

DOI: <https://doi.org/10.61825/r1.2024.v501.17>**Maria Mrówczyńska***

Uniwersytet Zielonogórski

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4762-3999>e-mail: m.mrowczynska@ib.uz.zgora.pl**Sławomir Gibowski****

Uniwersytet Zielonogórski

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2358-2237>e-mail: s.gibowski@ib.uz.zgora.pl

IDENTYFIKACJA PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH OBIEKTÓW BUDOWLANYCH ZLOKALIZOWANYCH NA TERENIE MIASTA ZIELONA GÓRA

IDENTIFICATION OF VERTICAL DISPLACEMENTS OF BUILDING
STRUCTURES LOCATED IN THE CITY OF ZIELONA GÓRA

Keywords: vertical displacements, definition of geodetic datum.

The aim of this paper is to present the results of surveys and analyses of subsidence conducted on selected buildings in Zielona Góra, located at 1-3 Leopolda Staffa Street and 8 Dekoracyjna Street. Although these buildings are particularly noteworthy from a geotechnical perspective, the topic remains broad, with other significant buildings worthy of further exploration, such as the PZU building located opposite the former Dom Towarowy Centrum at Bohaterów Westerplatte Street, the A-8 building of the University of Zielona Góra, which houses the Institute of Civil Engineering, and the multi-family building at 13 ABCDE Szafrana Street,

***Maria Mrówczyńska** – profesor nauk inżynierijno-technicznych; zainteresowania naukowe: informatyka geodezyjna, pomiary przemieszczeń i odkształceń obiektów budowlanych.

****Sławomir Gibowski** – doktor nauk technicznych; zainteresowania naukowe: pomiary przemieszczeń i odkształceń obiektów budowlanych.

situated on a former landfill site. The length of this article and the desire to present the topic of vertical displacements in a clear and concise manner were the reasons for limiting the discussion to two cases.

IDENTYFIKACJA PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH OBIEKTÓW BUDOWLANYCH ZLOKALIZOWANYCH NA TERENIE MIASTA ZIELONA GÓRA

Słowa kluczowe: przemieszczenia pionowe, definicja geodezyjnego układu odniesienia.

Celem niniejszej publikacji było przedstawienie wyników badań i analiz osiadań wykonanych dla wybranych obiektów budowlanych na terenie miasta Zielona Góra, zlokalizowanych przy ulicy Leopolda Staffa 1-3 oraz przy ulicy Dekoracyjnej 8. Temat nie został wyczerpany, choć prezentowane budynki są najciekawsze z geotechnicznego punktu widzenia. Innymi obiektami wartymi szerszego omówienia są na przykład budynek PZU znajdujący się naprzeciwko byłego Domu Towarowego Centrum przy ul. Bohaterów Westerplatte, budynek A-8 Uniwersytetu Zielonogórskiego, w którym swoją siedzibę ma Instytut Budownictwa czy budynek wielorodzinny zlokalizowany przy ul. Szafrana 13 ABCDE posadowiony na byłym składowisku odpadów. Objętość artykułu oraz chęć przedstawienia tematyki przemieszczeń pionowych w sposób jasny i klarowny były powodem ograniczenia prezentowanych budynków do dwóch przypadków.

Wprowadzenie

Teren miasta Zielona Góra nie jest obszarem sejsmicznym. W związku z tym jest on wolny od zagrożeń wynikających z nieprzewidzianych ruchów tektonicznych. Warto jednak wspomnieć w tym miejscu o fakcie historycznym, który wiąże się z występowaniem na terenie miasta oraz okolicznych miejscowości, zwłaszcza gminy Świdnica, kopalni podziemnych węgla brunatnego. Zainteresowanych tym tematem autorzy odsyłają do szeregu publikacji autorstwa pani dr Agnieszki Gontaszewskiej i pana dra Andrzeja Kraińskiego. Echa tej przeszłości co jakiś czas, przypominają o swoim istnieniu w postaci nagłych zapadlisk, które mogą być przyczyną przemieszczeń obiektów budowlanych.

W niniejszej pracy autorzy skupiają się na przemieszczeniach pionowych obiektów budowlanych, z którymi zetknęli się na przestrzeni lat, zlokalizowanych na terenie miasta Zielona Góra. Główną przyczyną zaobserwo-

wanych zmian była budowa geologiczna gruntów znajdujących się pod tymi obiektami zmieniająca swoje parametry nośności pod wpływem, chociażby, stosunków wodnych.

Chcąc bliżej wprowadzić czytelnika, w opisywaną problematykę zaczniemy od zdefiniowania przemieszczeń i sposobu ich wyznaczania. Pod pojęciem *przemieszczenia* rozumiemy zmianę położenia wybranych punktów badanego obiektu w czasie. Przez pojęcie *wyznaczenie przemieszczeń* rozumiemy całościowy proces uzyskiwania wielkości i kierunków zmian położenia obserwowanych punktów, a więc prace projektowe, zakładanie stanowisk obserwacyjnych, instalowanie urządzeń pomiarowych i sygnalizacyjnych, pomiary i wreszcie – obliczanie wielkości przemieszczeń wraz z oceną ich dokładności. W praktyce proces ten bywa często nazywany *pomiarami przemieszczeń*, przy czym słowo „pomiary” przypisuje się to samo szerokie znaczenie co słowo „wyznaczanie” (Lazzarini 1977, s. 5).

