

*Zenon Duda\*, Katarzyna Kryzia\**

## WYKORZYSTANIE MONITORINGU GEODEZYJNEGO DO OCENY STANU TECHNICZNEGO ZABYTKOWEJ KONSTRUKCJI BUDOWLANO-ARCHITEKTONICZNEJ

---

### 1. Wprowadzenie

Kompleksowe wzmocnienie i zabezpieczenie konstrukcyjne zagrożonych zabytkowych obiektów budowlanych wymaga dokładnego ustalenia przyczyn zaistniałego zagrożenia oraz kontroli gwarancyjnej wykonanych prac remontowo-konserwatorskich. Jednym z czynników pozwalających na poprawną ocenę takiego postępowania są systematyczne pomiary przemieszczeń elementów konstrukcyjnych budowli. Należy nadmienić, że w geodezji inżynierskiej często pojawiają się zadania pomiarowe o charakterze monitoringu, których realizowanie dostarcza danych do analizy i wnioskowania o stanie geometrycznym zabytkowych konstrukcji architektoniczno-budowlanych w wybranych okresach czasowych.

Monitoring geodezyjny jest to proces ciągłego zbierania informacji o obiektach inżynierskich poprzez pozyskiwanie danych geometrycznych z pomiarów, ich opracowanie oraz analizę tych danych dla potrzeb projektowych. W odróżnieniu od klasycznych geodezyjnych pomiarów kontrolnych, określających położenie oraz oceniających stan techniczny obiektu w danym momencie, wprowadzenie monitoringu daje możliwość oceny dynamiki zachodzących zjawisk deformacyjnych wraz identyfikacją procesów będących ich skutkiem [3]. W niniejszym referacie omówiono pomiary przeprowadzane w trakcie prac naprawczych na Zachodnim Skrzydle Zamku w Malborku. Opisano stan zachowania tej części zabytkowego obiektu na tle badań geotechnicznych i geodezyjnych oraz prac zabezpieczających [2, 5].

### 2. Charakterystyka obiektu i posadowienia

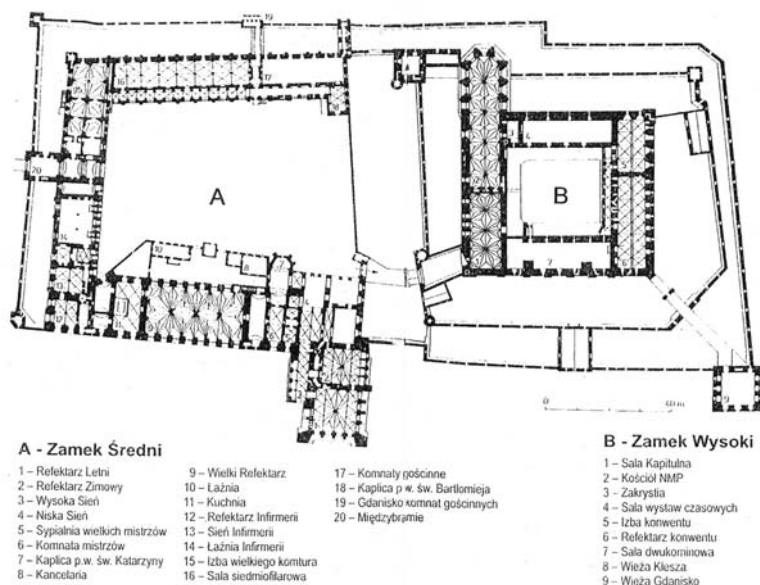
Zabytkowy kompleks obiektów zamkowych w Malborku stanowi jedną z największych twierdz pochodzących z średniowiecznej Europy, wywiera ona ogromne wrażenie swoją wielkością

---

\* Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

przestrzeni architektonicznej. Zamek w Malborku usytuowany jest w północno-zachodniej części miasta, na skraju wysoczyzny, którą od zachodu i północy opływa rzeka Nogat. Zespół architektoniczny Zamku wbudowany jest w zachodnią skarpe wysoczyzny, która stopniowo przechodzi w niską terasę rzeki o płaskiej powierzchni morfologicznej.

