

Krzysztof Karsznia\*, Konrad Podawca\*

## KONCEPCJA ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII ŚWIATŁOWODOWEJ W GEODEZYJNYM MONITORINGU OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH

### *Streszczenie*

*Monitoring stanu konstrukcji budowlanych oraz różnych obiektów terenowych stanowi jedno z głównych zagadnień współczesnej inżynierii. Wykorzystanie technologii, dzięki którym możliwe jest prowadzenie monitoringu inżynierskiego daje możliwość zbudowania zintegrowanego systemu zarządzania ryzykiem łączącego rozwiązania instrumentalne z geoinformacyjnymi. W badaniu konstrukcji budowlanych, wykorzystywany jest głównie fizyczny monitoring stanu obiektu - tzw. SHM („Structural Health Monitoring”) jak również technologie monitoringu geodezyjnego - tzw. GMS („Geodetic Monitoring Systems”). Postęp technologiczny w dziedzinie teleinformatyki oraz automatyki otworzył nowe możliwości dla stosowania tychże systemów również na innych obiektach, często o dużych rozmiarach. Bazując na istniejącym stanie wiedzy oraz poziomotechnologicznym, w artykule zaproponowana została koncepcja integracji podejścia fizycznego z geodezyjnym (metrologicznym) w celu opracowania założeń przydatnych do dalszej budowy eksperckiego systemu zarządzania ryzykiem.*

Słowa kluczowe: monitoring geodezyjny, monitoring fizyczny, systemy geoinformacyjne, bazy danych

### WSTĘP

Budowa oraz utrzymanie infrastruktury technicznej wymaga zastosowania systemów zarządzania ryzykiem. Powstające konstrukcje inżynierskie oraz ich

---

\* Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, Zakład Geodezji i Planowania Przestrzennego

interakcja z otoczeniem determinują zastosowanie coraz nowocześniejszych systemów kontrolno-pomiarowych oraz weryfikacji obiektów z planami (modelami). Badane obiekty inżynierskie mogą być bardzo różne - od budynków, mostów czy wież po wały przeciwpowodziowe, drogi oraz wyrobiska górnicze [Karsznia, Skalski., Czarnecki 2010]. Kontrola i bieżąca walidacja stanu tychże obiektów stanowi jedno z kluczowych zadań współczesnej inżynierii środowiska. Dynamiczny rozwój technologii powoduje konieczność działań interdyscyplinarnych, w których decydującą rolę odgrywa współpraca specjalistów z zakresu inżynierii środowiska, budownictwa, geodezji, geoinformatyki, łączności czy teleinformatyki. Dbłość o infrastrukturę wymaga inwestowania w badania i rozwój, stąd na świecie prowadzonych jest wiele prac z zakresu oceny stanu obiektów. Niezwykle istotne staje się zatem monitorowanie ich stanu - sama obserwacja oraz późniejsza ocena kameralna nie wydaje się już wystarczająca. Współczesne systemy geoinformacyjne stanowią bardzo ważny element zarządzania jakością oraz zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i mienia. Wydajność oraz stale wzrastająca moc obliczeniowa komputerów daje możliwość budowania systemów analitycznych, podejmujących decyzje natychmiast po pozyskaniu stosownych danych oraz ich przetworzeniu.

Jednym z kluczowych zagadnień oceny stanu obiektów inżynierskich jest tzw. „Structural Health Monitoring” - monitoring stanu obiektu (SHM). Wykorzystuje on zalety badań fizykalnych konstrukcji. Obiekty inżynierskie podlegają także ocenie za pomocą technologii geodezyjnych (metrologicznych), przy czym klasycznie rozumiane metody pomiaru geodezyjnego coraz częściej wypierane są przez systemy zautomatyzowane [Karsznia 2014]. Systemy takie dostarczają szeregów obserwacji prowadzonych przez zrobotyzowane instrumenty geodezyjne do punktów kontrolowanych. Punkty takie sygnalizowane są na obiektach przy użyciu reflektorów zwrotnych, łat kodowych lub znaczników - tzw. „folii odbłaskowych” lub innych znaków umożliwiających jednoznaczny identyfikację badanego punktu. Współczesne tachimetry elektroniczne dają możliwość prowadzenia pomiarów skanujących - zarówno punktowo - do miejsc zlokalizowanych na powierzchni jak również prowadząc ciągły skanowanie, pozyskując dane z prędkością setek, a nawet tysięcy punktów na sekundę. W geodezji, dużą popularnością cieszy się technologia skaningu laserowego 3D, która, w zależności od typu urządzenia (skanera), dostarcza informacji zwrotnej w ilości nawet milionów punktów na sekundę. Podejście takie, od wielu lat z powodzeniem stosowane jest w badaniach stanu obiektów inżynierskich, aczkolwiek przetwarzanie dużych chmur punktów wraz z ich modelowaniem możliwe jest dopiero w późniejszym etapie opracowania kameralnego. Monitorowanie stanu obiektu wymaga jednak podejmowania natychmiastowych decyzji, stąd zachodzi konieczność prowadzenia analiz praktycznie w czasie rzeczywistym lub quasi-rzeczywistym.