Instrumenty stosowane do pomiaru przemieszczeń pionowych

Do pomiaru przemieszczeń pionowych stosujemy urządzenia zwane niwelatorami precyzyjnymi. Poniższa ilustracja (rys. 1) przedstawia dwa typy niwelatorów. Niwelator Leica NA720 jest niwelatorem technicznym przeznaczonym do pomiarów o niższej dokładności (zgodnie ze specyfikacją dokładność pomiaru na 1 km podwójnej niwelacji to 2,5 mm, a dla pojedynczego pomiaru i celowej 30 m – dokładność pomiaru to 1,5 mm), natomiast niwelator Leica DNA03 jest niwelatorem precyzyjnym stosowanym w pomiarach przemieszczeń pionowych o wyższej dokładności (0,3 mm/1km). Każdym z tych niwelatorów wykonujemy pomiar różnicy wysokości między dwoma punktami.



Rysunek 1. Niwelator techniczny Leica NA720 oraz niwelator precyzyjny Leica DNA03.

Źródło: opracowanie własne.

Zasadnicza różnica między tymi niwelatorami jest więc związana z parametrem, który nazywamy dokładnością, a dokładniej odchyleniem standardowym na kilometr podwójnej niwelacji. Dla prezentowanego niwelatora technicznego odchylenie to wynosi 2,5 mm/km, natomiast dla prezentowanego niwelatora precyzyjnego parametr ten wynosi 0,3 mm/km, czyli jest wielokrotnie mniejszy (ok. 9 razy mniejsze). Wysoka dokładność niwelatora precyzyjnego oprócz uwarunkowań konstrukcyjnych wynika także z zastosowania innych łąt niwelacyjnych, czyli przyrządów z naniesionym podziałem, z których pozyskujemy podczas pomiarów różnicy wysokości odczyty, na podstawie których obliczamy różnicę wysokości. Na rys. 2 przedstawiono przykład łąt dla niwelatora technicznego i precyzyjnego. W przypadku łąty dla niwelatora technicznego jest ona wykonana z aluminium, a nominalna wartość podziału wynosi 1 cm. W praktyce jesteśmy w stanie oszacować odczyt z takiej łąty z dokładnością ± 1 mm. Łata niwelatora precyzyjnego w swojej centralnej części jest wyposażona w pas taśmy inwarowej, czyli materiału odznaczającego się bardzo małym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej. Na pasku inwaru naniesiony jest kod kreskowy, a odczyt z tej łąty jest realizowany przez kamerę wbudowaną w niwelator precyzyjny. Dokładność tego odczytu wynosi $\pm 0,10$ mm.



Rysunek 2. Łaty niwelacyjne – aluminiowa po lewej, inwarowa po prawej.

Źródło: opracowanie własne.

Teoretyczne podstawy wyznaczania przemieszczeń pionowych z przykładami opracowania wyników pomiarów

W celu identyfikacji wartości przemieszczeń badanego obiektu należy na nim dokonać stabilizacji punktów sieci pomiarowo-kontrolnej tzw. reperów. Przykład stabilizacji takiego punktu (reperu) przedstawiono na rys. 3.



Rysunek 3. Przykład stabilizacji punktu sieci pomiarowo kontrolnej.
Źródło: opracowanie własne.

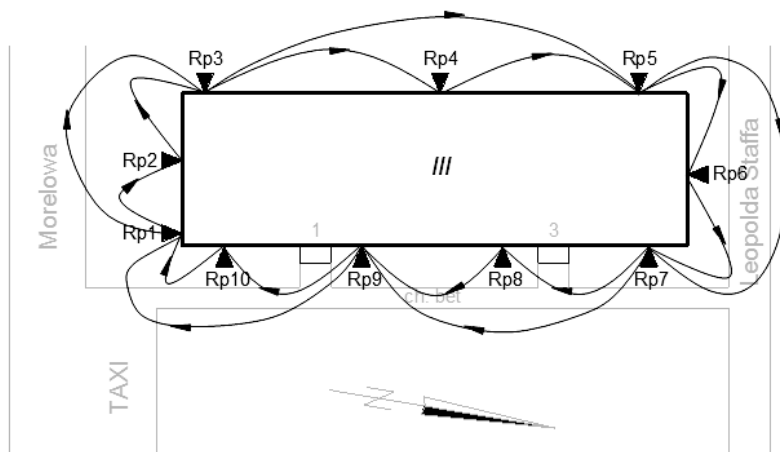
Natomiast, na rys. 4 przedstawiono schemat rozmieszczenia punktów sieci pomiarowo-kontrolnej na budynku zlokalizowanym przy ul. Leopolda Staffa w Zielonej Górze. Liczba i rozmieszczenie punktów sieci są poddyktowane zaobserwowanymi zmianami na ścianach budynku. Z reguły pierwszymi oznakami świadczącymi o możliwości wystąpienia zjawiska przemieszczeń pionowych są rysy pojawiające się na ścianach budynków, które w alszym procesie osiania potrafią zamienić się w szczeliny. Punkty sieci pomiarowo-kontrolnej stabilizuje się między rysami tak, by móc w stanie zaobserwować przemieszczenia w poszczególnych częściach budynku objętych tym zjawiskiem.