Chronologicznie w pierwszym etapie zbudowany tzw. Zamek Wysoki na bazie czworoboku, charakterystycznego dla obiektów klasztornych. Budowa obiektów na wzgórzu zamkowym trwała od roku 1278, a została ukończona pod koniec pierwszej połowy XIV wieku [4]. Powierzchnie morfologiczne Wzgórza Zamkowego w celu dostosowania do aktualnych potrzeb funkcjonalnych zmieniających się użytkowników zostały silnie przeobrażone w czasie historycznym w związku z licznymi pracami budowlanymi. Na całość tego kompleksu budowli składają się: Zamek Wysoki (B), Zamek Średni (A) oraz podzamecze zwane Zamkiem Niskim. Plan zespołu zamkowego przedstawia rysunek 1.

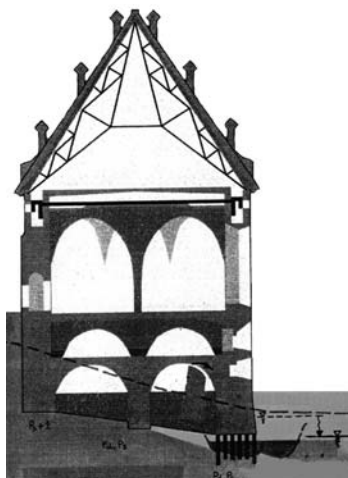


Rys. 1. Plan zespołu zamkowego w Malborku

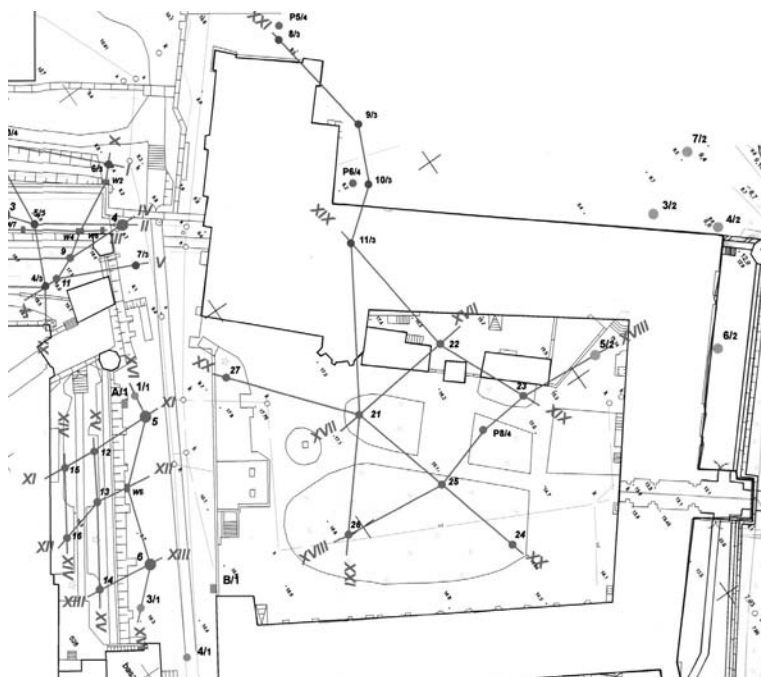
Zamek Wysoki zlokalizowany jest na wzniesieniu, natomiast skrzydło zachodnie Zamku Średniego na stoku tego wzniesienia, przy czym ściana zachodnia została wybudowana u podnóża stoku przy brzegu rzeki Nogat, a ściana wschodnia posadowiona w górnej części wzniesienia. Przekrój poprzeczny tej jednostki przedstawiono na rysunku 2.

Obecnie rzędne terenu dziedzińca Zamku Wysokiego wynoszą ok. 21 m n.p.m., dziedzińca Zamku Średniego ok. 15–18 m n.p.m., a rzędne terasy niskiej Nogatu ok. 8–9 m n.p.m. Lustro wody w Nogacie utrzymuje się na poziomie 4,6 m n.p.m. Analizę warunków geologiczno-inżynierskich na terenie Wzgórza Zamkowego, przeprowadzono w oparciu o rezultaty

