenia oceny.

Na etapie wykonywania oceny, oprócz samych badań i pomiarów, celowe jest również wykonanie inwentaryzacji występujących uszkodzeń, ich zakresu i wielkości. Właściwa identyfikacja uszkodzeń elementów konstrukcyjnych, rodzaju i rozkładu powstałych wad (np. spękań, zarysowań) umożliwia prawidłowe określenie przyczyn ich powstania, a w dalszej kolejności właściwe określenie sposobu naprawy. Uszkodzenia przegród budowlanych mogą mieć swoje źródło na różnych etapach życia obiektu [2], po-

cząwszy od błędów projektowych, przez niewłaściwe wykonawstwo, aż do niewłaściwej eksploatacji obiektu. Innym zagadnieniem jest ocena stanu technicznego konstrukcji oraz skutków awarii budowlanych powstałych na skutek oddziaływań wyjątkowych, takich jak pożary, wybuchy, powódzie czy też trzęsienia ziemi, których przyczyna powstania jest już na wstępie znana.

Zgodnie z [3] wśród najczęściej występujących źródeł uszkodzenia konstrukcji murowych wskazuje się wady powstałe na skutek: osiadania podłoża gruntowego (60 – 70%); przeciążenia konstrukcji (15 – 20%) oraz wpływów dynamicznych i wyjątkowych (2 – 5%). Z tych danych statystycznych wynika, że ponad połowa przypadków powsta-

¹⁾ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

²⁾ Ministerstwo Obrony Narodowej, Departament Infrastruktury

* Adres do korespondencji:

ryszard.chmielewski@wat.edu.pl

łych uszkodzeń ścian obiektów budowlanych to efekt złych warunków posadowienia konstrukcji. W wypadku uszkodzenia obiektów budowlanych z powodu niewłaściwej pracy podłoża gruntowego do głównych przyczyn zaliczyć można [4]:

- błędy projektowe, zazwyczaj wynikające z nieprawidłowo określonych parametrów geotechnicznych [5, 6];
- błędy przy realizacji robót ziemnych i fundamentowych [7, 8, 9];
- błędy wynikające z niewłaściwej eksploatacji obiektów i terenów do nich przyległych [10];
- błędne przyjęcie kategorii geotechnicznej obiektu i wynikające z tego niedostosowanie zakresu badań geotechnicznych [5, 11].

Osoby uprawnione wykonujące oceny techniczne spełnionych ścian obiektów budowlanych często bez szczególnej analizy rzeczywistych przyczyn powstania uszkodzeń zalecają wykonanie wzmocnienia posadowienia. Wówczas proponowane rozwiązanie robót remontowych może okazać się nieskuteczne. Niezasadna wydaje się naprawa samych spękań bez usunięcia źródła ich powstania, ale w praktyce inżynierskiej obserwuje się takie przypadki.

Po wykonaniu wzmocnienia posadowienia obiektu zalecany jest remont uszkodzonych ścian i ogólna rewitalizacja obiektu, co wiąże się ze znacznymi kosztami robót budowlanych. W przypadku obiektów o znacznym stopniu zużycia technicznego czy funkcjonalnego celowe wydaje się przeprowadzenie analizy opłacalności remontu, gdyż ze względu na wysokie koszty robót okazać się może, że bardziej opłacalna jest rozbiorcza uszkodzonego obiektu i budowa nowego o takiej samej powierzchni użytkowej. Dodatkowo nowy obiekt będzie lepiej spełniał współczesne wymagania funkcjonalno-użytkowe. Decyzja dotycząca kwalifikacji obiektu do remontu czy do wymiany powinna być podjęta na podstawie analizy ekonomicznej [12, 13]. Nie dotyczy to obiektów zabytkowych, gdyż w ich przypadku rozbiorcza może zostać wykonana tylko wtedy, gdy obiekt uległ zniszczeniu w znacznym stopniu i po wcześniejszym jego wykreśleniu z rejestru zabytków zgodnie z przepisami ustawy [14].

Właściwie wykonana ocena techniczna obiektu ze spełnionymi ścianami oraz podstawowe pomiary geometrii konstrukcji umożliwiają podjęcie właściwych decyzji dotyczących warunków dalszego jego użytkowania.