## OPIS TECHNOLOGII

Istnieje wiele podejść w konstruowaniu i wdrażaniu systemów monitoringu inżynierskiego. W zależności od rodzaju pozyskiwanych danych, systemy te można podzielić na geodezyjne (zwane również metrologicznymi i określane mianem GMS - „Geodetic Monitoring Systems”) oraz fizykalne [Karsznia 2016; Prószyński 2016; Wolski 2006]. Systemy metrologiczne utożsamiane są głównie z technologiami geodezyjnymi takimi jak tachimetria elektroniczna, niwelacja czy precyzyjne pomiary wielkości kątowych realizowane przy użyciu pochyłomierzy. Różnorodność obserwacji dostarczanych przez systemy geodezyjne powoduje konieczność ich umiejętnego integrowania w celu uzyskania jednolitej informacji o stanie obiektu [Karsznia 2014]. Połączenie możliwości tychże technologii znalazło i nadal znajduje wiele zastosowań w monitorowaniu obiektów inżynierskich [Karsznia, Skalski., Czarnecki 2010; Tana, Sheea, Yapb, Mahamd Adikan 2016].

### Systemy geodezyjne

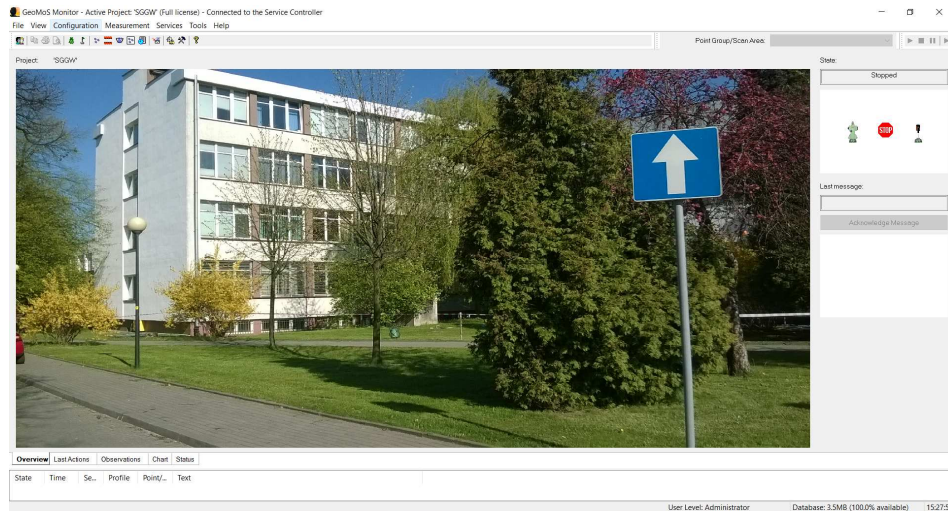
Monitoring geodezyjny różni się zasadniczo od monitoringu fizykalnego, badającego zmiany wielkości takich jak naprężenia, temperatura, siła nacisku, wartość przyspieszenia itp. W systemach tych, jako odniesienie traktowane są wartości pochodzące z kalibracji (tzw. „wartości zerowe”). W przeciwieństwie do systemów geodezyjnych, trudne, a wręcz niemożliwe do wychwycenia są bezwzględne zmiany geometrii badanego obiektu, określane w stosunku do zewnętrznych układów odniesienia. Systemy geodezyjne bazują bowiem na niezależnych układach odniesień przestrzennych, stąd pozwalają na wyznaczenie zmian geometrycznych właśnie w sposób bezwzględny. Zmiany kształtu obiektów (odkształcenia) powodowane są czynnikami zewnętrznymi oraz wynikają z pracy konstrukcji oraz charakterystyki materiału.

W celu dostarczenia kompleksowej informacji o obiekcie, pozyskane i przetworzone dane należy zwizualizować i zarchiwizować, co jest zasadniczą domeną systemów geoinformacyjnych [Karsznia 2012]. Prowadzone w świecie nauki oraz wykonawstwa projekty monitoringu inżynierskiego wykorzystują zalety tychże systemów. Są to technologie komplementarne i stosowane w praktyce w sposób łączny. Taka kompleksowa informacja zasila spójną bazę wiedzy o badanym obiekcie.

Monitoring geodezyjny bazuje na danych przestrzennych dostarczanych przez instrumentarium, którego zrobotyzowane działania zaprogramowano uprzednio w systemie komputerowym (rys. 1).