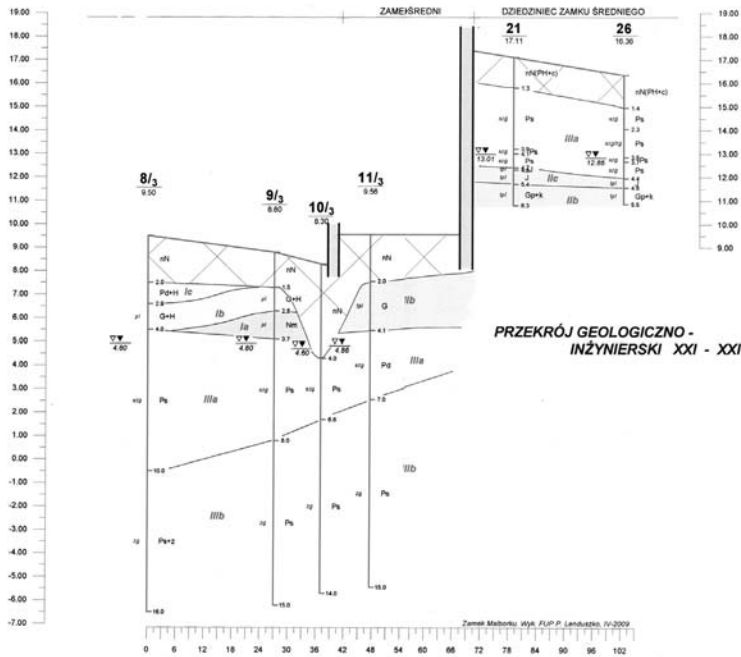
prac terenowych, tj. wierceń i sondowań, wizję lokalną, badania laboratoryjne oraz pomiary piezometryczne poziomu wód podziemnych, a także w oparciu o materiały archiwalne. Fragment mapy przedstawiający lokalizację wyrobisk wiertniczych na terenie Zamku Średniego oraz jeden z przekroi geologiczno-inżynierskich przedstawiają rysunki 3 i 4.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny Zamku Średniego



Rys. 3. Mapa sytuacyjno-wysokościowa z lokalizacją wykonanych wyrobisk badawczych



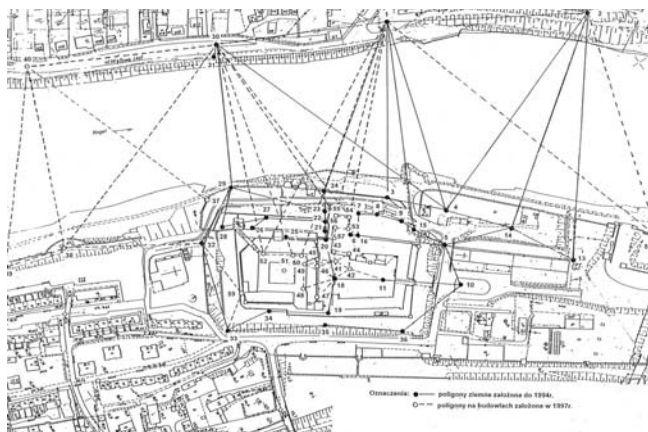
Rys. 4. Przekrój geologiczno-inżynierski XXI–XXI (według rys. 3)

Wzgórze Zamkowe budują utwory polodowcowe, głównie gliny piaszczyste i piaski gliniaste z licznymi domieszkami drobnych kamieni. Towarzyszą im gliny zwięzłe, ility pochodzenia zastoiskowego oraz soczewki piasku. Utwory lodowcowe, w przewadze gliniaste, podścielone są przez osady wodnolodowcowe reprezentowane przez piaski o zróżnicowanej granulacji, pospółki oraz żwiry. W części zachodniej w obrębie terasy niskiej Nogatu występują w strefie przypowierzchniowej aluwia rzeczne reprezentowane przez mady rzeczne — namuły, gliny, pyły z przewarstwieniami piasku, często z domieszkami części organicznych [2].

W niniejszym referacie omówione zostały zasady rejestracji i analizy przemieszczeń Zamku Średniego, bazując na pomiarach geodezyjnych [5]. Szczególną uwagę zwrócono na jego zachodnie skrzydło od strony Nogatu. Na początku XX wieku Nogat uregulowano śluzami w celu uniknięcia powtarzających się katastrofalnych powodzi. Poziom wody u podnóża Zamku obniżył się o około 1,80 metrów, co przedstawiono na rysunku 2. Spowodowało to degradację drewnianej konstrukcji palowej stanowiącej fundament skrzydła zachodniego Zamku Średniego. Sytuacja ta doprowadziła do procesu destrukcji murów Zamku. W celu powstrzymania wielowiekowego katastrofalnego w skutkach procesu niszczenia w latach 1992–1994 przeprowadzono zasadnicze prace ratunkowe zabytkowego obiektu. Zabezpieczenia skrzydła zachodniego, ukazane na rysunku 5, polegały na zastosowaniu wzdłuż całej ściany zachodniej, zarówno od zewnątrz, jak i od wewnątrz szeregu mikropali o długości około 12 m, w odstępach osiowych 0,85–1,2 m, sięgających do nośnych warstw piasków poniżej stopy dawnego fundamentu [2].



