

Przykład oddziaływania procesów geodynamicznych na stan konstrukcji budynku.

Cz. 2. Model pomiarowy i obliczeniowy do analizy deformacji

LUCYNA FLORKOWSKA, IZABELA BRYT-NITARSKA, JERZY CYGAN, AGNIESZKA MAJ

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

RAFAŁ GAWAŁKIEWICZ

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Ochrony Terenów Górniczych,
Geoinformatyki i Geodezji Górniczej, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych według własnej procedury analitycznej wykorzystującej model pomiarowy i obliczeniowy do oceny deformacji elementów konstrukcji. Obserwacji in situ podlegał obiekt kubaturowy o funkcji publicznej w konstrukcji, którego występowały silne uszkodzenia wskutek aktywacji ruchu osuwiskowego podłoża. Dla obiektu opracowano geodezyjny model pomiarowy, który tworzą siatka przestrzenna punktów geodezyjnych oraz zbiór liniowych baz obserwacyjnych wykorzystanych do pomiarów tensometrycznych.

Na podstawie cyklicznych pomiarów zagęszczonej siatki punktów geodezyjnych uzyskano bazę danych o położeniu punktów w przestrzeni w trzech kolejnych pomiarach. Na tej podstawie po geometrycznej transformacji pomierzonych współrzędnych punktów do lokalnego układu kartezjańskiego, obliczono odkształcenia liniowe i odkształcenia kątowe w płaszczyznach ścian najbardziej wyężonego naroża budynku.

W dalszej kolejności opracowano program rysujący mapy odkształceń liniowych i kątowych, ujawnionych w kolejnych cyklach pomiarowych na powierzchni ścian objętych obserwacją.

Przedmiot badań, w sposób bezpośredni odnosi się do ustawowego wymogu przeciwdziałania skutkom ruchów masowych ziemi.

Słowa kluczowe: modele pomiarowe, monitoring konstrukcji, zjawiska osuwiskowe, ruchy masowe ziemi

1. Wprowadzenie

Zgodnie z obowiązującą wykładnią prawa, ruchy masowe ziemi, podobnie jak powódzie, uznawane są za katastrofy naturalne [Ustawa, 2002]. Zapobieganie ruchom masowym ziemi i ich skutkom jest jednym z elementów ochrony powierzchni ziemi, określonych ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska. W Polsce brak jest jednak kompletnych, w skali kraju, danych dotyczących osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi. Nie ma systemu bieżącego uzyskiwania i gromadzenia informacji z różnych źródeł, w tym od jednostek samorządu terytorialnego, dotyczących występowania osuwisk i usuwania ich skutków. Brak jest również sformalizowanych narzędzi analitycznych do prognozowania, oceny i redukcji ryzyka wystąpienia osuwiskowych ruchów ziemi [NIK, 2017]. W 2006 r. w Państwowym Instytucie Geologicznym rozpoczęto realizację Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO), który w efekcie końcowym ma dostarczyć pełne, udokumentowane informacje o wszystkich osuwiskach i terenach zagrożonych ruchami masowymi ziemi w Polsce. System SOPO powstaje pod nadzorem Ministerstwa Środowiska. Zakładany wstępnie okres realizacji projektu obejmujący lata 2006-2010 uległ jednak wydłużeniu, i jak dotychczas projekt ten nie został zakończony. Na znaczną skalę problemu wskazują wyniki dotychczasowych działań zrealizowanych w ramach tworzonego Systemu. Ponad 95% wszystkich zarejestrowanych

osuwisk w Polsce występuje na terenie Karpat fliszowych. Założono już ponad 57 tys. kart osuwisk i ponad 4 tys. kart dla terenów zagrożonych. Liczba osuwisk, zewidencjonowanych w formie kart rejestracyjnych jest obecnie o ponad 60% większa od początkowo planowanej. Na terenie karpackim średnie zagęszczenie zinwentaryzowanych osuwisk wynosi $3,38/\text{km}^2$. Wskaźnik osuwiskowości (% powierzchni gminy zajętej przez osuwiska) wynosił średnio 7,84% i w poszczególnych gminach wahał się od 0,07% do 25,79% (gmina Krzywca). Wskaźnik zagrożenia (% powierzchni gminy zajętej przez osuwiska i tereny zagrożone) wynosił średnio 11,63% i wahał się w poszczególnych gminach między 0,39% a 46,76% (gmina Czchów). Pełne dane dotyczące osuwisk i terenów zagrożonych posiada również część obszarów poza karpackich. Uwzględniając powyższe, pełne dane dotyczące osuwisk i terenów zagrożonych obejmują około 9,39% łącznej powierzchni kraju [Geoportal, 2017].

Występowanie terenów osuwiskowych stanowi realne zagrożenie dla infrastruktury i zabudowy powierzchni terenu. Podstawowe narzędzie w ocenie zagrożenia osuwiskowego stanowi monitoring wgłębny i powierzchniowy obszaru bezpośrednio zagrożonego [Banasik i in., 2003; Szafarczyk i Gawalkiewicz, 2015]. Przedmiotem monitoringu powinny być również konstrukcje obiektów budowlanych i inżynierskich narażane na dodatkowe oddziaływania pochodzące od podłoża objętego ruchem osuwiskowym.