W następnej kolejności sieć zostaje poddana obserwacjom okresowym zgodnie z przyjętym schematem, którego przykład dla jednego z obserwowanych budynków przedstawiono również na rys. 4. Elementami mierzonymi są różnice wysokości między punktami sieci, które są podstawą do określenia zbioru punktów układu odniesienia tzw. punktów wzajemnie stałych. Zanim jednak dokonamy identyfikacji punktów układu odniesienia, należy zbiór obserwacji poddać analizie pod kątem eliminacji obserwacji odstających, czyli obarczonych dużym błędem pomiarowym. W tym celu zbiór obserwacji róż-

nic wysokości poddaje się wyrównaniu metodą najmniejszych kwadratów przy minimalnych ograniczeniach stopnia swobody, co sprowadza się do założenia stałości jednego punktu i sprawdzeniu stosunku poprawki ($v_{\Delta h}$) do jej błędu ($m_{v_{\Delta h}}$) (wzór 1):

$$\frac{v_{\Delta h}}{m_{v_{\Delta h}}} \leq 2 \quad (1)$$

Obserwacja, która jest odstająca, podlega eliminacji. W przypadku większej liczby obserwacji odstających eliminujemy je pojedynczo, począwszy od największej. Po jej eliminacji wykonujemy ponowne wyrównanie sprawdzające w celu określenia wpływu na pozostałe obserwacje, jaki miała eliminacja obserwacji najbardziej obciążonej błędem pomiaru. Procedurę eliminacji obserwacji przeprowadzamy do momentu, w którym po kolejnym wyrównaniu otrzymamy nieobciążony błędami układ obserwacyjny i dopiero taki układ poddajemy procedurze identyfikacji układu odniesienia. Z reguły, jeżeli pomiary są poprawnie wykonane, z należytą starannością, to obserwacje odstające nie występują lub są to pojedyncze obserwacje. Przystępując do definicji układu odniesienia, należy mieć na względzie fakt, że układy obserwacyjne pomiarów wyjściowego i kontrolnego muszą być pod względem struktury jednorodne.



Rysunek 4. Sieć pomiarowo-kontrolna ze schematem obserwacyjnym, ul. Leopolda Staffa 1-3.

Źródło: Marek Janowski (2013, s. 14).

Określenie geometrycznego modelu przemieszczeń, na podstawie którego można wnioskować na temat nierównomiernych osiadań obiektów bu-

dowlanych, polega na identyfikacji punktów wzajemnie stałych, na których definiowany jest układ odniesienia, a następnie wyznaczenia wartości przemieszczeń pionowych dla wszystkich punktów kontrolowanych (Prószyński, Kwaśniak 2006). Punkty układu odniesienia identyfikuje się na podstawie algorytmu, złożonego z dwóch etapów. Etap pierwszy jako etap wstępny definiowania układu odniesienia polega na minimalizacji funkcji celu w postaci sumy odchyleń bezwzględnych, przy założeniu, że istnieją dwa n -elementowe zbiory punktów w przestrzeni R^1 : $\{S^1\}$ i $\{S^2\}$, które są zbiorami rzutów punktów fizycznych badanych obiektów (O^1) i (O^2) na oś liczbową (Gil 1995). Punkty obu zbiorów mają określone wysokości $h_i^{(1)}$ i $h_i^{(2)}$ uzyskane na podstawie wyrównania obserwacji przy minimalnych ograniczeniach stopni swobody (Adamczewski 1971). Jeżeli oznaczymy odległości między odpowiednimi punktami obu zbiorów przez (wzór 2) (Adamczewski 1979):

$$h_i = d(S^1, S^2) = |S^2 - S^1| \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

wówczas poszukujemy wzajemnego położenia badanych obiektów (O^1) i (O^2), dla którego spełniony jest warunek (wzór 3):

$$F(y) = \min_{x \in A} \sum_{i=1}^n |h_i - x|. \quad (3)$$

W celu wyeliminowania punktów, które nie zachowują wzajemnej stałości, należy sprawdzić metodą iteracyjną czy spełniona jest zależność (wzór 4):

$$w_i = |h' - h''| \leq m_0 1,4 \sqrt{n' + n''} \quad (4)$$

gdzie:

$w_i = |h' - h''|$, ($i = 1, 2, \dots, n$) różnica pomiędzy wysokościami punktu w pomiarze wyjściowym i aktualnym,

m_0 – błąd średni pojedynczego pomiaru, zaś n' i n'' oznaczają liczbę stanowisk niwelatora w pomiarze wyjściowym i aktualnym.

Zależność (wzór 4) jest sprawdzana z uwzględnieniem najkrótszej drogi, a punkty, które ją spełniają, tworzą wstępnie zidentyfikowany układ odniesienia.

W etapie drugim następuje ostateczna definicja układu odniesienia, która odbywa się na podstawie badania reakcji układu obserwacyjnego w postaci przyrostu kwadratu normy wektora poprawek. W tym celu dokonujemy uszeregowania zmian bezwzględnych różnic wysokości w_i ($i = 1, 2, \dots, n$), a następnie wykonujemy kolejne wyrównania obserwacji przy założeniu stałości wzrastającej liczby punktów stałych. Wzrost ograniczeń stopni swobody wywoła wzrost sumy kwadratów poprawek od wartości minimalnej E_0

(wyrównanie przy minimalnych ograniczeniach stopni swobody) do wartości E_{\max} . Dla dowolnego skupienia punktów stałych o liczebności k , wartość krytyczną przyrostu normy wektora poprawek $\Delta E_k = E_k - E_0$ uzyskamy na podstawie wzoru (5) (Gil 1995):

$$\Delta E_k = -2 \left(m_0^2 + \frac{m_0^2}{2r} \right) \ln \left(1 - 0,95^{\frac{1}{k}} \right) \quad (5)$$

gdzie:

m_0 – błąd średni pojedynczej obserwacji z wyrównania przy minimalnych ograniczeniach stopni swobody,
 r – liczba spostrzeżeń nadliczbowych.