W celu określenia przemieszczeń punktów kontrolowanych monitorowanej budowli Zamku Malborskiego konieczne jest wykonanie badania stałości reperów odniesienia. Aby określić stabilność całego Wzgórza Zamkowego oprócz reperów zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów zamkowych uwzględniono również repery znajdujące się po drugiej stronie rzeki Nogat. Badania stałości całej sieci poligonowej dowiązanej do bazy położonej za Nogatem pozwalają określić powolny ruch podłoża gruntowego na styku wysoczyzny morenowej i doliny Nogatu. Sieć geodezyjna w analizowanym okresie czasu ulegała modyfikacji do roku 1994 natomiast w 1997 założono nowe repery odniesienia. Szkic rozwinięcia sieci geodezyjnej wraz zaznaczeniem nowo wyznaczonych reperów przedstawia rysunek 6 [1].

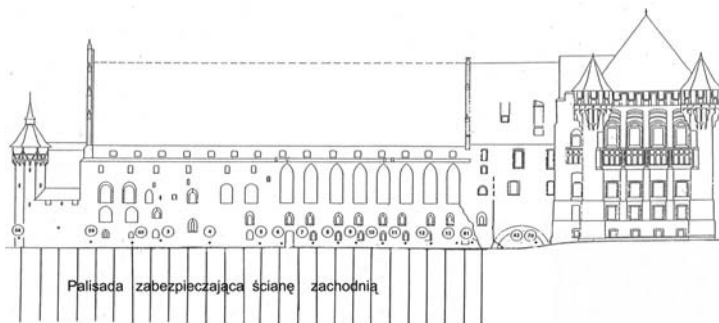


**Rys. 6.** Lokalizacja punktów odniesienia Wzgórza Zamkowego w Malborku

Dysponując wspólnym dla całego wzgórza zamkowego horyzontem wysokościowym, można było przystąpić do wyznaczenia stanowisk obserwacyjnych instrumentów, a następnie do wykonania pomiarów prowadzących do określenia przemieszczeń pionowych i poziomych punktów kontrolowanych, utrwalonych w skrzydle zachodnim zamku na jego różnych kondygnacjach. Ustalenie programu pomiarów wraz z rozmieszczeniem znaków obserwacyjnych było ustalone z zespołem konsultacyjnym, który dokonał wyboru lokalizacji odpowiednich punktów kontrolnych, reprezentatywnych dla zabytkowego obiektu.

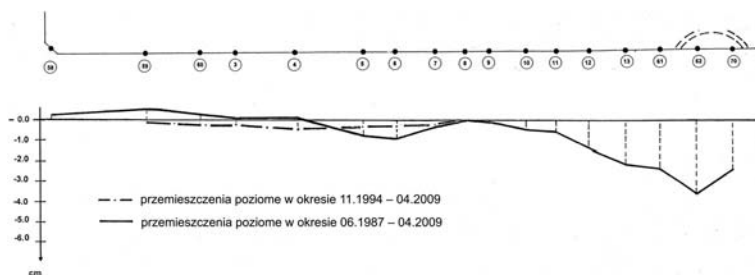
W celu wyznaczenia przemieszczeń pionowych założono repery kontrolne. Pomiary przemieszczeń pionowych mają na celu określenie zmian wysokości wybranych punktów kontrolowanych zabytkowej konstrukcji względem stałych reperów odniesienia.

Aktualnie obserwacje w celu wyznaczenia przemieszczeń pionowych zabytkowego obiektu przeprowadza się do 51 reperów kontrolowanych w tym do 23 reperów utrwalonych w zachodniej ścianie Zamku Średniego. Rozmieszczenie reperów kontrolowanych zachodniej ściany Zamku Średniego przedstawiono na rysunku 7. Monitoring tych punktów wykonywany jest od 1987 roku do dnia dzisiejszego.



Rys. 7. Rozmieszczenie reperów kontrolowanych na ścianie zachodniej Zamku Średniego

Stwierdzone zmiany wysokości punktów kontrolowanych, w wybranych okresach czasu, zostały zilustrowane wykresem na rysunku 8.