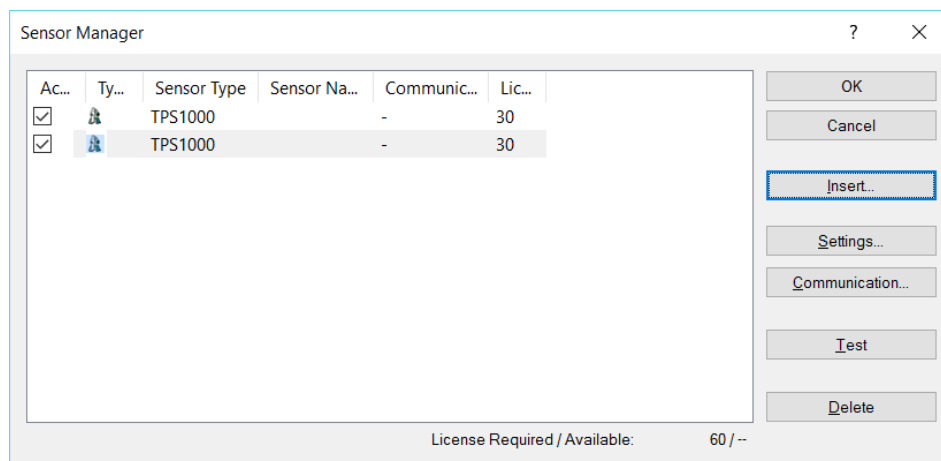
Po wprowadzeniu parametrów konfiguracyjnych dotyczących stosowanego urządzenia pomiarowego, jego stanowiska oraz orientacji względem zewnętrznego układu odniesienia (dotyczy tylko tachimetrów elektronicznych mierzących kierunki i odległości do punktów kontrolowanych) - rys. 2a i 2b, należy

określić, które punkty zlokalizowane na badanym obiekcie podlegały będą pomiarowi (grupy punktów kontrolowanych) - rys. 3a i 3b.



Rys. 1. Widok okna dialogowego aplikacji systemu monitoringu geodezyjnego Leica GeoMoS

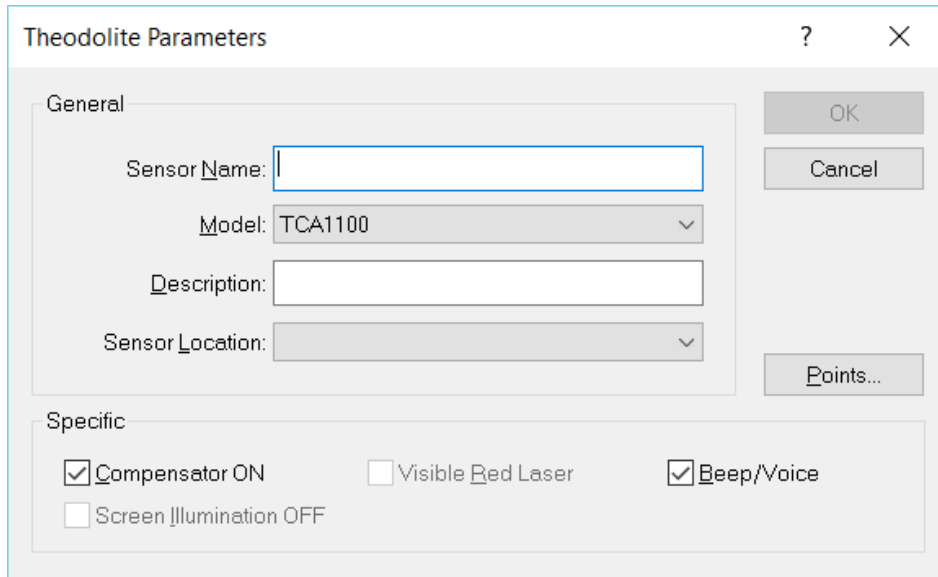
Fig. 1. View of a dialog window of the structural monitoring application Leica GeoMoS



Rys. 2a. Widok okna dialogowego modułu parametrów instrumentalnych systemu Leica GeoMoS

