



WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW MONITORINGU STRUKTURALNEGO DLA POTRZEB REDUKCJI RYZYKA WYSTĄPIENIA MOŻLIWYCH AWARII BUDOWLANYCH NA PRZYKŁADZIE PRAC PROWADZONYCH PODCZAS REALIZACJI BUDOWY MUZEUM II WOJNY ŚWIATOWEJ W GDAŃSKU

ŁUKASZ UCHAŃSKI, *lukasz.uchanski@soldatagroup.com*

TOMASZ FOTYGA

Soldata

Streszczenie: Realizacja projektów budowlanych o wysokim poziomie złożoności, w szczególności inwestycji zlokalizowanych na terenach o specyficznych warunkach gruntowych, niesie ze sobą realne ryzyko wystąpienia awarii oraz katastrof budowlanych. Ryzyko to staje się tym większe im bardziej złożone są struktury geologiczne na terenach, na których prowadzone są prace, oraz im bardziej zurbanizowany jest teren, w którym inwestycja jest realizowana. Jeśli weźmie się pod uwagę również otaczające tkankę miejską środowisko, wówczas należy zwrócić uwagę, że przy tak złożonych warunkach każdy czynnik powinien podlegać pełnej uwadze na okoliczność wystąpienia nieoczekiwanych komplikacji związanych z realizowaną inwestycją. W takich okolicznościach rola efektywnego i rzetelnego systemu informatycznego oraz złożonego systemu monitoringu strukturalnego jest kluczowa dla potrzeb zapewnienia odpowiedniego programu zarządzania ryzykiem oraz zakończenia prac konstrukcyjnych w założonym budżecie i przy planowanym harmonogramie czasowym. Ryzyka związane z prowadzeniem skomplikowanych prac konstrukcyjnych przy złożonych warunkach geologicznych powinny być uwzględniane i badane od samego początku realizacji prac, co najefektywniej czynione być może jedynie za pomocą kompleksowego systemu monitoringu strukturalnego wdrożonego od samego rozpoczęcia prac projektowych.

Słowa kluczowe: monitoring strukturalny, czas rzeczywisty, CYCLOP, GEOSCOPE, monitoring zautomatyzowany, monitoring geodezyjny, monitoring geotechniczny.

1. Wstęp

Niniejszy artykuł ma na celu omówienie możliwości wykorzystania kompleksowych systemów zautomatyzowanego monitoringu strukturalnego prowadzonego w czasie rzeczywistym dla potrzeb redukcji ryzyka wystąpienia możliwych awarii budowlanych w procesie inwestycyjnym. Doświadczenia płynące z wdrażania tego rodzaju rozwiązań zostaną w niniejszej pracy oparte o przykłady pochodzące z realizacji projektu budowy Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku. W sposób szczególny omówiony zostanie zakres prac obejmujący budowę i monitoring ścian szczelinowych oraz płyty dennej, w który to bezpośrednio zaangażowana została firma Soldata, jako dostawca kompletnego zautomatyzowanego systemu monitoringu osiadań. Specyfika prowadzenia prac budowlanych niosła ze sobą bezpośrednią konieczność wykorzystania najnowocześniejszych rozwiązań z zakresu monitoringu geodezyjnego oraz geotechnicznego. Możliwość prowadzenia ciągłych pomiarów wypiętrzeń oraz osiadań wylanego 15 m pod powierzchnią wody korka betonowego stała się doskonałym polem ukazującym zalety systemów monitoringu opartych o zrobotyzowane stacje tachymetryczne.

Muzeum II Wojny Światowej

Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku to nowoczesna placówka, w której opowiedziana zostanie historia wojny, jako największego kataklizmu XX wieku. Jednym z głównych celów Muzeum jest pokazanie świata doświadczenia wojennego Polski i innych krajów Europy Środkowo-Wschodniej, pod wieloma względami odmiennego i mało znanego w Europie Zachodniej i w krajach pozaeuropejskich.

Budynek Muzeum (rys. 1) ma zajmować powierzchnię około 23 tysięcy m². Na wystawę główną przeznaczono obszar niemal 7 tysięcy m². W nowoczesny sposób ma ona prezentować II wojnę światową zarówno z perspektywy ówczesnej wielkiej polityki i przede wszystkim – przeżyć zwykłych ludzi. Ekspozycja ma przedstawiać nie tylko losy Polaków, ale też doświadczenia innych narodów. Poza wystawą stałą w Muzeum znajdzie się także tysiąc metrów powierzchni na wystawy czasowe. Oprócz funkcji wystawienniczych Muzeum ma pełnić rolę ośrodka edukacji, kultury i nauki.