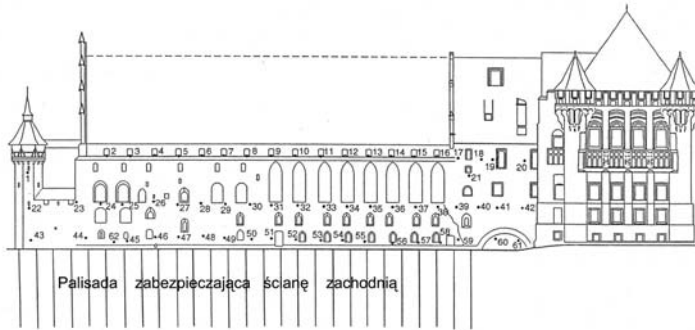


Rys. 8. Przemieszczenia pionowe reperów kontrolowanych na zachodnim skrzydle Zamku Średniego

Od początku pomiarów, to jest od 1988 r., repery kontrolowane Zamku Średniego wykazują znaczne przemieszczenia pionowe (od 20 do 50 mm), które powstały w wyniku dynamicznego procesu osiadania ściany zachodniej w latach 1987–1992. Jednak od momentu zakończenia prac zabezpieczających przy fundamentach ściany zachodniej, sumaryczne zmiany wysokości na punktach kontrolowanych Skrzydła Zachodniego Zamku Średniego praktycznie nie przekraczają 1,5 mm. W ścianie wschodniej punkty kontrolowane ułożono w przyziemiu i na wysokości strychu. Ich monitoring rozpoczęto w październiku 1997 roku. Punkty te wykazują tylko drobne przemieszczenia pionowe, które nie przekraczają 1 mm, co wskazuje na całkowitą stabilność wschodnich części Zamku Średniego w ostatnich 12 latach.

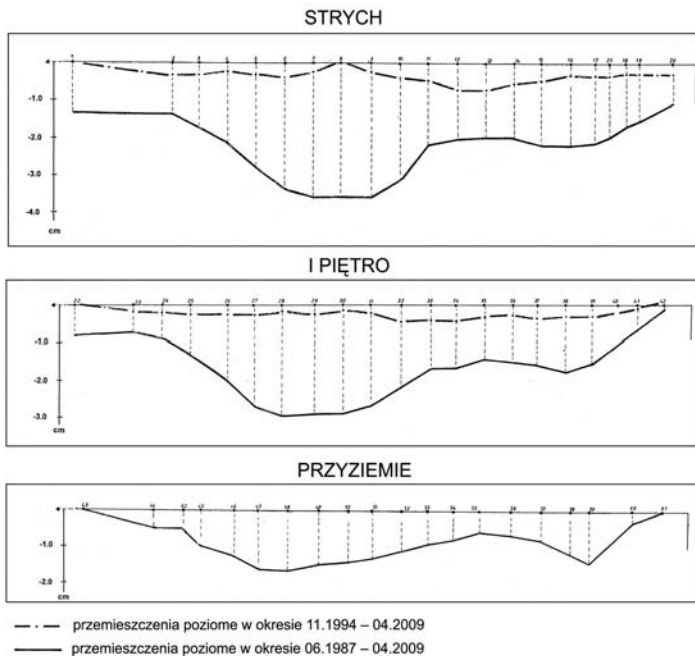
W celu wyznaczenia przemieszczeń poziomych, podobnie jak w wyznaczeniu przemieszczeń pionowych, założono punkty kontrolowane. Pomiar przemieszczeń poziomych sprowadzają się do wyznaczenia składowych wektora interpretowanego jako rzut na płaszczyznę  $(x, y)$ . Obserwacje przeprowadzono do punktów utrwalonych w zachodniej i wschodniej ścianie Zamku Średniego metodą stałej prostej bazy oraz wcięć kątowych. Od strony zachod-

niej kontrolne punkty obserwacyjne umieszczono na wysokości strychu (punkty od 1 do 21), na wysokości pierwszego piętra (punkty od 22 do 42) i w przyziemiu (punkty od 43 do 61). Monitoring tych punktów wykonywany jest od 1987 roku. Rozmieszczenie w/w punktów przedstawiono na rysunku 9.