W tym miejscu należy się czytelnikowi pewne wyjaśnienia w zakresie układów odniesienia i ich definicji. Układy odniesienia można podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne. Zewnętrzne opierają się na punktach znajdujących się poza samym obiektem i poza strefą jego oddziaływania. Wtedy sieć założoną na budynku należy do tych punktów dowiązać, wykonując kolejne pomiary różnic wysokości do punktów układu zewnętrznego. W pomiarach okresowych, oprócz pomiaru różnic wysokości między punktami zlokalizowanymi na obiekcie, bada się wtedy stabilność układu zewnętrznego poprzez pomiar różnic wysokości między punktami tego układu i oczywiście za każdym razem dowiązujemy pomiarami ten układ do sieci na budynku. Przy tak zastosowanym podejściu po opracowaniu wyników pomiarów uzyskane przemieszczenia są wartościami bezwzględnyymi, co przy osiadaniu budynku objawia się tym, że wartości przemieszczeń są ujemne.

Wewnętrzny układ odniesienia bazuje na punktach sieci zlokalizowanych na obiekcie. W wyniku procedury identyfikacji punktów układu odniesienia szukamy grupy punktów, która w poszczególnych interwałach czasu zachowuje względem siebie stałość. Określone wartości przemieszczeń przy tak zdefiniowanym układzie odniesienia są przemieszczeniami względnymi i obrazują stan nierównomiernych przemieszczeń badanego obiektu. Nierównomierność ta może objawiać się tym, że wartości przemieszczeń będą zarówno ujemne, ale mogą być też dodatnie. Przy dużych obiektach może dochodzić do sytuacji, w których na obiekcie można zdefiniować kilka grup punktów o stwierdzonej wzajemnej stałości.

Procedura definicji układu odniesienia jest niezwykle istotna i należy podczas niej postępować niezwykle świadomie, ponieważ możemy tutaj popełnić dwa błędy. *Błąd pierwszego rodzaju*, który sprowadza się do niezaliczenia do grupy punktów układu odniesienia punktu, który jest punktem stałym. *Błąd drugiego rodzaju* sprowadza się do zaliczenia do zbioru punktów układu odniesienia punktu ruchomego. Możliwe jest również jednocze-

sne wystąpienie obu rodzajów błędu, tj. gdy baza znaleziona nie zawiera jakiegos punktu czy punktów należących do bazy rzeczywistej i jednocześnie zawiera jakiś punkt, czy punkty do bazy rzeczywistej nienależące (Prószyński, Kwaśniak 2006).

Stosując opisaną procedurę identyfikacji zbioru punktów układu odniesienia dla przykładowego obiektu przedstawionego na rys. 4, zbiór ten został określony dla punktów o numerach Rp4, Rp5, Rp6, Rp7, Rp8, aczkolwiek należy zaznaczyć, że nie w każdym czasookresie zbiór ten był jednorodny.

Przy zdefiniowanym układzie odniesienia możemy dopiero dokonać obliczenia wartości przemieszczeń. Obliczenie jest realizowane metodą najmniejszych kwadratów, ale może być wykonane w dwóch wariantach. Pierwszy wariant to założenie bezwzględnej stałości punktów układu odniesienia. Przy takim wariancie przemieszczenia punktów układu odniesienia są zerowe, co nie jest do końca zgodne z rzeczywistością, ponieważ należy przyjąć założenia, że wszystko w otaczającej nas rzeczywistości jest w pewnym ruchu – punkty układu odniesienia również. Ta sugestia doprowadza nas do drugiego wariantu, którym jest wyrównanie z warunkiem na układ odniesienia. Ten wariant zakłada ruch punktów układu odniesienia, ale z założeniem, że ruch tych punktów jest niewielki.

Wariant drugi został zastosowany do obliczenia przemieszczeń przedmiotowego budynku, a wyniki tych obliczeń przedstawiono w tabeli 1.

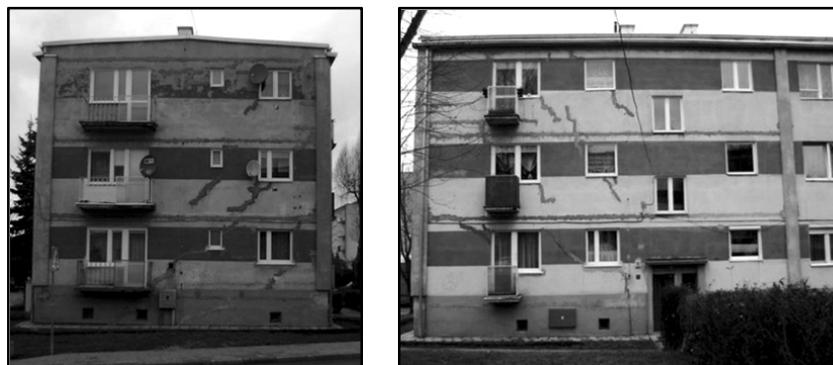
Tabela 1

Zestawienie wartości przemieszczeń dla budynku przy ul. Leopolda Staffa 1-3

Nr pkt	06-07.2006 [mm]	06-08.2006 [mm]	06.2006- 11.2007 [mm]	06.2006- 12.2007 [mm]	06.2006- 01.2008 [mm]	06.2006- 02.2008 [mm]	06.2006- 07.2008 [mm]
1	-2,79	-10,25	-13,59	-13,34	-13,19	-12,94	-8,88
2	-1,52	-3,35	-4,92	-4,71	4,68	-4,43	-2,26
3	-0,71	-1,12	-1,02	-1,03	-0,90	-0,92	-0,28
4	0,01	-0,14	-0,10	-0,329	-0,26	-0,60	0,03
5	-0,06	-0,06	-0,14	-0,32	-0,28	-0,25	-0,01
6	0,03	0,12	-0,13	0,14	-0,01	-0,06	-0,06
7	0,00	0,06	0,14	0,08	0,15	0,07	0,02
8	0,02	0,02	0,12	0,10	0,14	0,25	0,09
9	-0,31	-0,55	-0,65	-0,38	-0,46	-0,20	-0,01
10	-1,51	-5,59	-7,41	-7,15	-7,09	-6,76	-4,17

Źródło: opracowanie własne.