Rys. 1. Wizualizacja projektu Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku

Lokalizacja

Inwestycja mieści się przy ul. Długiej 81–83 w Gdańsku (rys. 2), teren przyszłego Muzeum, zajmujący powierzchnię 1700 m², dotyka od strony zachodniej Kanału Raduni, a od południowej otwiera się na szeroką panoramę Motławy. Obecnie są to obrzeża starego Gdańska, wkrótce zaś według planistów stanowić one będą centrum nowoczesnej dzielnicy, usytuowanej na terenach postoczniovych.



Rys. 2. Lotnicze zdjęcie ukośne Gdańska wraz z zaznaczonym miejscem budowy

Specyfika prac

W lipcu 2013 r. Soldata otrzymała zlecenie od firmy Soletanche Polska Sp. z o.o. na przeprowadzenie prac wiertniczych oraz ziemnych w zakresie dostawy i instalacji 6 rur inklinometrycznych (11 m każdy) oraz prowadzenie przy ich pomocy pomiarów manualnych wraz analizą danych i raportowaniem. Mierzone przemieszczenia poziome przy pomocy sondy inklinometrycznej o długości 500 mm i zakresie pomiarowym ± 30 stopni zapewniały kontrolę gruntu w okolicy niedawno ukończonego kolektora ściekowego znajdującego się w bliskiej odległości budowy Muzeum, wzdłuż jednej ze ścian szczelinowych.

Po rozpoczęciu prac przy kanale, Soldata otrzymała również zlecenie na pomiar inklinometryczny kolumn zainstalowanych w ścianach szczelinowych budowy Muzeum wykonanych przez Soletanche Polska Sp. z o.o., prowadzono pomiary 7 kolumn inklinometrycznych zainstalowanych na obwodzie wykopu. Badanie przemieszczeń poziomych ścian szczelinowych podczas prac związanych z budową suchego wykopu kontynuowane było cyklicznie podczas prowadzenia prac budowlanych zgodnie z założeniami Projektowymi Zleceniodawcy w celu zweryfikowania zachowania ściany szczelinowej po osiągnięciu kolejnych kamieni milowych. Kolejnym, zasadniczym etapem na budowie Muzeum II Wojny Światowej dla firmy Soldata był monitoring korka betonowego, prowadzony podczas odpompowywania wody z ponad 18 metrowego wykopu. Istota pomiaru opierała się na wykorzystaniu dwóch zrobotyzowanych stacji tachimetrycznych Cyclops pracujących w jednej grupie, monitorujących w czasie rzeczywistym przemieszczenia pionowe płyty dennej, wykorzystujących do tego celu 10 par pryzmatów kontrolowanych.

Wszystkie zautomatyzowane pomiary prowadzone były w czasie rzeczywistym zaś dane prezentowane za pomocą platformy Geoscope umożliwiały pełną kontrolę przemieszczeń występujących podczas prowadzonych prac. Dostęp do platformy archiwizacji i udostępniania danych Geoscope został udostępniony firmie Soletanche, jako bezpośredniemu zleceniodawcy

prowadzonych prac, dzięki czemu możliwym stało się prowadzenie ciągłej weryfikacji wypiętrzeń oraz osiadań korka betonowego w miarę odpompowywania wody.

2. Wyzwania związane z budową

Proces wylewania korka betonowego pod powierzchnią wody niósł za sobą wiele trudności i wyzwań, w tym również wystąpienia możliwych awarii budowlanych. Szczególnym aspektem, któremu poświęcono wiele uwagi była konieczność poprawnego prowadzenia pomiarów geodezyjnych i geotechnicznych zarówno korka jak również ścian szczelinowych obudowy wykopu. Specyfika prowadzonych prac niosła za sobą wysoki poziom ryzyka pojawienia się komplikacji. Rozwiązaniem niezbędnym stało się wykorzystanie nowoczesnych technologii pomiarowych opartych o zautomatyzowane rozwiązania bezzwłocznie wykrywające wszelkiego rodzaju odstępstwa od założonych wartości granicznych. Niezastąpionym w tym przypadku stał się udział firmy Soldata, która wykorzystała dla potrzeb realizacji niniejszego projektu, autorski system Cyclops oraz Geoscope dla potrzeb prowadzenia ciągłego monitoringu w czasie rzeczywistym.