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące korelacji modelu obserwacyjnego, monitorującego zmiany położenia punktów konstrukcji budynku w przestrzeni z modelem obliczeniowym, wyznaczającym stan deformacji konstrukcji.

Możliwość wyznaczania rzeczywistych odkształceń liniowych i kątowych konstrukcji murowych poddanych oddziaływaniom ruchów podłoża budowlanego stanowi istotny element:

- w określaniu cech materiałowych uwzględnianych w obliczeniach numerycznych w analizach wstecznych skutków oddziaływań pochodzących od deformacji podłoża,
- w diagnostyce stanu wyężenia konstrukcji dla bieżącej oceny stanu bezpieczeństwa konstrukcji i formułowania wniosków odnoszących się do warunków bezpiecznego użytkowania obiektu.

2. Dane ogólne o poligonie badawczym

Geograficznie poligon badawczy zlokalizowany jest na obszarze Pogórza Wielickiego i obejmuje formę osuwiskową oraz wzniesiony w jej obrębie obiekt użyteczności publicznej. Intensyfikacja procesów osuwiskowych nastąpiła w maju 2010 r. wskutek silnych opadów deszczu. Wówczas w konstrukcji budynku zauważono powstanie uszkodzeń, takich jak spękania ścian narażonych na zwiększony napór gruntu i w strefach zmiany sztywności bryły budynku.

Z uwagi na postępujące zwiększanie się zakresu uszkodzeń powstała konieczność podjęcia działań diagnostycznych, których celem było określenie dynamiki procesu osuwiskowego i sposobu postępowania z konstrukcją narażoną na wystąpienie sytuacji awaryjnej. Częścią procedury diagnostycznej był autorski program obserwacji pozwalających na monitorowanie zmian w stanie formy osuwiskowej oraz konstrukcji obiektu budowlanego.

Charakterystykę konstrukcji obiektu i sytuację geologiczną w obrębie jego posadowienia opisano szczegółowo w Części 1 niniejszego artykułu [Florkowska i Bryt-Nitarska, 2017].

3. Model pomiarowy

Obserwacje stanowiące podstawę badań wykonywane były w oparciu o indywidualny przestrzenny, geodezyjny model pomiarowy. Model ten obejmował łącznie:

- pomiary formy osuwiskowej uaktywnionej w przypowierzchniowej warstwie skorupy ziemnej w układzie współrzędnych bezwzględnych (geodezyjnych), które potwierdziły występowanie zjawiska powolnych ruchów masowych (kierunki i wartości przemieszczeń). Wyniki tych pomiarów nie stanowią jednak części przedstawianej analizy.
- pomiary punktów obserwacyjnych zastabilizowanych na elementach konstrukcji budynku w układach: względnym (analiza ścian zewnętrznych południowo – wschodniego naroża budynku) i bezwzględnym wybranych punktów sieci kontrolnej.

W niniejszym artykule odniesiono się do wybranego elementu konstrukcyjnego – ściany wschodniej pomieszczenia narożnego, która wykazywała największe uszkodzenia.

Wynikający z warunków lokalnych brak możliwości wykorzystania terenowych punktów państwowej osnowy geodezyjnej spowodował konieczność założenia własnej sieci referencyjnej. W otoczeniu obiektu w lutym 2017 roku zastabilizowano 5 punktów osnowy referencyjnej. Cykle pomiarowe wykonywano metodą statyczną GNSS na trzech z nich, w dniach 14 lutego i 15 maja. Pomiarzy te miały za zadanie określenie warunku stałości punktów sieci oporowej. Ponadto analiza współrzędnych z kolejnych pomiarów dostarczyła informacji o ewentualnym ruchu mas ziemnych w strefie posadowienia obiektu. Tak ukształtowana w lutym 2017 roku sieć punktów oporowych, stanowiła podstawę dalszych prac geodezyjnych, zmierzających do wyznaczenia współrzędnych pozostałych punktów kontrolnych zlokalizowanych wokół budynku szkoły oraz w jego wnętrzu. Punkty głównego ciągu poligonowego wewnątrz bryły budynku (punkty spągowe, tj. w posadzkach), trwale zamarkowano w lutym 2017 roku przy wykorzystaniu gwoździ pomiarowych z centrem typu 10TK-25 i 10TK-45, zaś punkty ściennie zamarkowano tarczami celowniczymi (folie dalmiercze) o wielkości 40×40 mm typu 13RM21.