**Rys. 9.** Rozmieszczenie punktów kontrolowanych na skrzydle zachodnim Zamku Średniego

Stwierdzone zmiany przemieszczeń punktów kontrolowanych w wybranych okresach czasu, zostały zestawione w tabeli 1 oraz zilustrowane wykresami (rys. 10).



**Rys. 10.** Przemieszczenia poziome punktów kontrolowanych na zachodnim skrzydle Zamku Średniego



- Każdy z wykresów przedstawia przemieszczenia poziome punktów w trzech okresach czasu:
- od czerwca 1987 r. do października 2009 r., wartości tych wychyleń są największe ze względu na długi przedział czasu obejmujący również okres przed intensywnymi pracami zabezpieczającymi,
  - od listopada 1994 r. do października 2009 r., czyli od zakończenia prac zabezpieczających,
  - od kwietnia do października 2009 r., a zatem w ostatnim półroczu — brak przemieszczeń.

TABELA 1

**Przemieszczenia poziome ściany zachodniej**

Nr punktu	X 04.09	dx 05.08	dx 05.08	dx 05.07	dx 04.05	dx 04.02	dx 04.00	dx 11.98	dx 05.97	dx 11.94	dx 05.93	dx 06.87	
Strych	1	480,0	479,5	0,5	1,0	-0,5	-0,5	1,5	1,0	1,5	1,0	-0,5	-13,5
	2	274,0	274,0	0,0	0,0	-1,0	-1,0	0,5	-1,0	-1,5	-3,0	-5,0	-14,0
	3	259,0	259,0	0,0	0,5	0,0	-0,5	0,0	-1,5	-2,0	-3,0	-5,5	-17,0
	4	248,5	248,0	0,5	0,5	-0,5	-0,5	0,5	-0,5	-1,0	-1,5	-5,5	-20,5
	5	240,0	240,0	0,0	0,0	-0,5	-0,5	0,0	-1,0	-1,5	-2,5	-7,0	-28,0
	6	221,5	222,0	-0,5	-0,5	-1,0	-0,5	-0,5	-1,0	-2,0	-3,5	-7,0	-34,0
	7	227,0	228,0	-1,0	0,0	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	-1,5	-2,0	-6,0	-37,0
	8	250,5	251,5	-1,0	-0,5	-1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	-2,5	-36,5
	9	265,5	266,5	-1,0	0,0	1,5	-0,5	0,5	-1,0	-2,0	-2,0	-5,5	-36,5
	10	286,5	287,0	-0,5	-0,5	-2,5	0,1	0,1	-2,5	-3,5	-3,5	-8,0	-33,0
	11	314,5	314,0	0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1,0	-3,5	-4,0	-7,0	-22,0
	12	329,5	329,0	0,5	0,0	-0,5	-0,5	-0,5	-2,0	-4,5	-6,5	-9,0	-20,0
	13	352,0	352,5	-0,5	-1,0	-2,0	-2,0	-1,5	-3,0	-6,0	-7,5	-10,0	-20,5
	14	375,5	375,5	0,0	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,5	-4,5	-5,5	-9,0	-19,5
	15	423,5	423,5	0,0	0,5	-1,0	0,0	-0,5	-1,0	-3,0	-4,5	-8,5	-21,5
	16	484,0	485,0	-1,0	0,0	0,0	-1,0	-1,5	-1,5	-3,0	-4,0	-5,5	-22,5
	17	535,5	536,0	-0,5	-1,0	—	0,0	-1,5	-1,0	-3,0	-4,0	-4,0	-22,0
	18	512,5	512,5	0,0	0,0	—	0,5	-1,5	0,0	-2,5	-2,5	-2,5	-16,5
	19	482,5	482,5	0,0	0,5	—	0,5	-1,5	-0,5	-2,5	-2,5	-3,5	-14,5
	20	436,5	436,0	0,5	-0,5	—	0,5	0,0	0,5	-2,5	-2,0	-2,0	-11,0
	21	494,5	495,5	-1,0	-1,0	—	-1,0	-1,5	-2,0	-3,5	-4,5	-4,5	-20,5
I piętro	22	498,0	498,0	0,0	0,0	-1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	-1,0	-8,0
	23	323,5	325,0	-1,5	-1,0	—	-1,0	-1,0	0,5	0,0	-1,5	-2,5	-7,0
	24	339,0	340,5	-1,5	0,0	—	-0,5	-1,0	0,0	-1,0	-1,5	-4,0	-8,5
	25	328,5	330,0	-1,5	-1,0	—	-1,0	-2,5	-0,5	-1,5	-2,5	-5,0	-13,5
	26	320,0	321,5	-1,5	0,0	—	-1,0	-1,0	0,5	—	—	-5,0	-20,0
	27	320,0	321,5	-1,5	-1,0	—	-1,0	-0,5	-0,5	-1,5	-2,5	-5,0	-28,0

TABELA 1 cd.