Monitoring geodezyjny

Monitoring geodezyjny swym zakresem obejmował pomiary deformacji korka betonowego w czasie rzeczywistym, powstające na skutek odpompowywania ponad 15 metrów słupa wody z powierzchni prawie 1.5 ha. Do tego celu zastosowano technologię firmy Soldata opartą na zainstalowaniu dwóch zrobotyzowanych stacji tachymetrycznych Cyclop (rys. 3) połączonych w grupę i realizujących pomiar do 10 par pryzmatów optycznych zainstalowanych na konstrukcjach stalowych trwale umieszczonych na dnie płyty dennej wewnątrz wykopu (rys. 4).



Rys. 3. Instalacja systemu Cyclop

Lokalna sieć referencyjna założona poza strefą wpływów zapewniła stabilność pomiarów oraz ich wysoką dokładność. Dzięki umieszczeniu pryzmatów referencyjnych na zewnątrz obszaru prac możliwe było zainstalowanie instrumentów pomiarowych w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu. W momencie rozpoczęcia każdego cyklu pomiarowego system Cyclops kalkulował swoją nową pozycję i wprowadzał niezbędne poprawki w procesach obliczeniowych. Stacje pomiarowe zainstalowano na zastabilizowanych w gruncie betonowych słupach, zaś lustra geodezyjne zostały umieszczone na ażurowych rusztowaniach stalowych przytwierdzonych pod powierzchnią wody bezpośrednio do płaszczyzny płyty dennej. Projekt konstrukcji wsporczych dla pryzmatów geodezyjnych jest również autorstwa połączonych sił firm Soletanche i Soldata, jako że swoją specyfiką musiał spełniać szereg wymagań uwarunkowanych nietypową ich lokalizacją. Konstrukcje dodatkowo otrzymały odciągi boczne zamocowane do powierzchni korka celem zagwarantowania ich stabilności. Sama konstrukcja przez wzgląd na zachowanie jej statyki, regularnie podczas odpompowywania słupa wody była obniżana poprzez redukcję jej górnych elementów. Projekt rozwiązania pomiarowego jak i sam system sprawdziły się idealnie, dane pomiarowe dostępne, co 15 minut poprzez wizualizacyjny interfejs Geoscope umożliwiły pełną kontrolę nad procesem osuszania wykopu i zdecydowanie pomogły wychwycić wszelkie zmiany zachodzące w konstrukcji w funkcji czasu. Należy zauważyć że pomiary geodezyjne realizowane w sposób klasyczny nie wychwyciłyby krótkookresowych zmian, na które miały wpływ m.in. temperatura czy też poziom wód gruntowych. Należy stwierdzić, że tego typu technologia wprost idealnie nadaje się do wykorzystania i zastosowania w przypadku prowadzenia tak wymagających inwestycji budowlanych obciążonych wysokim poziomem ryzyka oraz gdy należy dołożyć wszelkich starań w celu jego minimalizacji i uniknięcia możliwego wystąpienia katastrof lub awarii.