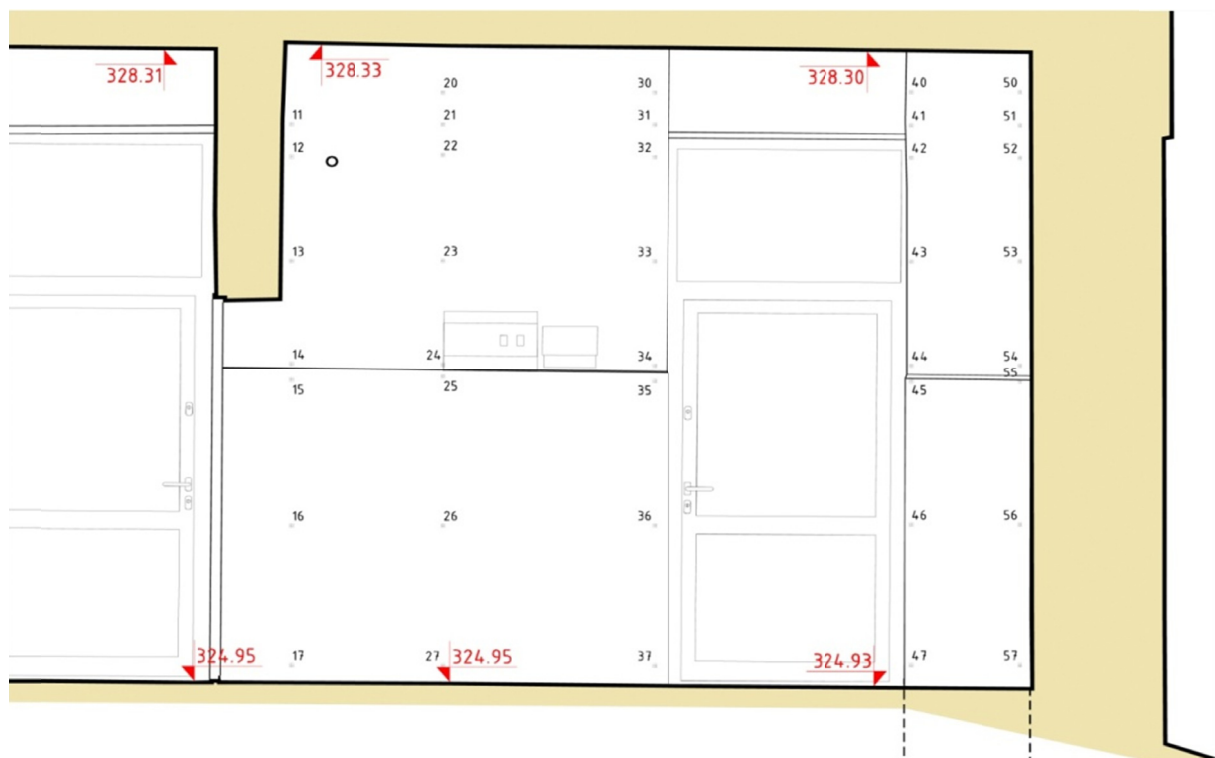
Dla obiektu budowlanego zaprojektowano model pomiarowy, który tworzą:

- siatka przestrzennych punktów geodezyjnych, dla których wyznacza się w każdym cyklu pomiarowym aktualne współrzędne przestrzenne (XYZ),
- zbiór liniowych baz obserwacyjnych do pomiarów tensometrycznych.

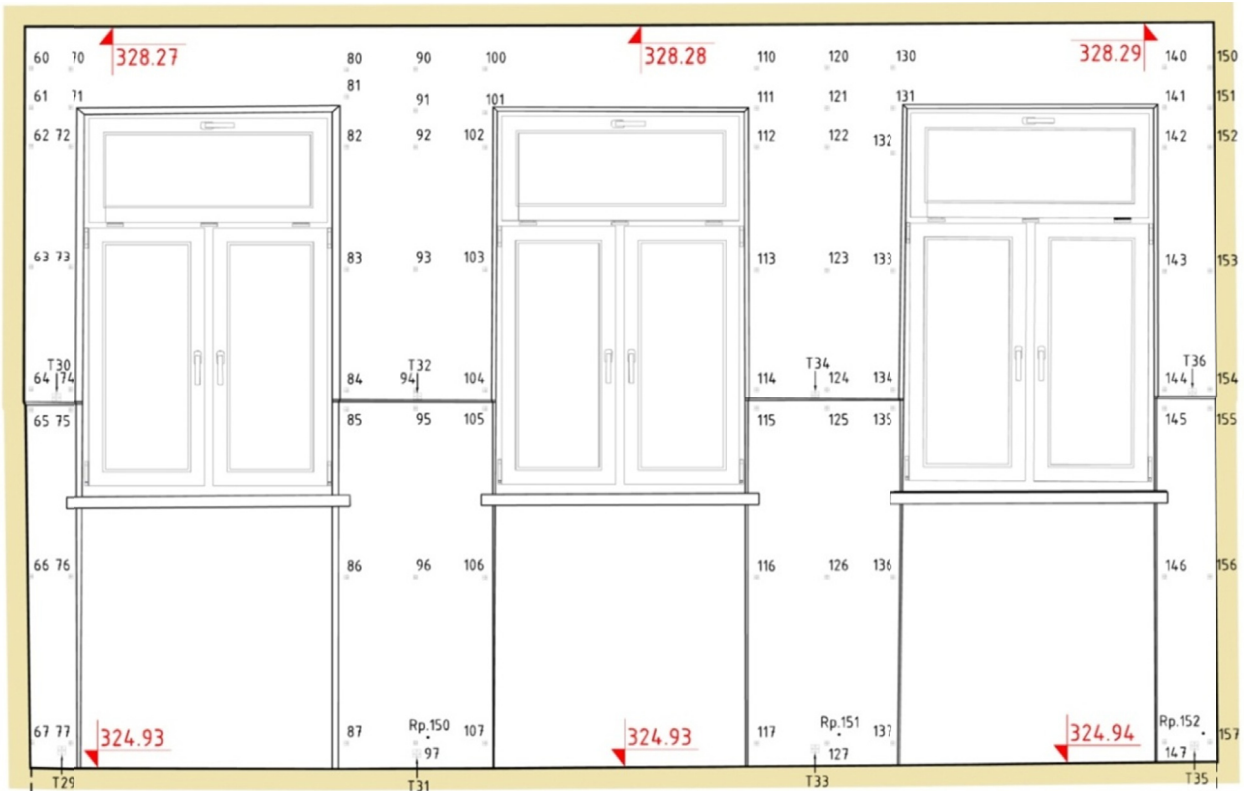
Do pomiarów szczegółowych wytypowano południowo-wschodnie naroże budynku. W konstrukcji murowej ścian w tym narożu wystąpiły najsilniejsze spękania. Na podstawie wyników wcześniejszych obserwacji realizowanych na wybranych pęknięciach za pomocą czujników tensometrycznych [Florkowska i Bryt-Nitarska, 2017] ustalono, że konstrukcja murowa w narożu podlega deformacjom skrętno-giętnym, zmiennym w czasie i przestrzeni.