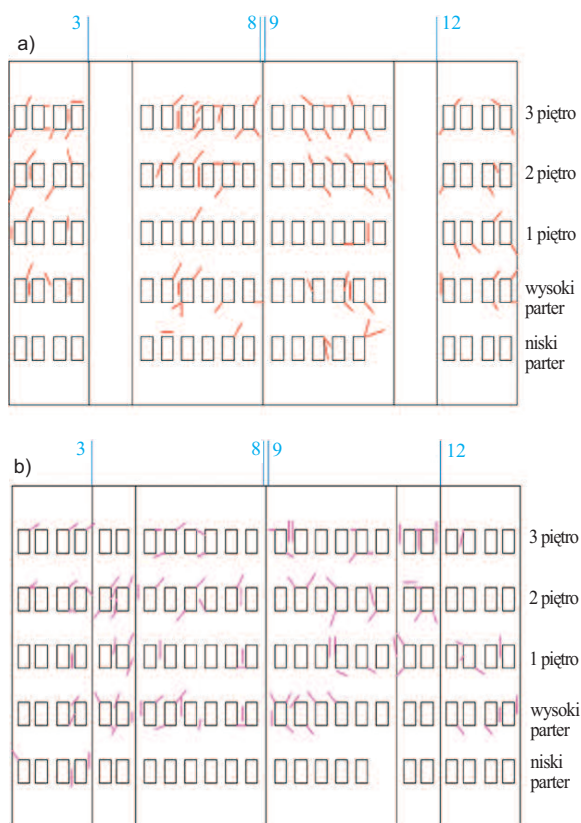
Określenie przyczyn powstania uszkodzeń obiektów

Pierwszy analizowany obiekt (nr 1), to budynek o zwartej bryle na planie prostokąta o wymiarach 73,52 x 16,30 m, posiadający 5 kondygnacji (w tym 4 naziemne oraz dach płaski ze stropodachem wentylowanym), wybudowany w połowie lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia. W budynku można wyróżnić trzy podłużne nawy: boczne, zajęte przez pomieszczenia użytkowe i środkową, tj. korytarz łączący klatki schodowe. Poziom posadzki podłogi najniższej kondygnacji budynku (niski parter) jest zagłębiony na -0,76 m względem otaczającego terenu. Konstrukcja nośna budynku jest żelbetowa, słupowo-płytowa, a ściany zewnętrzne i wewnętrzne murowane. Układ konstrukcyjny budynku składa się z zestawionych ze sobą dwóch ram typu H ze wspornikiem korytarzowym (ramy żelbetowe w układzie poprzecznym o rozpiętości 6,0 + 1,5 m, w rozstawie co 6 m). W osiach konstrukcyjnych „8” i „9” (rysunek 1) ramy te są zdublowane – tworzą dylatację konstrukcyjną budynku.

Zgodnie z archiwalną dokumentacją projektową budynek został posadowiony w obszarze, gdzie występuje podłoże gruntowe o małej nośności, szczególnie w środkowej części obiektu. Pod warstwą namulów znajdowały się piaski drobne i pyłaste w stanie średnio zagęszczonej o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,35$. Pierwsza ocena ekspercka budynku zakładała, że przyczyną powstawania uszkodzeń jest nierównomierne osiadanie podłoża. Zaleceniem było wykonanie wzmocnienia po-

sadowienia, polegające na podbiciu fundamentów za pomocą iniekcji strumieniowej. Takie rozwiązanie wiązało się z kosztami na poziomie 50% kosztów budowy nowego budynku o tych samych parametrach użytkowych, bez uwzględnienia kosztów remontu całego obiektu. Koszty remontu wewnątrz budynku (wykończenie i instalacje) wynosiłyby ok. 30% kosztów nowego obiektu. Zamierzano więc wyremontować budynek za ok. 80% kosztów budowy nowego, o tej samej powierzchni użytkowej, spełniającego współczesne wymagania techniczne i funkcjonalne. Zarządca obiektu zwrócił się z zapytaniem o celowość tego przedsięwzięcia.

W celu uzasadnienia wykonano szczegółową inwentaryzację występowania spękań i rys, aby zweryfikować związek przyczynowo-skutkowy powstania uszkodzeń elementów konstrukcyjnych. Rozkład występujących uszkodzeń ścian zewnętrznych w postaci map inwentaryzacyjnych przedstawiono na rysunku 1. Układ uszkodzeń



Rys. 1. Mapy uszkodzeń ścian budynku: a) zewnętrznej od strony południowej; b) zewnętrznej od strony północnej

Fig. 1. Maps of damage to the walls of the building; a) external from the south; b) external from the north

nie wykazuje typowych spękań wynikających z nierównomiernego osiadania budynku [2], którego forma zależy od tego, czy powstało w środku ściany czy też w jej narożniku.

Kolejnym elementem diagnostyki było założenie geodezyjnej sieci reperów kontrolnych, służących do analizy osiadania obiektu budowlanego. Repery założono na ścianach zewnętrznych przyziemia budynku, na wysokości ok. 1,0 m od poziomu przyległego terenu. Wykonano je w postaci kotwionych prętów stalowych z kulką. Pierwszy pomiar geodezyjny („zerowy”) przeprowadzono 06.02.2020 r., a kolejne w odstępach co trzy miesiące w okresie dwóch lat. Pomiary geodezyjne zostały wykonane z wykorzystaniem precyzyjnego niwelatora kodowego, umożliwiającego określenie wysokości punktów z błędem nie większym niż $\pm 0,3$ mm. Uzyskane wyniki opracowano metodą najmniejszych kwadratów. Rozmieszczenie reperów pomiarowych oraz wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 2.