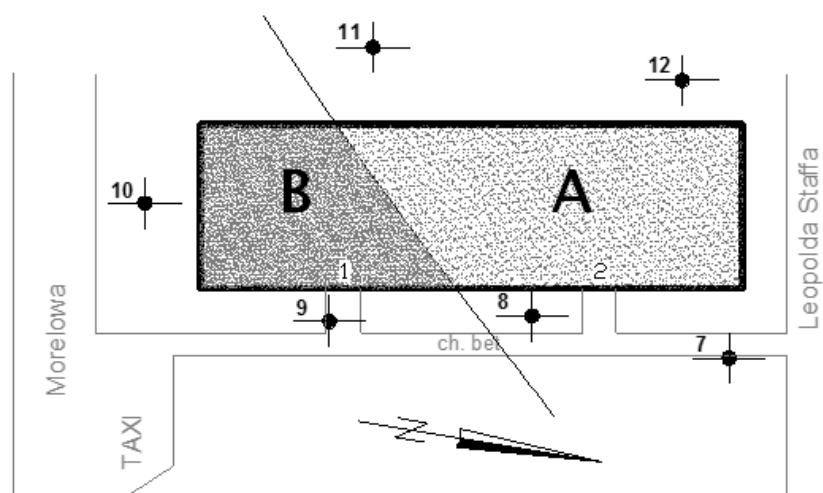
Rys. 5 przedstawia przedmiotowy budynek z widocznymi, już wypełnionymi spękaniem na elewacji południowej i wschodniej.



Rysunek 5. Widok elewacji południowej i wschodniej budynku przy ul. Leopolda Staffa 1-3.

Źródło: Marek Janowski (2013, s. 8 i 9).

Istnieje tutaj wyraźna korelacja pomiędzy uzyskanymi wynikami przemieszczeń, uszkodzeniami a budową geologiczną przedstawioną na rys. 6.

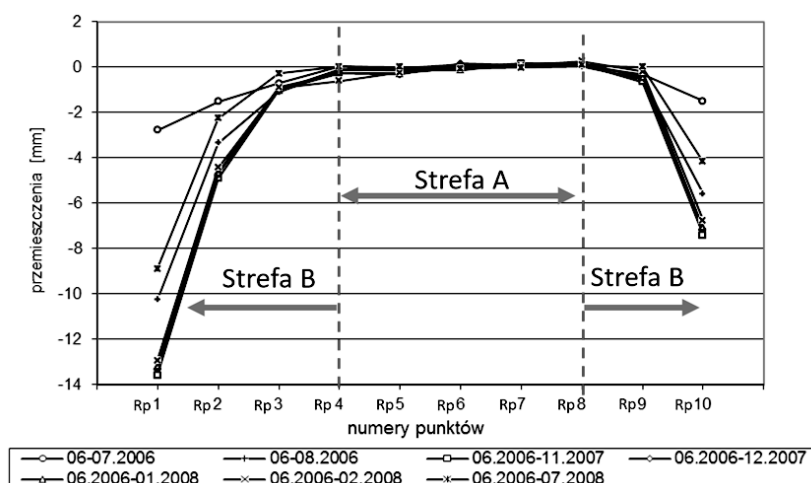


Rysunek 6. Rozmieszczenie odwiertów geologicznych (punkty 7, 8, 9, 10, 11, 12) i podział na strefy gruntów (1- strefa B oraz 2 – strefa A) pod budynkiem przy ul. Leopolda Staffa 1-3.

Źródło: Marek Janowski (2013, s. 60).

Największe przemieszczenia zostały zaobserwowane na punktach o numerach Rp1, Rp2, Rp3, Rp9, Rp10. Punkty te zlokalizowane są w części

„B” budynku znajdującej się na gruntach spoistych stanowiących barierę dla przepływu wód opadowych i roztopowych. Są to głównie trzeciorzędowe ły i ły pylaste. Natomiast, układ odniesienia został zdefiniowany dla punktów pomiarowo-kontrolnych Rp4, Rp5, Rp6, Rp7, Rp8 zlokalizowanych na części „A” budynku, położonej na czwartorzędowych piaskach ze żwirem o bardzo zmiennym uziarnieniu oraz zastoiskowych pyłach i piaskach gliniastych, czyli gruntach charakteryzujących się dobrą wodoprzepuszczalnością. Wartości przemieszczeń w poszczególnych strefach zmiennego zasięgu różnego rodzaju gruntów zostały przedstawione na rys. 7.



Rysunek 7. Wykres przemieszczeń punktów sieci pomiarowo-kontrolnej na budynku przy ul. Leopolda Staffa 1-3.
Źródło: opracowanie własne.

Wnikliwy obserwator mógłby zadać pytanie, czy wnioski zawarte w powyższej treści nie są przypadkiem mylne z uwagi na fakt, że teren przy ul. Leopolda Staffa jest gęsto zabudowany, a przemieszczenia dotyczą jednego budynku. Odpowiadając na tak postawione pytanie, informujemy, że w tamtym obszarze zajmowaliśmy się pomiarami przemieszczeń czterech równoległych do siebie budynków, łącznie z prezentowanym w artykule obiektem.