Na ścianach naroża założono, zatem siatki punktów pomiarowych, w liczbie 40 punktów (ozn. 11÷57) na ścianie wschodniej (Rys. 1) i 80 punktów (ozn. 60÷157) na ścianie południowej (Rys. 2). Siatki punktów utworzyły linie pomiarowe poziome i pionowe. Rozmieszczenie punktów pomiarowych ustalono z uwzględnieniem istniejącego stanu uszkodzenia ścian, przy założeniu, że przyjęte zagęszczenie siatki pomiarowej daje możliwość zobrazowania mapy odkształceń.

Kompleksową inwentaryzację stanu obiektu oraz charakterystykę zmian geometrycznych prowadzono przy wykorzystaniu zintegrowanych technologii geodezyjnych, tj. niwelacji precyzyjnej, tachimetrii elektronicznej, poligonizacji (pomiarów kątowno-liniowych), pomiarów satelitarnych GNSS w trybie statycznym



Rys. 1. Ściana wschodnia – schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych



Rys. 2. Ściana południowa – schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych

oraz skaningu laserowego. Każdy instrument pomiarowy posiada własną charakterystykę dokładnościową. W przypadku zastosowanego tachimetru elektronicznego S8 Trimble o dokładności pomiaru kątów poziomych i pionowych danych błędem kierunku $m_k = \pm 3''$ oraz dokładności pomiaru odległości $m_d = \pm 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ (odchylenie standardowe), możemy dokonać weryfikacji wyników i wyodrębnić punkty o wartościach, które świadczą o rzeczywistych zmianach przestrzennych badanych elementów. W celu ustalenia wiarygodności obliczonych składowych przemieszczeń poziomych i pionowych punktów obserwowanej siatki w przestrzeni (w płaszczyźnie ściany i w kierunku prostopadłym do niej), analizę procesu deformacji poszczególnych fragmentów ściany poprzedzono oceną istotności uzyskanych wielkości zmian w odniesieniu do dokładności pomiaru. Analizę przeprowadzono w oparciu o wzory:

$$|S_{Xi}| \leq k \cdot d \cdot \sin(m_k), |S_{Zi}| \leq k \cdot d \cdot \sin(m_k) \text{ oraz } |S_{Yi}| \leq k \cdot m_d \quad (1, 2, 3)$$

gdzie:

$|S_{Xi}|, |S_{Zi}|, |S_{Yi}|$ – wartości składowych wektora przemieszczeń i -tego punktu kontrolowanego siatki w przestrzeni,

k – współczynnik istotności dla poziomu ufności $\alpha = 0.05$ (przyjęto $k = 2$);

m_k – średni błąd kąta poziomego lub pionowego pomiędzy punktem bazowym (referencyjnym nr 17), a i -tym punktem w siatce obliczany z zależności:

$$m_k = \sqrt{m_{ki}^2 + m_{kj}^2} \quad (4)$$

gdzie:

m_{ki} – średni błąd pomiaru kierunku do punktu referencyjnego nr 17 (Rys. 3),

m_{kj} – średni błąd pomiaru kierunku do i -tego punktu w siatce obserwacyjnej.