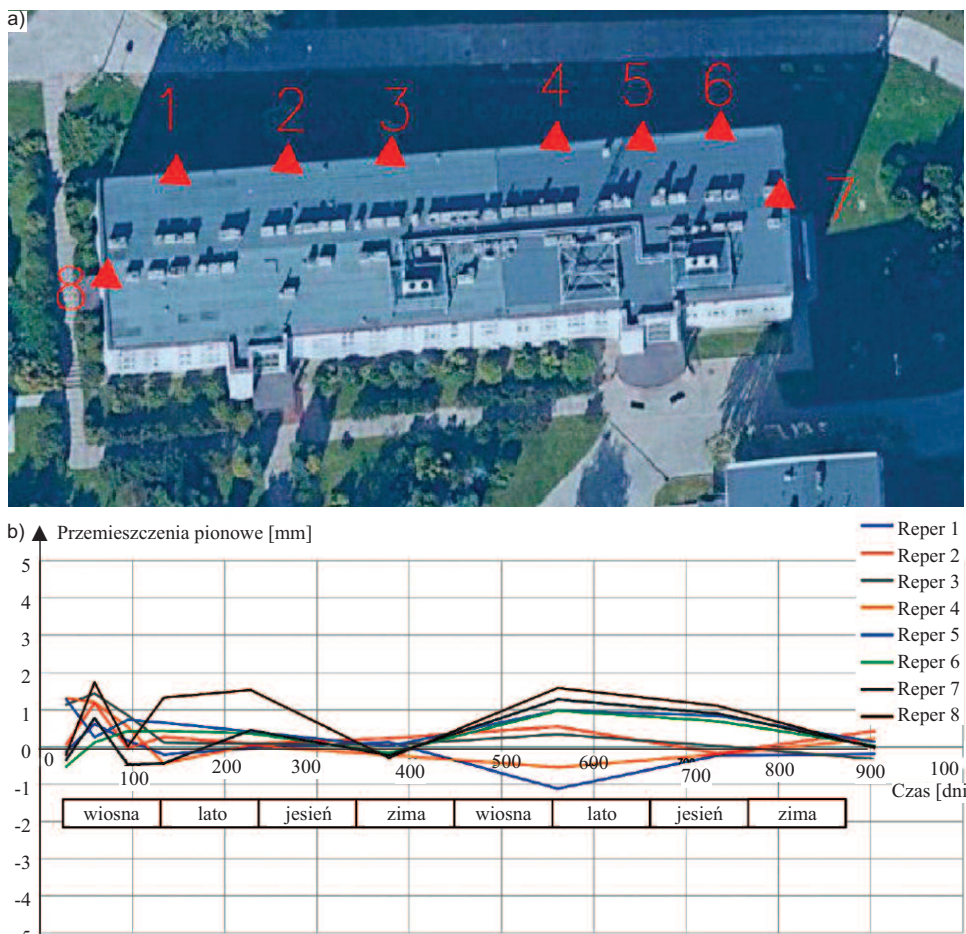
Wyniki przemieszczeń pionowych (osiadania i wypiętrzania) pokazują sezonowe, w skali roku, przemieszczenia konstrukcji. Nie wskazują one na tendencję wzrostu przemieszczeń budynku w wyniku niewłaściwego posadowienia. Przyczynę powstania uszkodzeń zdiagnozowano po analizie dokumentacji technicznej budynku, w tym projektu budowlanego. Z względu na trudne warunki gruntowe budynek posadowiono na płycie fundamentowej na dwóch głębokościach:

- pomiędzy nawą boczną od strony zachodniej (głębokość posadowienia -6,08 m) i nawą środkową (głębokość posadowienia -4,88 m) – w osi konstrukcyjnej „3”;
- pomiędzy nawą boczną od strony wschodniej (głębokość posadowienia -6,08 m) i nawą środkową (głębokość posadowienia: -4,88 m) – w osi konstrukcyjnej „12”.