Nr punktu	X 04.09	dx 05.08	dx 05.08	dx 05.07	dx 04.05	dx 04.02	dx 04.00	dx 11.98	dx 05.97	dx 11.94	dx 05.93	dx 06.87	
I piętro	28	315,5	316,0	-0,5	-0,5	—	0,0	-0,5	0,0	-1,0	-1,5	-5,0	-30,0
	29	317,0	318,5	-1,5	-1,0	—	-1,0	-1,5	-1,5	-1,5	-2,0	-5,0	-30,0
	30	352,0	353,0	-1,0	0,0	—	-0,5	0,5	-0,5	-1,0	-1,5	-4,0	-29,0
	31	378,0	379,0	-1,0	-0,5	—	-1,0	-1,5	-2,0	-2,0	-2,5	-5,5	-27,5
	32	397,5	398,0	-0,5	-0,5	—	-1,0	-2,0	-3,5	-4,0	-5,0	-7,0	-23,0
	33	410,5	411,0	-0,5	-0,5	—	-1,0	-1,5	-4,0	-3,5	-4,5	-6,0	-17,5
	34	409,0	410,0	-1,0	-0,5	—	-1,5	-2,0	-4,0	-4,0	-5,0	-7,0	-17,5
	35	421,5	422,5	-1,0	-0,5	—	-0,5	-1,0	-3,0	-3,0	-3,5	-5,0	-15,0
	36	430,5	431,0	-0,5	0,0	—	-0,5	-0,5	-2,5	—	—	-0,5	-15,0
	37	437,0	437,5	-0,5	-0,5	—	-0,5	-1,0	-2,5	-3,0	-4,0	-6,0	-16,5
	38	453,0	452,5	0,5	0,0	—	1,0	0,0	-0,5	-1,5	-2,5	-2,5	-18,0
	39	490,0	490,0	0,0	-1,0	—	0,0	0,5	-1,0	-1,0	-3,0	-3,0	-16,5
	41	499,0	497,5	1,5	0,0	—	1,0	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	-5,5
	42	471,0	562,0	-1,0	0,0	—	1,5	2,0	1,0	0,5	1,0	2,0	-2,0
Przyziemie	43	561,5	437,5	-0,5	-0,5	-1,0	0,0	-0,5	-1,5	0,0	-1,0	-1,0	-1,0
	44	436,0	442,0	-1,5	-1,0	-2,0	-1,5	-1,5	-2,0	-1,5	-1,5	-3,5	-6,0
	62	440,0	441,5	-2,0	-0,5	-0,5	0,0	-1,0	-0,5	-1,0	-1,5	-1,5	-6,0
	45	440,0	427,5	-1,5	-1,0	-2,0	-1,0	-1,0	-1,5	-1,0	-2,0	-3,0	-10,0
	46	427,5	441,5	0,0	-0,5	-1,0	-0,5	-1,0	-0,5	0,0	-0,5	-2,5	-13,0
	47	423,0	423,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-3,0	-16,5
	48	420,5	421,0	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	-0,5	-1,5	-1,5	-2,0	-3,5	-17,0
	49	425,0	425,5	-0,5	-1,0	-0,5	0,5	0,0	0,0	-0,5	-0,5	-2,0	-15,0
	50	438,5	438,5	0,0	-1,0	-1,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,5	-2,0	-2,0	-14,5
51	443,5	443,0	0,5	-0,5	-1,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,5	-1,0	-3,5	-13,5	
Punkty nr 52–61 zlokalizowane na poziomie przyziemia na skutek przeprowadzanych prac konserwatorskich i adaptacyjnych w piwnicach nie były dostępne do pomiaru													

W minionym okresie pomiarowym żaden z obserwowanych punktów kontrolowanych na ścianie zachodniej Zamku Średniego nie wykazał istotnych przemieszczeń poziomych. Stan ten utrzymuje się od kilku lat, co wskazuje na utrzymujące się od 1998 roku całkowite zatrzymanie wychylenia ściany zachodniej w stronę Nogatu.