Z uwagi na to, że pomiary obu kierunków definiujących wyznaczany kąt są mierzone w tych samych warunkach (podobne długości boków), stąd można przyjąć, że:

$$m_{ki}^2 = m_{kj}^2 = m^2$$

dlatego, wzór (4) przyjmie postać:

$$m_k = \sqrt{2 \cdot m^2}$$

W związku z tym, zakładając maksymalną długość boku $d = 5$ m oraz parametry dokładnościowe tachimetru S8 Trimble, a błąd kąta wynosi $m_k = \pm 4.2^{cc}$ to $k \cdot d \cdot \sin(m_k) = \pm 0.07$ mm. Oznacza to, że wartości S_{X_i} , $S_{Z_i} \leq \pm 0.07$ mm uznawane są w praktyce geodezyjnej za szum pomiarowy (błąd pomiaru), a nie rzeczywiste zmiany geometryczne. W przypadku wartości S_{Y_i} (wektory prostopadłe do płaszczyzny ściany) za stałość punktu uznaje się wektory o wartości poniżej ± 2 mm. Opierając się na tych założeniach w tabelicy 1 zaznaczono kolorem szarym wartości istotnych zmian geometrycznych w trójwymiarowej przestrzeni. W przypadku wektorów skierowanych prostopadłe do płaszczyzny ściany określanych za pomocą mierzonych odległości do punktów, pomimo przyjętych teorii weryfikacji istotności, obliczone wartości przemieszczeń mają charakter informacyjny o pewnych trendach powierzchniowych zmian obserwowanej ściany w czasie.

Kompleksowo dla konstrukcji budynku opracowano:

- rozkłady wektorów wychyleń krawędzi wszystkich segmentów obiektu,
- mapy rzędnych wysokości posadzki przyziemia, w obrębie całego rzutu poziomego,
- współrzędne punktów wybranych przekrojów pionowych,
- mapy deformacji powierzchni ściany wschodniej sali gimnastycznej.

Na zagęszczonej siatce punktów pomiarowych w obrębie naroża południowo-wschodniego przeprowadzono natomiast trzy cykle pomiarowe: pomiar 0: 24.09.2017, pomiar 1: 03.11.2017 i pomiar 2: 24.11.2017. W ich wyniku utworzono bazę współrzędnych dla 120 punktów, w trzech cyklach pomiarowych. Długość cykli pomiarowych dostosowano do wymogów użytkowych obiektu i harmonogramu robót remontowych.

4. Model obliczeniowy

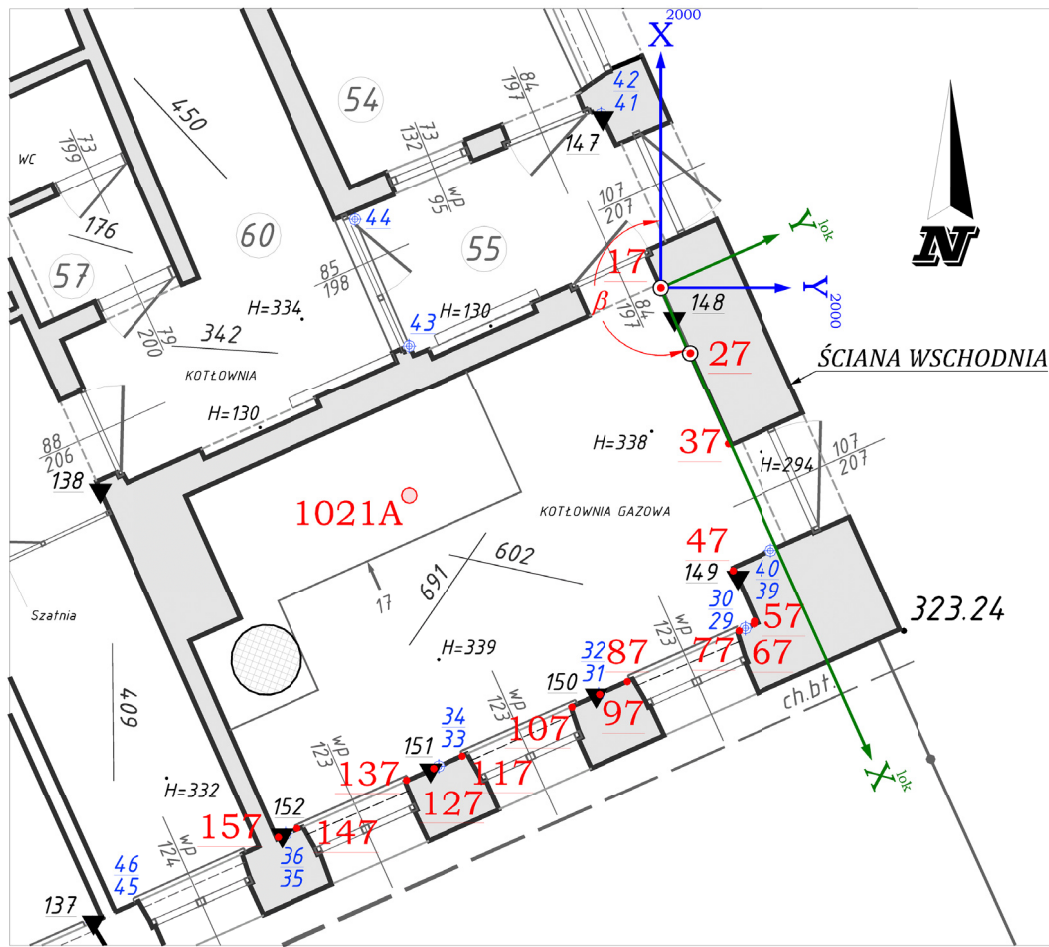
Dla oceny deformacji elementów konstrukcji istotne jest określenie rzeczywistych odkształceń i przemieszczeń liniowych punktów konstrukcji oraz obrotów w płaszczyźnie elementu. Do opracowania modelu obliczeniowego wykorzystano bazę współrzędnych punktów pomiarowych określonych na podstawie pomiarów kątowno-liniowych tachimetrem S8 Trimble ze stanowiska 1021A w oparciu o przyjęty kierunek referencyjny 1021A-17 (Rys. 3). Obliczenie składowych tensora deformacji poprzedziła transformacja danych pomiarowych z układu geodezyjnego (2000/7-PL i Kronsztadt '86) do kartezjańskiego układu współrzędnych zgodnie ze schematem zilustrowanym na rysunku 3. Działanie to obejmowało:

- translację i przyjęcie początku układu analizy deformacji, tak by nowy układ lokalny (X^{lok} , Y^{lok}) zaczepiony był w punkcie ściennym o nr 17 (Rys. 3),
- rotację układu 2000/7 do układu lokalnego o kąt β (Rys. 3),
- przekształcenie danych w symetrii osiowej względem osi OX w płaszczyźnie poziomej (dotyczy zmiany znaku współrzędnej Y każdego punktu pomiarowego siatki).

Wykonano obliczenie:

- 1) przemieszczeń liniowych dla wszystkich punktów pomiarowych na obydwu ścianach we wszystkich kierunkach osi współrzędnych X, Y, Z – obliczanych jako różnica pomiędzy położeniem w danym stanie oraz w stanie początkowym (pomnożona przez 10^3 – wymiar w mm).
- 2) odkształceń kątowych w płaszczyznach XZ (ściana wschodnia) oraz YZ (ściana południowa). Do obliczenia odkształcenia kątowego użyte zostały pary wektorów utworzonych na bazie trzech sąsiednich punktów pomiarowych, leżących w przecinających się liniach pomiarowych poziomych i pionowych.
- 3) obrotów w płaszczyźnie ściany wg kolejnych par punktów – (wektorów) w liniach pomiarowych pionowych, jako różnica pomiędzy kątem w danym stanie i stanie początkowym (jaki tworzą te wektory z osią pionową – Z).

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki obliczeń dla wybranych punktów obserwacyjnych założonych na ścianie wschodniej, w miejscu występowania silnego spękania konstrukcji murewej (Rys. 5).



- 1021A[○]** - punkt główny układu pomiarowego
 151 - repery ścienne sieci wysokościowej
 34
 33 - ścienne tarczki sieci kontrolnej (poziomej)
137. - ścienne mini-tarczki sieci kontrolnej (poziomej i wysokościowej)
 zaznaczono lokalizację tylko najniższych tarczek w profilach pionowych

Rys. 3. Schemat układów: bezwzględny (2000/7) i lokalnego kartezjańskiego – w płaszczyźnie poziomej (XY).
 (uwaga: kąt β – parametr obrotu układu geodezyjnego do lokalnego układu współrzędnych)

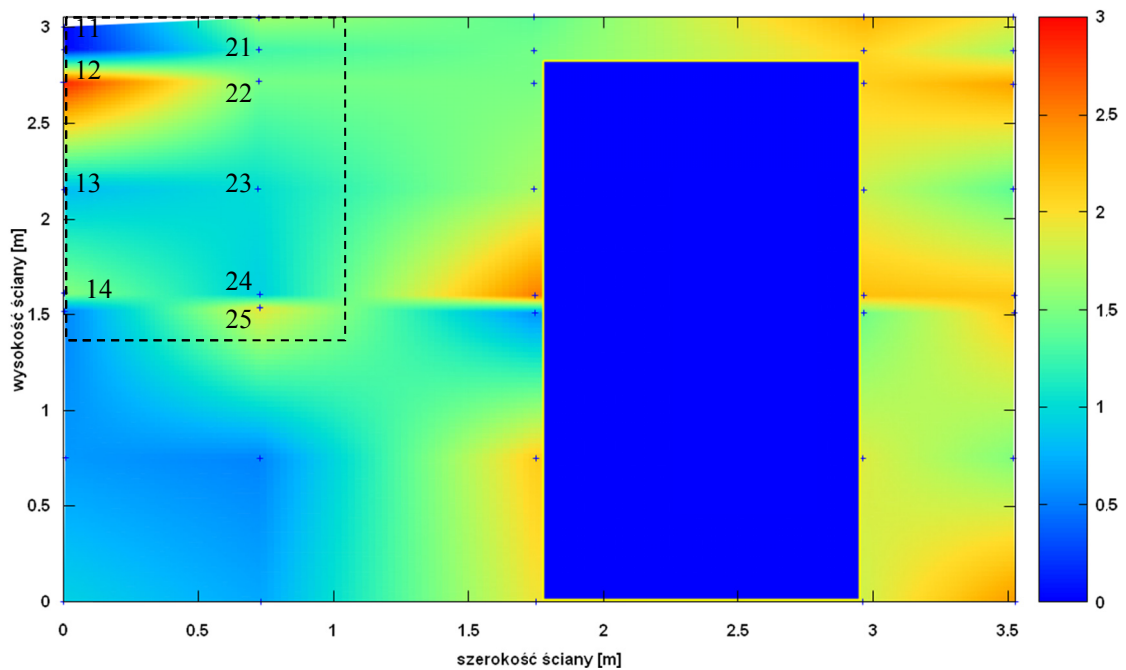
Tab. 1.