Kolejnym z ciekawych przypadków pod względem zaobserwowanych przemieszczeń był budynek zlokalizowany przy ul. Dekoracyjnej 8. Przedmiotowy obiekt ma cztery kondygnacje i jest podpiwniczony. Kondygnacje nadziemne to parter, pierwsze i drugie piętro (rys. 8). Obiekt jest przeznac-

czony na cele administracyjno-biurowe. Zasadniczy czas budowy przypadł na lata 1988-1998, jednak do roku 2004 nadal były prowadzone prace budowlane. Mimo że budowa budynku nie przypadła na odległe lata, to dokumentacja budowlana nie zachowała się. Obecnie istnieją inwentaryzacje (2008) i opinie techniczne.

Przyziemie budynku (I kondygnację) przeznaczono na cele techniczne, związane z telefonią przewodową, na II (parterze), III i IV kondygnacji (pierwszym i drugim piętrze) znajdują się pomieszczenia biurowe. W części środkowej budynku znajdują się klatka schodowa, hol i pomieszczenia sanitarne.



Rysunek 8. Elewacja zachodnia budynku przy ul. Leopolda Staffa 1-3.

Źródło: opracowanie własne.

Na ścianach wewnętrznych i zewnętrznych budynku pojawiły się zarysowania i pęknięcia. Czas pojawienia się zarysowań budynku nie jest znany. Pierwsze opracowanie dotyczące stanu technicznego tego budynku wykonano w 2004 roku, a następne w 2006 roku. Szczególne natężenie rys i pęknięć zaobserwowano w ścianach poprzecznych holu na drugim i pierwszym piętrze oraz w ścianach szczytowych: północnej i południowej i ich sąsiedztwie. W miejscach szczególnie niepokojących rys i pęknięć założono dziesięć kredowych opasek kontrolnych. Opaski zostały założone w czerwcu 2006 roku.

Po dwóch tygodniach stwierdzono pęknięcie dwóch opasek. Na początku sierpnia 2006 roku pękły kolejne trzy opaski. W miejsca pękniętych kontrollek naklejono nowe.

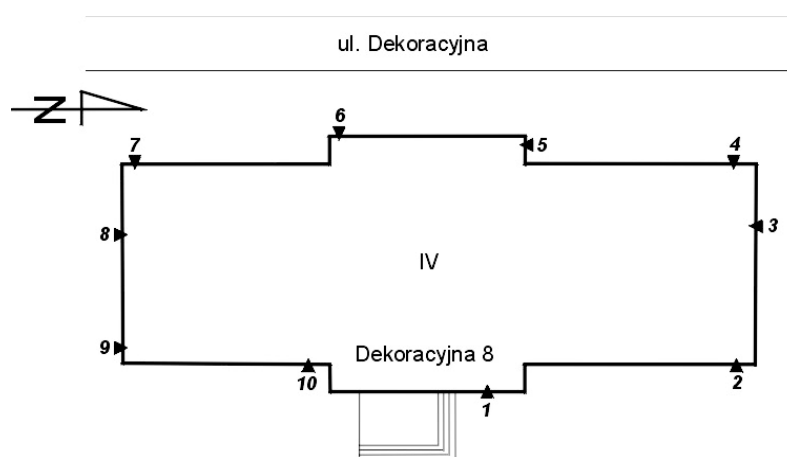
Zastosowane plomby kredowe były wykonane z materiału kruchego o niewielkich odkształceniach sprężystych i plastycznych. Cecha ta sprawia, że niewielka zmiana rozwarcia rysy (w zakresie poniżej 0,1 mm) powoduje natychmiastowe pęknięcie opaski lub gipsu użytego do mocowania opaski. Informację, jaką otrzymuje ekspert to ta, że „rysa zmieniła swoją rozwarłość”. Często się również zdarza, że gips pęka jeszcze w fazie wiązania na skutek odkształceń termiczno-skurczowych. Niestety, brak jest informacji na temat kierunku zmiany (rozwarcie czy zwarcie) oraz jej wartości.

Szerokość rozwarcia rys nienaruszonych opasek (kredowych plomb kontrolnych) wahała się w granicach od 0,40 do 1,10 mm. Liczne zarysowania i pęknięcia ścian występowały w szczególności na drugim piętrze budynku. Były to te same pęknięcia, które zostały opisane w ekspertyzie z 2006 roku. Innych, znaczących pęknięć wewnątrz budynku (na niższych kondygnacjach) nie zaobserwowano.

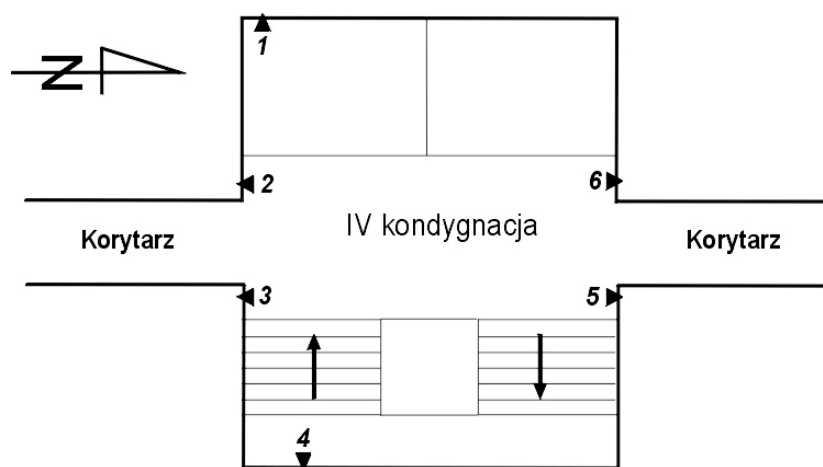
Głównym celem przeprowadzonych badań dla budynku przy ul. Dekoracyjnej 8 było oszacowanie wartości nierównomiernych osiadań na podstawie zidentyfikowanych przemieszczeń punktów kontrolowanych. Próba rozpoznania dynamiki zjawiska nierównomiernych osiadań obiektu budowlanego została wykonana na podstawie wyników pomiarów sieci pomiarowo-kontrolnej założonej na zewnątrz oraz wewnątrz budynku, na ścianach, którego zauważono rysy i spękania. Szkic sieci zewnętrznej złożonej z 10 punktów kontrolowanych został przedstawiony na rys. 9, natomiast sieć wewnętrzna składająca się z 6 punktów została przedstawiona na rys. 10.