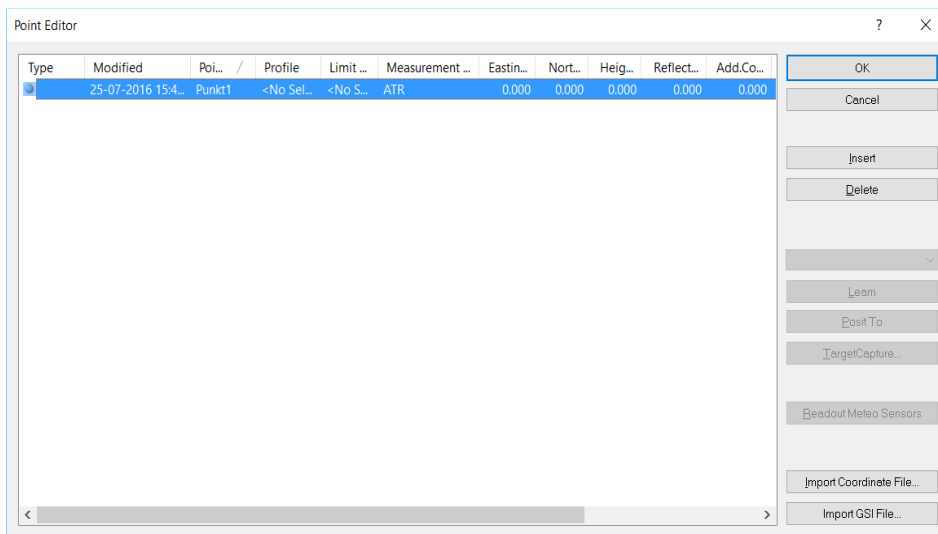
Fig. 2a. View of a dialog window of the instrumental module in Leica GeoMoS

Po zdefiniowaniu aktywnych instrumentów pomiarowych oraz zakresu ich pracy, należy podać, z jaką częstotliwością wykonywany będzie pomiar poszczególnych grup punktów kontrolowanych. Czynność ta nazywana jest definiowaniem serii pomiarowych - rys. 4.



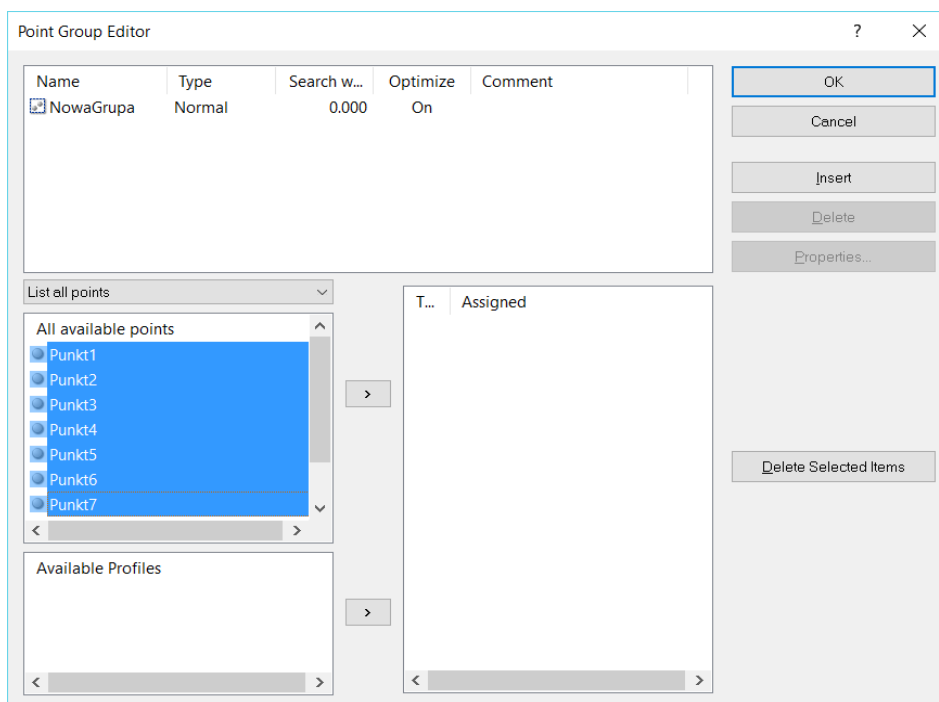
Rys. 2b. Widok okna dialogowego modułu parametrów konfiguracyjnych wybranego instrumentu pomiarowego w systemie Leica GeoMoS

Fig. 2b. View of a dialog window of the instrumental module in Leica GeoMoS



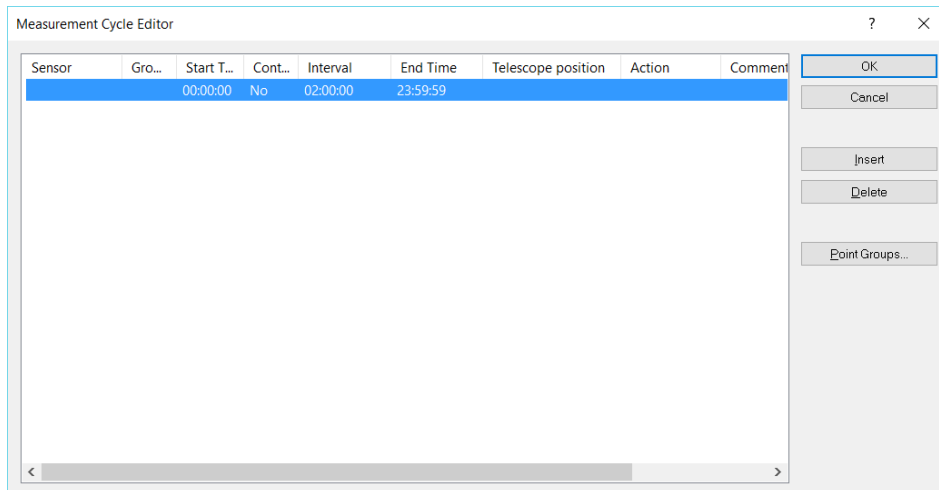
Rys. 3a. Widok okna dialogowego systemu Leica GeoMoS obrazującego moduł konfiguracyjny punktów kontrolowanych