Nr p.	Przemieszczenia liniowe						Odształcenie poziome		Odształcenia kątowe	
	SX1*	SY1	SZ1	SX2**	SY2	SZ2	exx1	exx2	epsXZ1	epsXZ2
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/m]	[mm/m]	[°]	[°]
11	0,0	0,0	0,00	0,4	0,8	-0,8	0,3	-0,1	0,3	1,7
12	2,5	1,12	-0,7	2,7	0,4	-0,7	-3,0	-3,0	9,4	7,9
13	0,2	0,7	-0,0	0,6	0,9	-0,5	0,0	-0,6	-2,6	-2,4
14	0,3	1,5	-0,2	-0,2	-1,2	-0,1	-0,1	0,6	0,2	-0,9
21	0,2	1,2	-0,4	0,3	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0
22	0,4	1,3	-0,5	0,4	-0,4	-0,1	-0,2	-0,2	0,5	0,5
23	0,2	1,0	-0,5	0,2	0,4	-0,4	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1
24	0,2	0,8	-0,2	0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	0,1	0,2
25	0,2	1,9	-0,1	0,2	-0,5	-0,3	0,2	0,2	-0,2	-0,3

1* okres: pomiar 0 – pomiar 1
 2** okres: pomiar 0 – pomiar 2

5. Wyniki badań

Wykorzystując wyniki modelu obliczeniowego dla deformacji opracowano program rysujący mapy przemieszczeń liniowych, odkształceń poziomych i kątowych dla konstrukcji ścian. Na rysunku 4 przedstawiono mapę obliczonych przemieszczeń liniowych punktów konstrukcji na ścianie wschodniej, które wystąpiły w okresie pomiędzy pomiarem 0 i pomiarem 2.



Rys. 4. Ścian wschodnia, mapa poziomych przemieszczeń liniowych punktów pomiarowych, długość wektora w [mm], okres: pomiar 0 – pomiar 2. (uwaga: linia przerywana to obszar rysunku 5)



Rys. 5. Ścian wschodnia, rozmieszczenie punktów pomiarowych

Analizując wyniki pomiarów i wykonanych obliczeń deformacji sformułowano następujące uwagi na temat zachowania się konstrukcji w okresie pomiarowym:

- dominujące wartości przemieszczeń punktów konstrukcji występowały w płaszczyźnie poziomej (XY), a średnia szybkość przemieszczeń przestrzennych w okresie pomiarowym wynosiła ok. 1,4 mm/miesiąc,
- w pierwszym okresie obserwacji wektory przemieszczeń poziomych miały w większości zwroty skierowane do wnętrza budynku, co było skutkiem odsłonięcia fundamentów ściany południowej wewnątrz pomieszczenia; wartości przemieszczeń były różne dla punktów usytuowanych w jednej linii pionowej (np. 11-12-13-14-15-16-17), co świadczyło o nierównomiernym nachyleniu ściany;
- maksymalne obliczone przemieszczenia liniowe punktów konstrukcji wynosiły: 2,6 mm (p. 12, kierunek X w płaszczyźnie elementu) ściana wschodnia i 2,8 mm (p. 136, kierunek X z płaszczyzny elementu) ścian południowa,
- wartości maksymalnych odkształceń wyznaczonych w płaszczyźnie ścian wynosiły w/w p. 12 – 3,0 mm/m i p. 67-5,8 mm/m na ścianie południowej,
- w p. 12 wystąpiło również maksymalne odkształcenie kątowe wynoszące $9,39^\circ$,
- podkreślenia wymaga fakt, że odkształcenia o tak dużych wartościach wystąpiły w miejscach spękań konstrukcji murowej.