W dłuższej perspektywie, czyli od czasu zakończenia prac przy fundamentach ściany zachodniej (1994 r.) istotne przemieszczenia poziome (od 3 do 7 mm) wystąpiły w rejonie strychu. Całkowite przemieszczenia ściany zachodniej w ciągu 22 lat prowadzenia obserwacji (od 1987 r.) na poziomie strychu wynoszą od 11 do 37 mm, na poziomie pierwszego piętra od 5 do 29 mm, oraz w przyziemiu od 1 do 17 mm, przy czym największe deformacje wystąpiły w okresie 1987–1992 r. czyli podczas awarii ściany zachodniej.

W okresie pomiędzy pomiarami geodezyjnymi obiekty kontrolowane są przez pomiar stanowisk szczelinomierzy oraz prowadzonych na bieżąco obserwacji makroskopowych obiektu. Pomiary względnych ruchów pionowych i poziomych na stanowiskach szczelinomierzy, na Wzgórzu Zamkowym są prowadzone systematyczne od 1996 roku. Należy nadmienić, że dla kompleksowej stabilności pomiary te są często jedynym sposobem monitorowania deformacji zarysowanych budowli w miejscach, które nie są dostępne dla obserwacji geodezyjnych oraz źródłem informacji o zagrożonych fragmentach budowli w przerwach pomiędzy pomiarami geodezyjnymi. Całkowite zmiany szerokości rys na Skrzydle Zachodnim Zamku Średniego od początku obserwacji są nieduże i nie przekraczają wartości 1,5 mm.

#### 4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że geodezyjny monitoring zabytkowych obiektów architektoniczno-budowlanych jest działaniem kompleksowym i w odróżnieniu od kontrolnych pomiarów okresowych dostarcza ciągłych informacji dotyczących zmian geometrii badanej konstrukcji.

Monitoring geodezyjny umożliwia wczesne zlokalizowanie niepokojących zjawisk oraz określenie potencjalnych zagrożeń. Wczesne wykrycie nieprawidłowości w strukturze zabytkowego obiektu pozwala na szybkie dokonanie stosownych zabezpieczeń i napraw, czego przykładem był początek lat 90. ubiegłego wieku, kiedy to po zdiagnozowaniu zagrożenia na ścianie zachodniej Zamku Średniego podjęto w porę decyzję ratowania zabytkowego obiektu.

Reasumując, prace zabezpieczające fundamenty ściany zachodniej wykazały całkowitą skuteczność. Od 1998 roku konstrukcja ta nie wykazuje żadnych ruchów pionowych ani poziomych. Wcześniejsze drobne zmiany, które wystąpiły w latach 1994–1998 były skutkiem prowadzenia na zboczu intensywnych prac ziemnych oraz wzmocnienia fundamentów wielkiego pieca i trzech filarów Wielkiego Refektarza wewnątrz Skrzydła Zachodniego. Spowodowało to naruszenie wielowiekowej konsolidacji podłoża i wystąpienie ruchów o charakterze osuwiskowym, które ustały w 1998 roku po zakończeniu wszystkich prac zabezpieczających i zasypaniu wykopów. Późniejsze pomiary wykazały, że wszelkie ruchy Ściany Zachodniej w pełni ustały. Nie zaobserwowano także pęknięć plomb gipsowych i innych znaków obserwacyjnych.

#### LITERATURA

- [1] *Beluch J., Mróz J., Mucha A.*: Badania przemieszczeń w kompleksie zamkowym Malborka. Geodezja, t. 3, Kraków 1997, s. 197–205
- [2] *Duda Z.*: Materiały archiwalne z realizacji prac zabezpieczających będące w posiadaniu autora
- [3] *Kawulok M.*: Pomiary geodezyjne w diagnozowaniu obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wykorzystanie metod geodezyjnych w ocenie stanu technicznego budowli. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008, s. 73–86

- [4] *Kryzia K.*: Analiza przyczyn zagrożenia konstrukcji budowlano-architektonicznych dla wybranych obiektów zabytkowych. Praca dyplomowa, Kraków 2009
- [5] Praca zbiorowa: Sprawozdania z pomiaru przemieszczeń budowli wzgórza zamkowego w Malborku w latach 1987–2009. Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno Kartograficzne w Gdańsku, Gdańsk