Fig. 3a. View of a dialog window of the configuration module for control points in Leica GeoMoS



Rys. 3b. Widok okna dialogowego systemu Leica GeoMoS obrazującego moduł definiowania grup punktów kontrolowanych

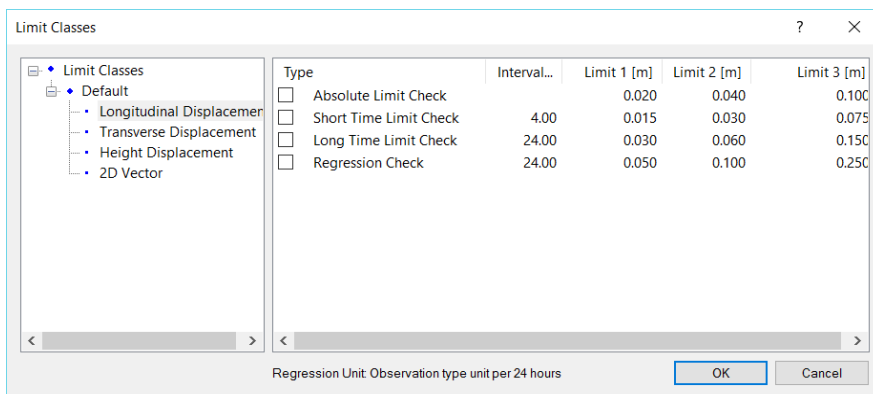
Fig. 3b. View of a dialog window of point group editor in Leica GeoMoS



Rys. 4. Widok okna dialogowego systemu Leica GeoMoS dotyczącego definiowania serii pomiarowych

Fig. 4. View of a dialog window of measurement cycle editor in Leica GeoMoS

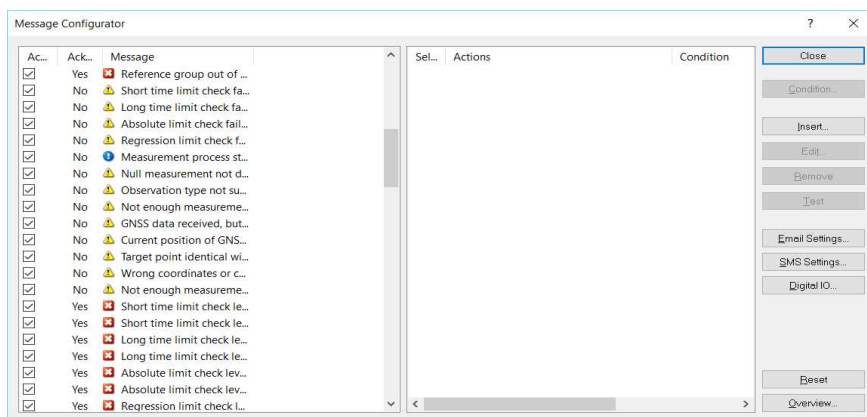
Ponieważ nieodłączną domeną systemu monitoringu jest możliwość powiadomiania o zachodzących trendach przemieszczeń geometrycznych lub innych zdarzeniach mogących wpłynąć na bezpieczeństwo badanego obiektu, należy rozpoznać możliwe zagrożenia, określić ich potencjalne wielkości, a następnie wprowadzić do systemu komputerowego (rys. 5).



Rys. 5. Widok okna dialogowego systemu Leica GeoMoS dotyczącego definiowania progów bezpieczeństwa dla badanego obiektu

Fig. 5. View of a dialog window of limit class module in Leica GeoMoS

Wykrycie przez system przekroczenia odpowiednich progów bezpieczeństwa skutkować będzie powiadomieniem odpowiednich osób (służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo obiektu). W związku z tym, należy w systemie zaprogramować stosowne działania wykonywane w sposób automatyczny, na podstawie wykonanych wcześniej analiz (rys. 6).