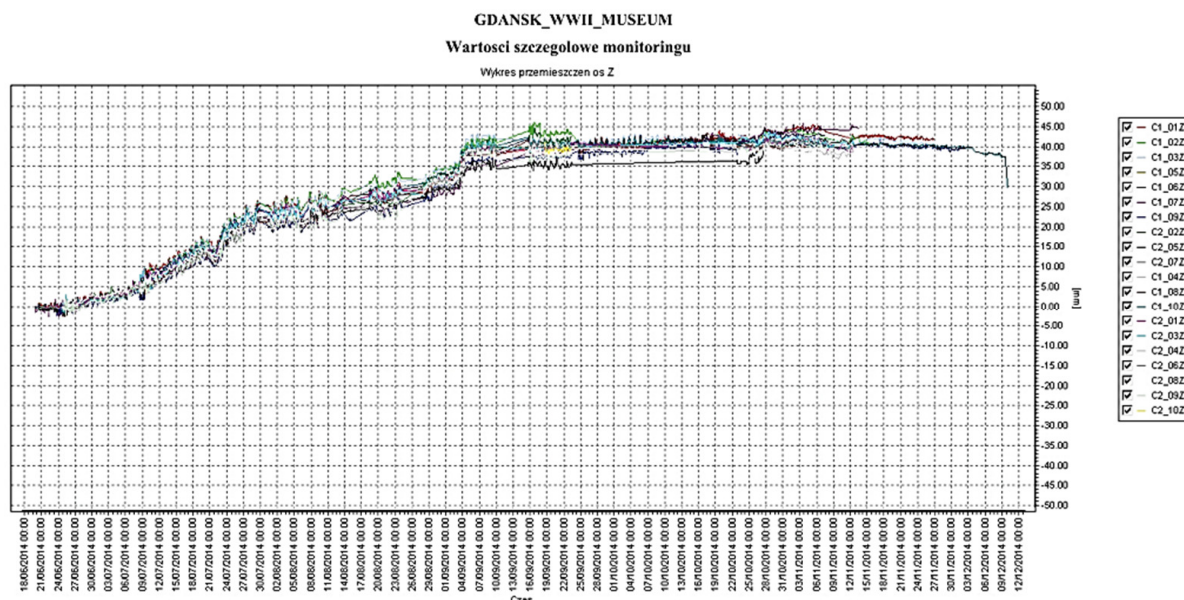
Rys. 4. Od lewej: instalacja pryzmatów optycznych, stanowisko Cyclops – zrobotyzowanej stacji tachimetrycznej

Monitoring geotechniczny

Monitoring geotechniczny prowadzony w zakresie pomiarów inklinometrycznych miał na celu rejestrację danych z siedmiu kolumn gł. 25 m zainstalowanych w ścianach szczelinowych oraz z sześciu jedenastometrowych kolumn inklinometrycznych zainstalowanych po obu stronach kolektora ściekowego. Precyzyjna sonda pomiarowa rejestrowała przemieszczenia poziome ścian szczelinowych w dwóch kierunkach, w odstępach, co 0,5 m. Dzięki temu możliwe było dokładne odwzorowanie kształtu obudowy wykopu na zadanych głębokościach. Prace pomiarowe prowadzone były w trybie manualnym w okresie zarówno wylewania korka betonowego, jak również w trakcie odpompowywania wody z wykopu.

System informatyczny

Elementem spinającym cały rozbudowany system monitoringu zaprojektowany, i wykorzystywany dla potrzeb tej budowy, było serce systemu Soldata zwane Geoscope. Platforma informatyczna, która kryje się pod tą nazwą stanowi podstawową bazę danych, do której wprowadzane są informacje pochodzące bezpośrednio z pomiarów w czasie rzeczywistym (rys. 5), umożliwiając ich dalszą dystrybucję oraz udostępnianie, archiwizując je oraz umożliwiając podmiotom z niej korzystającym prowadzenie ciągłych analiz i symulacji na nich opartych. Tak też stało się i tym razem, ponieważ dane wysyłane przez instrumenty pracujące w trybie automatycznym właśnie dzięki platformie Geoscope mogły natychmiast zostać udostępnione firmie Soletanche prowadzącej bezpośredni nadzór na procesem odpompowywania wody w zakresie analizy deformacji, przykrytej nią, płyty dennej. System ten ponadto cechuje bardzo ważna funkcjonalność związana z możliwością automatycznego powiadamiania o stanach alarmowych sygnałów alarmowych, gdy tylko takie zostaną przekroczone w odniesieniu do informacji pomiarowych pochodzących bezpośrednio z instrumentów pracujących w trybie automatycznym oraz wszelkich innych, z których wyniki są w sposób manualny wprowadzane do bazy danych.