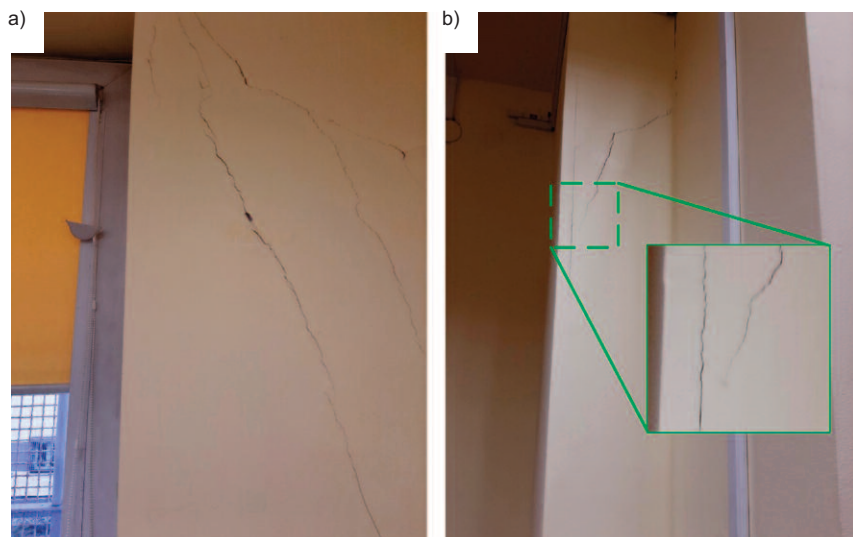
Stwierdzono, że uszkodzenia ścian wewnętrznych i zewnętrznych mają charakter przelotowy; przebiegają ukośnie i koncentrują się w miejscach osłabienia muru otworami na stolarkę okienną i drzwiową (gdyby przebiegały pionowo bądź poziomo, to mogłoby świadczyć o różnej deformacji elementów budynku wykonanych z różnych materiałów). Podkreślić należy, że w miejscach zmiany głębokości posadowienia i dylatowania fundamentu (osie „3” i „12”) nie wykonano koniecznej dylatacji konstrukcyjnej w części nadziemnej, której zadaniem byłoby zapewnienie możliwości pracy konstrukcji nośnej budynku. Wykonano natomiast na każdej kondygnacji nadziemnej dylatację w połowie nawy środkowej (w osiach „8” i „9”). Pojawia się więc tzw. **niespójność pracy konstrukcji nośnej budynku z pracą konstrukcji płyty fundamentowej**,

co powoduje występowanie spękań i rys na ścianach zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych budynku (fotografia 1).

Kolejny oceniany na terenie tego samego kompleksu zamkniętego budynek (nr 2) został wybudowany w 1948 r. z przeznaczeniem na kotłownię. Ze względu na wymiary i konstrukcję, po likwidacji kotłowni wykorzystywany był jako budynek magazynowy. W 2007 r. przystąpiono do jego adaptacji na budynek biurowo-szkoleniowy. Rozbudowa polegała na wykorzystaniu istniejącej przestrzeni parteru i piwnicy oraz dobudowaniu niezależnego traktu oraz piętra. Obecna powierzchnia zabudowy wynosi ok. 756 m². W części zachodniej budynek jest podpiwniczony (głębokość posadowienia fundamentu wynosi ok. 3,4 m p.p.t.), natomiast w części wschodniej jest niepodpiwniczony (fundament jest posadowiony na głębokości ok. 1,2 m p.p.t.).



Rys. 2. Pomiary geodezyjne przemieszczeń budynku nr 1 z naniesionymi porami roku: a) rozmieszczenie reperów pomiarowych; b) wyniki pomiarów
 Fig. 2. Geodetic measurements of the building displacements with the seasons marked: a) location of the measuring points; b) results of the measurements



Fot. 1. Przykłady uszkodzeń ścian budynku nr 1: a) zewnętrznej; b) wewnętrznej, widoczne zaznaczenie końca spękania, brak postępu uszkodzenia w ciągu dwóch lat obserwacji
Photo 1. Examples of damage to the walls of the building: a) external; b) internal, visible marking of the end of the crack, no progression of the damage over two years of observation

Ławy są z żelbetu o szerokości 90 cm i wysokości 40 cm, na podkładzie 10 cm chudego betonu. Ściany nośne dobudowanej części parteru wykonane zostały z cegły pełnej o grubości 25 cm, a ściany nośne piętra z pustaków ceramicznych o grubości 25 cm i wzmocniono je żelbetowymi słupami o przekroju 25 x 30 cm, w rozstawie co 3,0 m. Uszkodzenia budynku koncentrują się w jednym z jego narożników, tj. od strony budynku basenu krytego (fotografia 2a).