Pierwsza seria pomiarowa, z zastosowaniem metody niwelacji precyzyjnej, w postaci pięciu pomiarów okresowych, była przeprowadzona w okresie 06.2006-04.2007. W kolejnych latach nastąpiła przerwa w kontynuowaniu pomiarów, aż do roku 2014, w którym ponownie wykonano pomiar okresowy. Wszystkie pomiary i obliczenia zostały odniesione do pomiaru zerowego wykonanego w czerwcu 2006 roku. Wyznaczone przemieszczenia punktów pomiarowych mają charakter względny i wystarczająco jednoznacznie informują na temat stateczności budynku (Mrówczyńska i in. 2018).

Uzyskane wartości przemieszczeń dla sieci zewnętrznej przedstawiono w tabeli 2 i zobrazowano na rys. 11.



Rysunek 9. Szkic sieci pomiarowo-kontrolnej założonej na zewnątrz budynku ul. Dekoracyjnej 8.
Źródło: opracowanie własne.



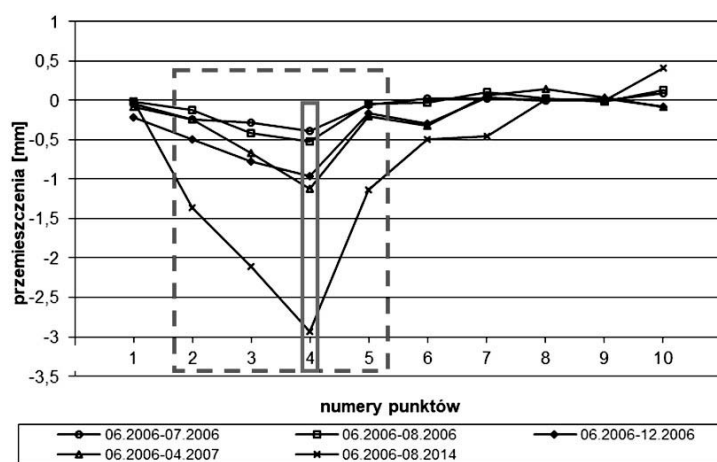
Rysunek 10. Szkic sieci pomiarowo-kontrolnej założonej wewnątrz na kondygnacji IV w budynku przy ul. Dekoracyjnej 8.
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2

Zestawienie wartości przemieszczeń dla sieci zewnętrznej dla budynku przy ul. Dekoracyjnej 8

Nr pkt	Przemieszczenia punktów sieci zewnętrznej				
	06.2006-07.2006	06.2006-08.2006	06.2006-12.2006	06.2006-04.2007	06.2006-08.2014
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	-0,05	-0,02	-0,22	-0,09	-0,01
2	-0,24	-0,13	-0,50	-0,24	-1,36
3	-0,29	-0,42	-0,78	-0,67	-2,11
4	-0,39	-0,52	-0,96	-1,12	-2,93
5	-0,06	-0,05	-0,17	-0,20	-1,13
6	0,02	-0,03	-0,30	-0,33	-0,49
7	0,02	0,10	0,04	0,06	-0,46
8	-0,01	0,02	0,00	0,14	0,01
9	-0,01	-0,02	0,02	0,03	0,00
10	0,09	0,13	-0,09	-0,09	0,41

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 11. Wykres przemieszczeń punktów sieci zewnętrznej pomiarowo-kontrolnej w okresie 06.2006-08.2014 dla budynku przy ul. Dekoracyjnej 8.

Źródło: opracowanie własne.

Dysponując wartościami przemieszczeń punktów sieci pomiarowo-kontrolnej zewnętrznej zlokalizowanej w obrębie fundamentów, możemy zauważyć, że przyjmują one wartości w zakresie od 0,01 mm do -2,93 mm. Największych przemieszczeń (-2,93 mm) doznał punkt 4 zlokalizowany na jednym z narożników budynku od strony północno-zachodniej. Warto podkreślić, że w kampanii pomiarowej (06.2006-04.2007) punkt 4 również charakteryzował się największymi wartościami przemieszczeń. Istotne przemieszczenia zostały zaobserwowane również na punktach 2 i 3 zlokalizowanych na północnej ścianie budynku oraz na punkcie 5 zlokalizowanym na ścianie od strony zachodniej. Przemieszczenie na tych punktach wynoszą odpowiednio -1,36 mm, -2,11 mm oraz -1,13 mm. Uzyskane wartości przemieszczeń dla sieci wewnętrznej przedstawiono w tabeli 3 i zobrazowano na rys. 12.