Wyniki pomiarów i obliczeń deformacji potwierdziły widoczną dezintegrację konstrukcji murowej i przestrzenny stan deformacji, z dominującym poziomym charakterem przemieszczeń. Szczegółowa analiza wyników pozwala na wyodrębnienie wpływu ważnych cech konstrukcji na jej zachowanie się w warunkach zwiększonych oddziaływań [Drobiec i in., 2010]. Dotyczy to zmian sztywności konstrukcji w strefach osłabienia otworami okiennymi i drzwiowymi, w strefach połączeń tarcz ściennych i stropowych, w strefach zmiany grubości ściany.

Obliczone wartości deformacji stanowią bazę danych dla dalszych badań z zakresu:

- określania i weryfikacji cech materiałowych uwzględnianych w obliczeniach numerycznych w analizach wstecznych skutków oddziaływań pochodzących od deformacji podłoża,
- w diagnostyce stanu wyteżenia konstrukcji murowej dla bieżącej oceny stanu bezpieczeństwa konstrukcji.

Okres monitorowania konstrukcji uzależniony był od dostępności obiektu. W kolejnym okresie konstrukcję poddano wzmocnieniu i naprawom.

6. Podsumowanie

Na podstawie pomiarów geodezyjnych ustalono, że w okresie prowadzenia monitoringu zarówno powierzchnia terenu, jak i bryła budynku ulegały zmieniającym się w czasie deformacjom. Pomiarów geodezyjnych punktów zastabilizowanych na budynku wykazały, że dominujący kierunek deformacji narzucony jest przez ruch osuwiskowy, który odbywa się w ogólności zgodnie z kierunkiem naturalnego pochylenia zbocza, z tendencją do obrotu. Ściany zewnętrzne budynku są odchylone od pionu, a ich pochylenie nie jest równomierne na wysokości budynku. Dodatkowo cała bryła jest skręcona przestrzennie, co powoduje, że stan naprężenia i odkształcenia w konstrukcji jest bardzo złożony.

Na podstawie badań wykazano, że celowe jest stosowanie zintegrowanych modeli pomiarowych i obliczeniowych do bieżącej oceny stanu formacji osuwiskowej i konstrukcji obiektów budowlanych objętych jej oddziaływaniem. Monitorowanie elementów konstrukcji z wykorzystaniem zaproponowanego modelu pomiarowego i obliczeniowego pozwala na bieżącą ocenę stanu ich deformacji i wyteżenia. Wyniki obserwacji stanowią również punkt wyjścia do dalszych badań dotyczących zachowania się rzeczywistej konstrukcji murowej w złożonym stanie obciążenia.

Zakup i instalacja punktów oraz czujników pomiarowych zostały wykonane i sfinansowane z funduszu badań statutowych Instytutu Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie.

Literatura

- Banasik P., Góral W., Maciaszek J., Szewczyk J., 2003: *Wykorzystanie aktywnej sieci geodezyjnej (ASG-PL) do monitorowania przemieszczeń punktów na obszarze GOP*. Geodezja / Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, T. 9, z. 2/1, s. 169-176.
- Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Galman I., 2010: *Badania ścian z cegły w różnych stanach obciążenia*. Inżynieria i Budownictwo, R. 66, nr 5-6.
- Florkowska L. Bryt-Nitarska I., 2017: *Przykład oddziaływania procesów geodynamicznych na stan konstrukcji budynku. Cz. 1. Analiza stanu uszkodzeń*. Prace Naukowe Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, tom 19, zeszyt 1.
- Geoportal, 2017: <http://geoportal.pgi.gov.pl/SOPO/>
- NIK, 2017: *Informacja o wynikach kontroli. Zapobieganie ruchom masowym ziemi i ich skutkom*. KSI.410.005.00.2016, Nr ewid. 3/2017/P/16/048/KSI.
- Szafarczyk A., Gawalkiewicz R., 2015: *Geodezyjny monitoring wybranych osuwisk zlokalizowanych na terenie powiatu krakowskiego jako przykład spełnienia zadań ustawowych starosty* – [Geodetic monitoring of some landslides located in the district of Krakow as an example of the fulfillment of mayor's statutory tasks]. DOI:10.13140/RG.2.1.3267.9442
- Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej (tekst jedn.: Dz. U. z 2017 r. poz. 1897).

An example of the impact of geodynamic processes on building structure condition. Part 2. Measurement and calculation model for analysing deformations

Abstract

The paper presents the results of studies conducted according to an in-house analytical procedure using a measurement and calculation model to assess the deformation of structural elements. A public utility building with severe damage to its structure caused by landslide ground movement activation was subjected to in-situ monitoring. A land surveying measurement model comprising a trig point network and a set of linear monitoring bases for tensometric measurements was developed for the building.

Based on regular periodic measurements of the concentrated trig point network a database with information on point positions in space was obtained in three consecutive measurements. Based on this after completing a geometric transformation of the measured coordinate points to a local Cartesian coordinate system, linear and angular deformations in wall planes for the most critically stressed building corner were calculated.

Then an application for drawing the maps of linear and angular deformations revealed in subsequent measurement cycles on the surface of walls subjected to monitoring was developed.

The subject of the studies refers directly to the statutory requirement for counteracting the effects of mass earth movements.

Keywords: measurement models, structure monitoring, landslide phenomena, mass earth movements