Zważywszy na występowanie lokalnego uszkodzenia, w pierwszej kolejności zdecydowano się na sprawdzenie posadowienia budynku przy uszkodzo-

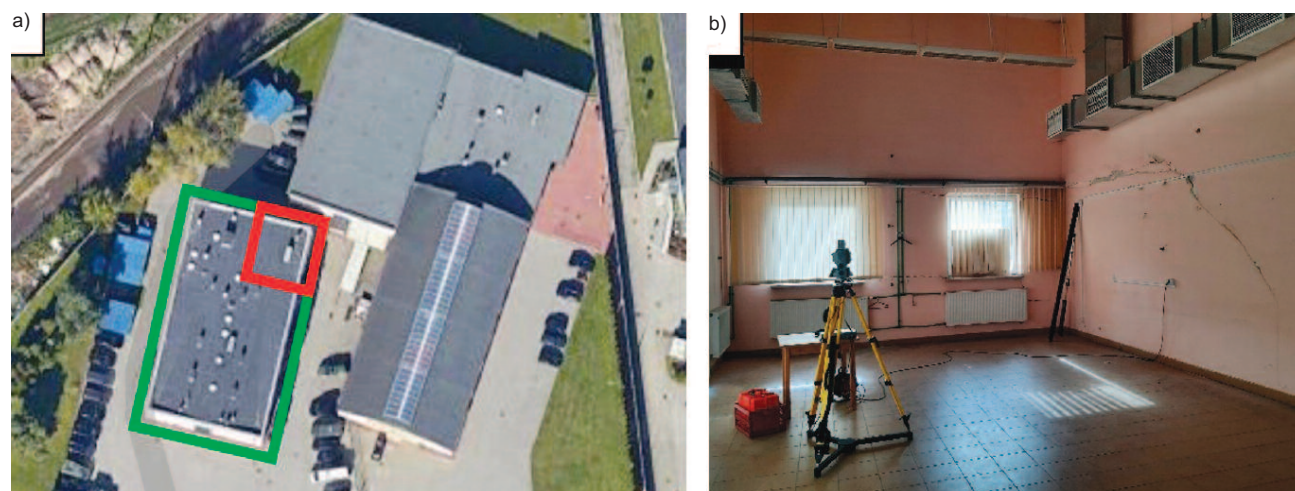
nym narożniku. W celu dokładnego określenia rodzaju i stanu gruntów w podłożu bezpośrednio pod fundamentem wykonano jego odkrywkę, a następnie otwór badawczy. Pobrano trzy próbki gruntów do badań laboratoryjnych, pierwszą (1) na głębokości 0,2 m p.p.p, drugą (2) na głębokości 1,2 m p.p.p. oraz trzecią (3) na głębokości 1,5 m p.p.p. Po wykonaniu oznaczenia zawartości części organicznych metodą wyprażenia uzyskano następujące wyniki:

- próbka (1) $I_{om} = 15,6\%$;
- próbka (2) $I_{om} = 12,3\%$;
- próbka (3) $I_{om} = 1,6\%$.

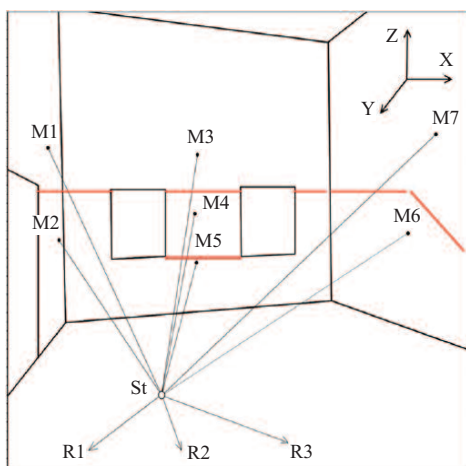
Z przeprowadzonych badań i pomiarów jednoznacznie wynika, że ława fundamentowa budynku jest z jednej strony posadowiona bezpośrednio na warstwie namułów. Nie wykonano żadnych robót polegających na poszerzeniu ławy na tym odcinku czy też na wzmocnieniu podłoża pod nią. W obszarze występowania namułów osiadanie ławy było znacznie większe od jej osiadania w pozostałej części budynku. Namuły nie nadają się do posadowienia bezpośredniego bez dodatkowych robót budowlanych, zważywszy, że moduł ich ścisłości jest wielokrotnie mniejszy od modułu ścisłości pyłów piaszczystych występujących pod pozostałą częścią ławy budynku, szczególnie że grubość warstwy namułu wynosi ok. 1,5 m.

W przypadku gruntu (3) określono jego stan i uziarnienie. Granicę płynności zbadano penetrometrem stożkowym do oznaczania granic Atterberga, natomiast uziarnienie metodą analizy areometrycznej. Badany grunt to pył piaszczysty w stanie plastycznym. Zawartość frakcji drobnych (pylastych i ilastych) wynosiła 47,2%, natomiast granica płynności 25,2% przy wilgotności naturalnej 22,5%.

W celu sprawdzenia postępu przemieszczeń uszkodzonych ścian budynku zastosowano monitoring geodezyjny z użyciem tachimetru automatycznego, widocznego na fotografii 2b. Układ pomiarowy przedstawiono na rysunku 3.