Rys. 6. Widok okna dialogowego systemu Leica GeoMoS służącego definiowaniu automatycznych reakcji na wykryte zdarzenia

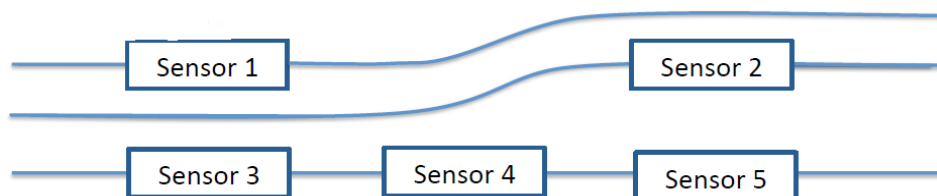
Fig. 6. View of a dialog window of message configurator in Leica GeoMoS

Powiadomienie takie może odbywać się za pomocą komunikacji elektronicznej (SMS, wiadomość e-mail) jak również w postaci uruchomienia specjalistycznej aplikacji (np. instalacji alarmowej, automatycznego zatrzymania pracy jakiegось urządzenia itp.).

Przed wykonaniem kolejnych serii pomiarowych, system monitoringu geodezyjnego może również automatycznie kontrolować stabilność instrumentarium, określać bieżące parametry atmosferyczne służące do redukcji związanych z refrakcją, a także wykonywać szereg innych, dodatkowych analiz służących jak najlepszemu rozeznaniu środowiska, w którym realizowany jest pomiar.

### Systemy fizykalne

W odróżnieniu od systemów geodezyjnych, systemy fizykalne bazują na pomiarach wielkości fizycznych charakteryzujących badany obiekt. Takie pomiary wykonuje się bądź przy użyciu czujników (sensorów) punktowych - mierzących wielkości i przesyłających wyniki za pomocą impulsu do systemu sterującego - bądź przy zastosowaniu linii światłowodowych stanowiących w omawianym przypadku rodzaj ciągłego sensora działającego, niekiedy, na znacznych odległościach [Rębosz 2015]. Praktyczną realizację pomiarów fizykalnych przedstawiono schematycznie na rys. 7, natomiast samą zasadę działania sensora fizykalnego zobrazowano na rys. 8.



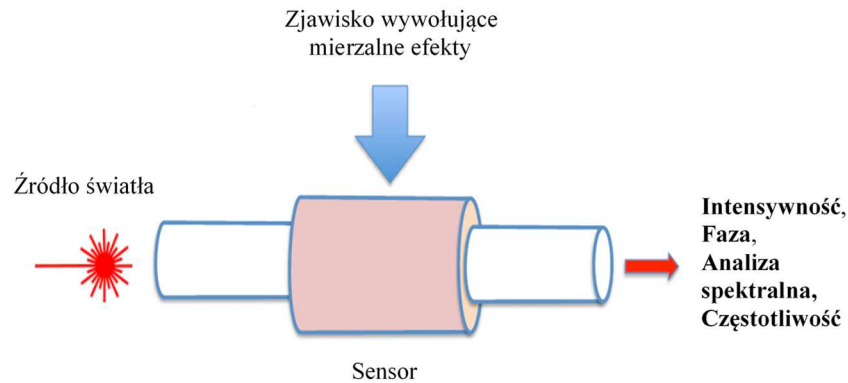
Rys. 7. Schematyczne ujęcie monitorującego pomiaru fizykalnego (na podstawie [www.hawkmeasure.com],[Rębosz 2015])

Fig. 7. Schematic presentation of a physical monitoring system (based on [www.hawkmeasure.com],[Rębosz 2015])

Dodać należy, iż podczas projektowania systemu monitoringu fizykalnego na danym obiekcie, możliwe jest połączenie obydwu podejść w celu lepszego rozpoznania występujących na nim zjawisk.

Pozyskiwanie danych odbywa się przy zastosowaniu układu sterującego złożonego z światłowodowej siatki Bragga (FBG - „Fiber Bragg Grating”) oraz optycznego multiplexera zarządzającego pracą sieci czujników [Tana, Sheea, Yapb, Mahamd Adikan 2016]. Dane z monitoringu przesyłane są na serwer, z którego pobierane są przez aplikację webową w celach wizualizacji oraz prowadzenia dalszych analiz (system geoinformacyjny).





Rys. 8. Schemat działania sensora fizycznego ([www.hawkmeasure.com](http://www.hawkmeasure.com))  
 Fig. 8. Scheme of a physical monitoring sensor ([www.hawkmeasure.com](http://www.hawkmeasure.com))

Najnowszym trendem w zakresie monitoringu są światłowody liniowe [1],[4]. Można je instalować wzdłuż obiektów o znacznych gabarytach, a przede wszystkim na obiektach wydłużonych jak mosty czy wały przeciwpowodziowe. Dzięki wspomnianym właściwościom, światłowody zainstalowane niekiedy na wielu kilometrach dają możliwość precyzyjnego zidentyfikowania zaistniałych w konstrukcji ruchów lub awarii (jak np. deformacje podłoża, wycieki, efekty akustyczne itp.) [LIA Hong-Nan, LIA Dong-Sheng, SONGA Gang-Bing 2004]. Zaletą takiego monitoringu jest brak tzw. „martwych miejsc” - jest to zatem pomiar ciągły, realizowany w czasie rzeczywistym, niepodatny na działanie warunków atmosferycznych. Jak podano w [Rębosz 2015], jeden światłowód zainstalowany - przykładowo - na długości 20 km infrastruktury równoważny jest 20 tysiącom klasycznych czujników rozmieszczonych wzdłuż tego samego obiektu co 1 m.