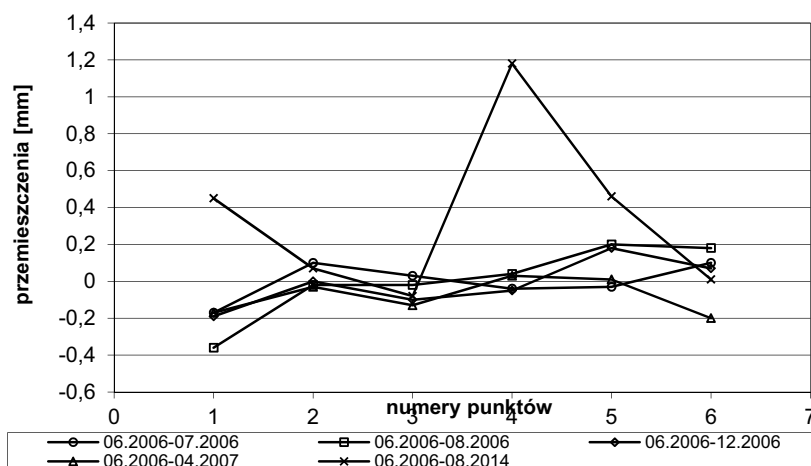
Tabela 3

Zestawienie wartości przemieszczeń dla sieci wewnętrznej dla budynku przy ul. Dekoracyjnej 8

Nr pkt	Przemieszczenia punktów sieci wewnętrznej				
	06.2006-07.2006 [mm]	06.2006-08.2006 [mm]	06.2006-12.2006 [mm]	06.2006-04.2007 [mm]	06.2006-08.2014 [mm]
1	-0,17	-0,36	-0,19	-0,17	0,45
2	0,10	-0,02	0,00	-0,03	0,07
3	0,03	-0,02	-0,10	-0,13	-0,08
4	-0,04	0,04	-0,05	0,03	1,18
5	-0,03	0,20	0,18	0,01	0,46
6	0,10	0,18	0,07	-0,20	0,01

Źródło: opracowanie własne.

Przemieszczenia punktów sieci geodezyjnej zlokalizowanej wewnątrz budynku przyjmują wartości w zakresie od 0,01 mm do 1,18 mm. Największych przemieszczeń doznał punkt 4 zlokalizowany na klatce schodowej na wschodniej ścianie budynku i w porównaniu z pomiarem wyjściowym (czerwiec 2006) nastąpił wzrost przemieszczeń o 1,22 mm. Na pozostałych punktach sieci wewnętrznej wartości przemieszczeń zawierają się w granicach dokładności wykonywanych pomiarów i nie wykazują większych zmian w porównaniu z pomiarem wyjściowym.



Rysunek 12. Wykres przemieszczeń punktów sieci wewnętrznej pomiarowo-kontrolnej w okresie 06.2006-08.2014 dla budynku przy ul. Dekoracyjnej 8.

Źródło: opracowanie własne.

Analiza danych pomiarowych oraz zastosowanych obliczeń pozwala na stwierdzenie, że w interwale czasu 2006-2014 prowadzonych badań nierównomierne osiadania zawierają się w przedziale od 0,01 do -2,93 mm (sieć zewnętrzna) oraz od 0,01 do 1,18 mm (sieć wewnętrzna). Ponieważ przerwa w wykonywaniu pomiarów trwała siedem lat nie można stwierdzić, czy uzyskane wartości przemieszczeń dla ostatniego pomiaru są wartościami maksymalnymi oraz, czy zaobserwowane zmiany mają charakter ciągły, czy wystąpiły w sposób skokowy. Nie można przy tym wykluczyć dalszego wzrostu nierównomiernych osiadań, zależnego od wielu czynników o charakterze losowym.

Konkluzje

W przypadku obiektów budowlanych narażonych na nierównomierne osiadania ważne jest, aby pomiary osiadań były kontynuowane i wykonywane cyklicznie, w równych odstępach czasu. Nadmierne i niekontrolowane osiadania obiektów prowadzą do pęknięć, przechyłów i mogą stanowić duże zagrożenie dla konstrukcji.

Prowadzony z wykorzystaniem metod geodezyjny monitoring obiektów budowlanych może być pomocny nie tylko we wdrażaniu odpowiednich środków zaradczych oraz przy podejmowaniu decyzji o konieczności przeprowadzenia prac zabezpieczających, ale także umożliwi w pełni kontrolowanie przeprowadzonych działań naprawczych (Mrówczyńska i in. 2018).

Literatura | References

- ADAMCZEWSKI Z. (1971), Nieliniowa analiza dokładności sieci geodezyjnej, *Geodezja i Kartografia*, t. XX, z.3, Warszawa.
- ADAMCZEWSKI Z. (1979), Algorytm numerycznej kontroli przylegania obiektów, *Geodezja i Kartografia*, t. XXVII, z.3, Warszawa.
- GIL J. (1995), Badanie nieliniowego geodezyjnego modelu kinematycznego przemieszczeń, seria: monografie nr 76, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze.
- JANOWSKI M. (2013), Pomiar i analiza stanu przemieszczeń pionowych budynku wielorodzinnego zlokalizowanego przy ul. Staffa w Zielonej Górze, Praca dyplomowa inżynierska.
- LAZZARINI T. ORAZ ZESPÓŁ WSPÓŁAUTORÓW (1977), *Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia*, PPWK, Warszawa.
- MRÓWCZYŃSKA M., GROCHOWSKA E., GIBOWSKI S. (2018) Monitoring vertical displacements of an engineering object with masonry walls, „*Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*”, 35(65), s. 53-62.
- PRÓSZYŃSKI W., KWAŚNIAK B. (2006), *Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.