Fot. 2. Budynek nr 2: a) usytuowanie budynku z uszkodzonym narożnikiem zaznaczonym kolorem czerwonym; b) uszkodzenia widoczne wewnątrz budynku oraz ustawiony sprzęt pomiarowy
Photo 2. The building No. 2: a) the location of the building with the damaged corner marked in red; b) damage visible inside the building and measuring equipment set up



Rys. 3. Układ pomiarowy do monitoringu przemieszczeń uszkodzonych ścian budynku; kolorem czerwonym zaznaczono przebieg pęknięć

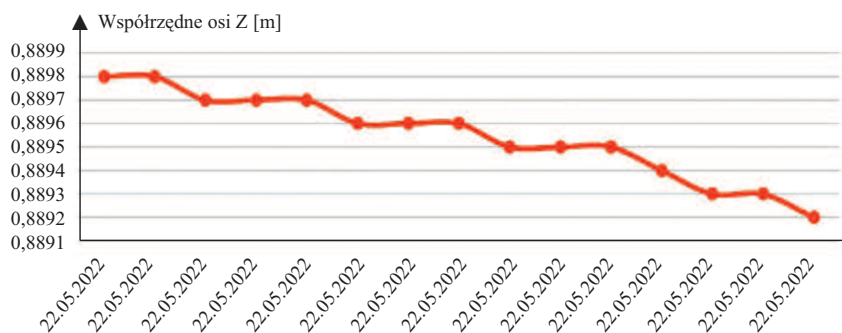
Fig. 3. Measurement system for monitoring the displacement of damaged walls of the building; the course of cracks is marked in red

Monitoring pozwolił ocenić zachowanie konstrukcji obiektu budowlanego w celu oceny zagrożenia katastrofą budowlaną. Pierwszą czynnością było określenie lokalnego układu odniesienia, który zdefiniowano na podstawie stabilnej ściany budynku, gdzie punkty odniesienia określono jako R1, R2 oraz R3, natomiast stanowisko pomiarowe jako St. Pomiar automatyczny tachimetrem, z wykorzystaniem systemu monitorującego, obejmował 10 punktów, na które składały się trzy punkty odniesienia oraz siedem punktów pomiarowych oznaczonych literą M i kolejną cyfrą. Badania prowadzono nieprzerwanie w okresie od 15 maja do 28 sierpnia 2022 r. z interwałem co pół godziny w każdym punkcie pomiarowym.

Podczas pomiarów program monitorujący na bieżąco rejestrował wszystkie wielkości kątowe i liniowe w układzie lokalnym. Dane pomiarowe zostały przeliczone do przestrzennego układu współrzędnych (XYZ) powiązanego z obiektem. Przy zastosowaniu wielokrotnych pomiarów kątowno-liniowych (3 serie pomiarowe na cykl) i autocelowania na cele, błędy otrzymanych współrzędnych nie przekraczały 0,1 mm. Sieć pomiarowa w każdym cyklu pomiarowym była opracowywana metodami ścisłymi, dającymi dużą pewność wyników. Wyniki pomiarów wykazały:

- ciągły wzrost wartości przemieszczeń o $\pm 0,2$ mm dla osi X w przypadku wszystkich przedstawionych punktów;
- wahania wartości przemieszczeń względem osi Y dla wskazanych punktów;
- osiadanie punktów M2 oraz M5 o wartość 0,7 mm;
- wypiętrzenie się punktu M7 o wartość 0,4 mm.

Na rysunku 4 przedstawiono osiadanie punktu pomiarowego M5. Widoczna jest stała tendencja osiadania uszkodzonego narożnika budynku. W przypadku tego budynku w pierwotnej ekspertyzie z 2015 r. zaproponowano dwie metody naprawcze. Pierwsza miała polegać na zastosowaniu mikropali, natomiast druga technologii iniekcji strumieniowej. W przypadku pierwszej, wykonanie „koźłów” z mikropali wymagałoby odsłonięcia fundamentu oraz jego oczepu. Takie rozwiązanie byłoby



Rys. 4. Przemieszczenie punktu M5 względem osi Z (pionowe)

Fig. 4. Displacement of point M5 relative to the Z axis (vertical)

obarczone dużym ryzykiem zawalenia konstrukcji ze względu na zły stan techniczny obiektu. Rozwiązanie w postaci iniekcji strumieniowej byłoby bardziej korzystne ze względu na możliwość wykonywania kolejnych kolumn bez odsłaniania fundamentu. Należy jednak podkreślić, że technologia ta wiąże się z wprowadzeniem dużej ilości wody (w zacinie cementowym) w podłoże gruntowe, co w początkowej fazie powoduje dodatkowe osiadanie. Przy istniejących uszkodzeniach mogłoby to doprowadzić do lokalnego zniszczenia elementów konstrukcji nośnej budynku. Ponadto w przypadku wzmacniania metodą iniekcji strumieniowej konieczne byłoby wykonanie dodatkowych, tymczasowych konstrukcji wsporczych.