Główną zaletą światłowodowych systemów monitoringu jest fakt, iż elementem pomiarowym jest cały światłowód. Istnieje zatem możliwość badania stanu obiektu z zachowaniem wiernego odwzorowania jego elementów. Dzięki właściwościom światłowodu takim jak niewielka średnica przekroju włókna oraz elastyczność, może on zostać dopasowany praktycznie do dowolnego kształtu elementu konstrukcji. Wspomnieć należy, iż znane są różne rodzaje światłowodów pozwalające dopasować daną linię do obiektu o określonej charakterystyce badając np. szczeliny spękań czy deformacje [Zhao, Bao, Chen 2015].

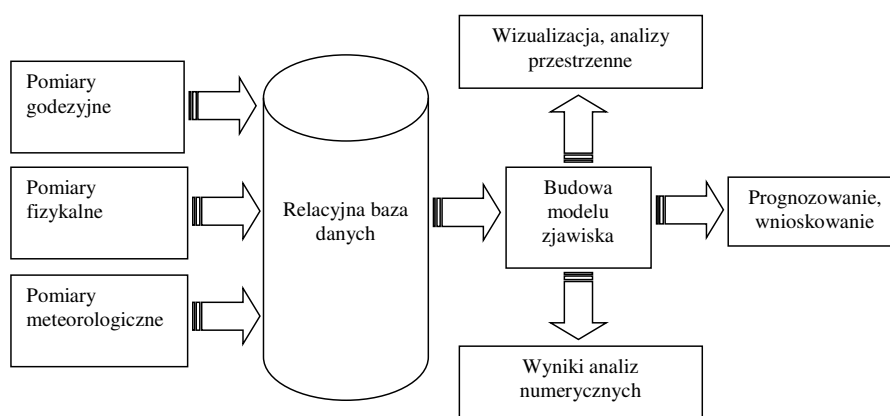
Zarówno w przypadku stosowania czujników punktowych (dyskretnych) jak i ciągłych, główną rolę odgrywają same światłowody. W przypadku pierwszym, służą one do przesyłania danych zapewniając niezakłóconą transmisję w różnych warunkach terenowych. W przypadku drugim - światłowody są bezpośrednimi sensorami pomiarowymi wykorzystującymi zjawiska optyczne w badaniach właściwości obiektów, do których zostały przytwierdzone. Na uwagę zasługują roz-

wiązania budowlane, szczególnie z zakresu zarządzania ryzykiem w gazownictwie oraz przemyśle naftowym wykorzystujące rozwiązania quasi-inteligentne jak również stosujące zaawansowane algorytmy matematyczne [Alavi, Hasni, Lajnef, Chatti 2016; [www.hawkmeasure.com](http://www.hawkmeasure.com); Zhanga, Wanga, Suna, Gaoa, Yue 2016; Zolna, Dao, Staszewski, Barszcz, Stola 2016; Zrelli, Bouyahi, Ezzedine 2016]. Światłowody znajdują również szerokie zastosowania w geodezji - głównie w pomiarach specjalnych, w badaniach instrumentalnych (stanowią główny element kolimatorów oraz baz odległościowych do testowania dalmierzy), stanowią także medium transmisji danych [Ćmielewski 2007.].

Ponadto, duża odporność na działanie warunków termicznych oraz innych czynników zewnętrznych powodują, iż systemy monitoringu bazujące na światłowodach cechuje duża niezawodność oraz wiarygodność.

### KONCEPCJA ZASTOSOWANIA

Od wielu lat, uwagę świata nauki oraz techniki przyciąga integracja różnych źródeł danych. Dzięki zaawansowanym technologiom bazodanowym, możliwe jest budowanie modeli zjawisk przy wykorzystaniu różnego typu informacji. Propozycję schematu integracyjnego, stanowiącego w istocie opis systemu geoinformacyjnego przedstawiono na rys. 9.