Rys. 5. Wyniki pomiaru osiadań wyeksportowane z systemu Geoscope

3. Zalety płynące z wykorzystania monitoringu w oparciu o faktyczne doświadczenia z prowadzenia budowy

Główną zaletą prowadzenia monitoringu w czasie rzeczywistym przy tak specyficznych projektach, jakim bez wątpienia była budowa Muzeum II Wojny Światowej jest możliwość dostępu do danych pomiarowych w trybie ciągłym za pośrednictwem przeglądarki internetowej tak jak miało to miejsce podczas realizacji niniejszych prac oraz dostęp do modułu automatycznego generowania powiadamiania o stanach alarmowych w przypadku przekroczenia progów alarmowych. Podczas prowadzenia prac budowlanych nigdy nie doszło do przekroczenia progów alarmowych, zaś, co ukazuje zamieszczony powyżej wykres (rys. 6), rejestrowane wartości pomiarowe zawsze mieściły się w zakresie przyjętym przez projektanta – tym samym dowodząc słuszności jego obliczeń i założeń. Wykorzystanie powyższych narzędzi pozwalało podczas prowadzenia prac związanych z wypompowywaniem wody z powstałego zbiornika na ciągły i precyzyjny, a co najważniejsze wiarygodny i bezinwazyjny monitoring ewentualnych deformacji płyty dennej przykrytej lustrem wody.



Rys. 6. Widok wykopu podczas prowadzonych prac po wypompowaniu z niego całej wody

4. Podsumowanie i zalecenia dotyczące wykorzystania monitoringu strukturalnego w przyszłości

Doświadczenia wynikające z zastosowania systemu monitoringu opartego na systemie zrobotyzowanych stacji tachimetrycznych, realizujących pomiary w czasie rzeczywistym, jednoznacznie dowodzą jego skuteczności oraz wysokiej jakości dostarczanych przy jego pomocy danych. Ciągły nadzór nad prowadzonymi pracami otrzymywany dzięki systemom Cyclops połączonym w grupę i pracującym 24 h na dobę w trybie w pełni automatycznym, oraz bezpośredni i natychmiastowy dostęp do danych pomiarowych za pośrednictwem oprogramowania Geoscope jasno pokazuje jak potężnym narzędziem pod względem zapewnienia najwyższego poziomu bezpieczeństwa prowadzonej budowy jest system oferowany przez firmę Soldata. Praktyczne zastosowanie rozwiązań firmy dowiodło, iż jej doświadczenie zdobywane na ca-

łym świecie umożliwia wdrożenie optymalnego systemu monitoringu przemieszczeń i deformacji realizowanego w czasie rzeczywistym, co zdecydowanie wpłynie na bezpieczeństwo prowadzenia prac budowlanych poprzez umiejętne zarządzanie ryzykiem występującym w trakcie całego procesu budowy znacznie tym samym redukując szanse oraz możliwość wystąpienia awarii bądź katastrof budowlanych.

Literatura

1. Uchański Ł., et al. Nowoczesne systemy detekcji i monitoringu strukturalnego dla potrzeb budowy i eksploatacji konstrukcji podziemnych oraz infrastruktury na terenach zurbanizowanych, materiały konferencyjne BiBT 2014.
2. Akutagawa S., Nomura M., Kusui A. On Site Visualization as a new scheme for risk visualization and safety management for geomechanics applications
3. Heunecke O. Impact and Benefit of Geo Sensor Network Technology for Monitoring Tasks.
4. Horst S., Alkhatib H., Kutterer H. Automatic response capability in geodetic sensor networks

USAGE OF STRUCTURAL MONITORING SYSTEMS FOR THE NEEDS OF REDUCTION OF POTENTIAL RISKS OF CONSTRUCTION FEILURES ON THE EXAMPLE OF WORKS PERFORMED DURING CONSTRUCTION OF WORLD WAR II MUSEUM IN GDAŃSK

Abstract: Realization of construction projects with a high level of complexity, in particular investments located in areas with specific soil conditions, carries a real risk of failures and building disasters. This risk becomes greater when the structures are far more complex and when the soils in areas where work is underway are more diversified, important factor however is also the level of area urbanization, where the investment is carried. If one takes into consideration the environment surrounding construction site, it should be noted that with such complex conditions each factor should be fully considered regarding unexpected complications related to realized investment. In such circumstances, the role of an effective and reliable complex system for structural monitoring is essential for ensuring appropriate risk management program and the completion of construction work within budget and at the planned time schedule. Risks associated with conducting complex design work with complex geological conditions should be considered and studied from the beginning of the work as efficiently as it can only be done by means of a comprehensive structural monitoring system implemented from the very start of the design work.

Keywords: structural monitoring, real time, CYCLOP, GEOSCOPE, automated monitoring, geodetical monitoring, geotechnical monitoring.