Zważywszy na zużycie techniczne oraz zakres niezbędnych robót stwierdzono, że koszt budowy nowego budynku o takiej samej powierzchni użytkowej i kubaturze byłby o 9% mniejszy niż koszt robót remontowych. Ponadto w analizie ekonomicznej nie uwzględniono kosztów robót dodatkowych, które w przypadku robót remontowych mogą stanowić ok. 20% robót zasadniczych.

Podsumowanie

Przedstawiona analiza dwóch wybranych obiektów budowlanych na terenie jednego kompleksu zamkniętego wykazała, że w pierwszej kolejności **wymagane jest właściwe zdiagnozowanie przyczyn powstania nieprawidłowości**. Właściwa interpretacja danych uzyskiwanych z badań obiektu budowlanego, w tym geodezyjnych pomiarów geometrii konstrukcji, umożliwia ustalenie

rzeczywistego związku przyczynowo-skutkowego powstania uszkodzeń. Diagnoza ta w dalszej kolejności pozwala na określenie zakresu robót budowlanych oraz na dobór właściwych rozwiązań projektowych w celu naprawy uszkodzonych obiektów. Ustalenie rzeczywistych przyczyn powstania uszkodzeń, w połączeniu z aktualną oceną obiektu, umożliwia podjęcie właściwych decyzji dotyczących sposobu dalszego postępowania. Schematyczne podejście w diagnostyce obiektów budowlanych prowadzić może do nieuzasadnionego wydatkowania środków, a nawet do spowodowania katastrofy budowlanej.

Zasadniczą przyczyną powstawania uszkodzeń w pierwszym z ocenianych budynków jest błędne wykonanie dyla-

tacji konstrukcyjnych. Płyta fundamentowa dylatowana jest w miejscach zmiany głębokości posadowienia fundamentu (osie „3” i „12”), natomiast część nadziemna w środku długości budynku. Rozwiązaniem eliminującym nieprawidłowe dylatowanie byłoby wykonanie dylatacji konstrukcyjnej na każdej kondygnacji w miejscach zmiany głębokości posadowienia fundamentu (osie „3” i „12”). Takie rozwiązanie wymagałoby dodatkowo wstawienia stalowych ram w miejscach tworzenia dylatacji tak, by powstał układ „zdublowanych ram” (podobnie jak w osiach „8” i „9”). Byłoby to jednak kosztowne i obciążone ryzykiem związanym z przecinaniem elementów konstrukcyjnych. W związku z tym rekomendowanym rozwiązaniem, ze względu na brak zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji oraz bezpieczeństwa użytkownika, jest dalsza eksploatacja budynku bez wykonywania nowych dylatacji. W tym przypadku miejsca występowania pęknięć, w których wymagane jest zachowanie estetyki, można osłonić zabudową z płyt gipsowo-kartonowych.

W wypadku drugiego z ocenianych obiektów przyczynę powstawania uszkodzeń określono poprawnie, jakkolwiek ze względu na koszt realizacji naprawy oraz bezpośrednie zagrożenie katastrofą budowlaną budynek nie kwalifikował się do wykonania remontowych robót naprawczych. Obecnie, na podstawie decyzji WINB, jest całkowicie wyłączony z użytkowania.

W naszej ocenie, w celu właściwego przygotowania się do analizy stanu technicznego obiektów budowlanych, należy wykonać następujące czynności [1]:

- przeanalizować informacje zawarte w dokumentacji technicznej, w tym w protokołach wykonanych dotychczas przeglądów;

- przeprowadzić oględziny obiektu w terenie, co pomaga również w ocenie dostępności poszczególnych elementów do przewidywanych badań i pomiarów;

- opracować założenia przeglądu oraz zakres niezbędnych badań i pomiarów;

- określić sposób przeprowadzenia przeglądu z uwzględnieniem wymagań bezpieczeństwa.

Pomiary geodezyjne pozwalają na uzyskiwanie informacji dotyczących przemieszczeń i deformacji obiektów budowlanych oraz wspomagają właściwą ich diagnostykę. Informacje geoprzestrzenne uzyskiwane z pomiarów geodezyjnych umożliwiają integrację danych z różnych źródeł z uwzględnieniem danych meteorologicznych oraz geotechnicznych. W pierwszym z ocenianych budynków są wyraźnie widoczne okresowe przemieszczenia związane z porami roku, które wynikają ze zmiany poziomu wód gruntowych w poszczególnych porach roku (rysunek 2b).

W zastosowanej metodzie ciągłego pomiaru odształceń w drugim uszkodzonym budynku wykorzystane zostały trzy parametry meteorologiczne, a mianowicie temperatura, wilgotność powietrza oraz ciśnienie atmosferyczne [15]. Zostały one pomierzone wewnątrz budynku przez czujniki systemu monitorującego oraz przez stację meteorologiczną na terenie Wojskowej Akademii Technicznej. Uzyskane dane meteorologiczne oraz opracowane wartości przemieszczeń umożliwiły sprawdzenie korelacji pomiędzy tymi zmiennymi. Analiza współczynników korelacji wykazała, że temperatura ma największy wpływ na przemieszczenia, szczególnie odczyty temperatury wewnątrz budynku. Natomiast ciśnienie atmosferyczne i wilgotność powietrza okazały się parametrami meteorologicznymi, które nie wpływają w istotny sposób na uzyskane wyniki pomiarów. Wykorzystanie zautomatyzowanych systemów pomiarowych wraz z odpowiednim oprogramowaniem oraz ciągły monitoring konstrukcji to obecnie bardzo intensywnie rozwijające się metody, szczególnie w diagnostyce. Wykonane pomiary deformacji konstrukcji budynków, zarówno niwelacja precyzyjna, jak i pomiary tachimetrem pozwoliły potwierdzić przyczyny powstania uszkodzeń ocenianych obiektów

Literatura

[1] Chmielewski R, Muzolf P. Analysis of degradation process of a railway steel bridge in the fi-

nal period of its operation, *Structure and Infrastructure Engineering*. 2021, <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1956550>.

[2] Drobiec Ł. Przyczyny uszkodzeń murów. XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 7-10 marca 2007, tom 1: 105 – 147.

[3] Orłowicz R, Małysko L. Wady i usterki ścian ceramicznych. *Przegląd Budowlany*. 2002; 2: 30 – 33.

[4] Kysiak A, Koniecko M. Awaria budynku wielorodzinnego w wyniku naruszenia stanu równowagi wilgotnościowej w podłożu ilastym wskutek oddziaływania roślinności. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej*. 2018, <https://doi.org/10.17512/znb.2018.1.31>.

[5] Godlewski T, Niemyjska M. Ryzyko geotechniczne w projektowaniu i realizacji głębokich wykopów. 2018, ACTA SCIENTIARUM POLONORUM – Architectura Budownictwo. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2018.17.3.26>.

[6] Chmielewski R, Sankowski J, Sobczyk K. Wpływ niewłaściwego rozpoznania podłoża gruntowego na realizację inwestycji na terenie zamkniętym. *Materiały Budowlane*. 2023, <https://doi.org/10.15199/33.2023.02.10>.

[7] Szulborski K. Konstrukcyjne i realizacyjne przyczyny katastrofy obudowy wykopu budynku EUROPLEX w Warszawie. Konferencja Naukowo-Techniczna Urzędu Wojewódzkiego w Warszawie, 1998.

[8] Wysokiński L. Geotechniczne przyczyny katastrofy obudowy wykopu przy ulicy Chocimskiej w Warszawie. Konferencja Naukowo-Techniczna. Urzędu Wojewódzkiego w Warszawie, 1998.

[9] Obolewicz J, Baryłka A, Szota M, Rychlik A. Technical safety considerations for construction sites, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2022; <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2340>.

[10] Popielski P, Majewski T, Bednarz B, Niedostatkiwicz M. Deformacje filtracyjne i ich oddziaływanie na osiadanie podłoża na przykładzie zabytkowego obiektu sakralnego. *Materiały Budowlane*. 2022; <https://doi.org/10.15199/33.2022.10.08>.

[11] Chmielewski R, Aleksiejuk S. Analiza przyczyn awarii konstrukcji korpusów drogowych, *Biuletyn WAT*, Vol. LXV, Nr 2, 2016, <https://doi.org/10.5604/12345865.1211141>.

[12] Leandera J, Honfib D, Ivanov O & Björnsson Í. A decision support framework for fatigue assessment of steel bridges, *Engineering Failure Analysis*. 2018; <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.04.033>.

[13] Kasprowicz T, Starczyk-Kołybyk A, Wójcik R. The randomized method of estimating the net present value of construction projects efficiency, *International Journal of Construction Management*. 2022, <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2045426>.

[14] Ustawa z 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami, *Dz.U.* 2022 poz. 840.

[15] Bobek D. Waga informacji geoprzestrzennej do oceny zagrożenia w sytuacjach kryzysowych, praca dyplomowa, WAT, 2023 r.

Przyjęto do druku: 19.06.2023 r.