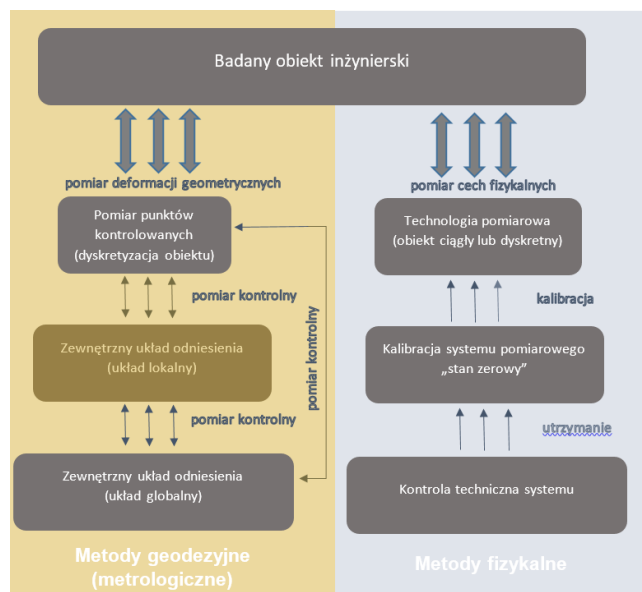


Rys. 9. Schemat systemu geoinformacyjnego bazującego na integracji wielu źródeł danych o obiekcie (opr. własne)

Fig. 9. Scheme of a geoinformation system based on the integration of various data sources (aut.)

Źródłami danych są wyniki pomiarów geodezyjnych (odległości, kierunki, kąty, przewyższenia, a także współrzędne przestrzenne punktów kontrolnych

i kontrolowanych wraz z ich zmiennością w czasie), fizycznych (wartości naprężeń, przemieszczeń, zmian przyspieszenia, temperatury, zmiany natężenia dźwięku itp.) oraz meteorologicznych (rys. 10). Te ostatnie służą głównie do redukcji wyników pomiarów optycznych (refrakcja atmosferyczna) oraz do budowy wiarygodnych modeli deformacji przy zastosowaniu redukcji ze względu na zmiany termiczne badanego obiektu. Dzięki modelowaniu z wykorzystaniem np. uczenia maszynowego (ang. „machine learning”) w systemie programistyczno-obliczeniowym Matlab, można zbudować spójny model badanego zjawiska. Wyniki zapisywane są w bazie danych w formie numerycznej (służąc do ustalenia optymalnych progów bezpieczeństwa, do dalszych opracowań i raportowania), podlegają także wizualizacji przy wykorzystaniu dostępnego środowiska geoinformacyjnego (system GIS). Taka „platforma” wizualizacyjna stanowi coraz częściej trzon systemu zarządzania ryzykiem danej inwestycji inżynierskiej. Pozwala ona w szybki sposób zlokalizować zachodzące zjawisko, a także ocenić jego wpływ na poszczególne elementy badanego obiektu. Dzięki zbudowanemu przez moduł analityczny modelowi matematycznemu zmian stanu obiektu możliwe jest podjęcie automatycznego wnioskowania, a także zbudowanie prognozy postępu tych zmian. W rezultacie, możliwe jest zbudowanie systemu eksperckiego będącego głównym elementem kompleksowego zarządzania ryzykiem.



Rys. 10. Schemat zależności między pomiarem geodezyjnym a fizycznym - na podstawie [Karsznia 2016]

Fig. 10. Scheme of dependences between geodetic and physical monitoring systems [Karsznia 2016]

Głównym zadaniem systemu monitoringu jest przypominanie o zachodzącym zdarzeniu oraz ostrzeżenie o jego potencjalnych skutkach. Zarówno monitorujące systemy geodezyjne jak i fizykalne wyposażane są standardowo w moduły informujące o zdarzeniach - tak w sposób pasywny (ekran komputera - komunikat, zmiana koloru wizualizacji) jak i aktywny (wysłana wiadomość SMS, wiadomość elektroniczna e-mail, uruchomiony system alarmowy etc. Definiowanie progów bezpieczeństwa, po przekroczeniu których uruchamiana jest automatyczna reakcja systemu jest czynnością skomplikowaną i wymagającą dogłębnej znajomości zachowania się obiektu. Skutkuje to koniecznością przeprowadzenia licznych studiów oraz analiz wstępnych na długo przed fazą praktycznego „rozruchu” systemu monitoringu. Należy również dodać, iż ocena ta będzie znacznie utrudniona w przypadku danych złożonych, reprezentujących różne rodzaje, częstotliwość prowadzonych odczytów itp. Czynności te wchodzi w skład projektowania systemu monitoringu i stanowią najtrudniejszy aspekt opracowania całego projektu. W wielu wypadkach, ustalone „a priori” wartości brzegowe nie sprawdzają się w praktyce, a komunikaty generowane przez działający system monitoringu tracą na wiarygodności. Odpowiedzią jest zastosowanie metod integracji danych opracowanych za pomocą uczenia maszynowego w systemie obliczeniowym. Dzięki wykorzystaniu dużych zbiorów danych reprezentujących ich ciągłość, w znacznym stopniu wzrasta wiarygodność modelu badanego obiektu.

## DYSKUSJA

Oceniając możliwość zaprojektowania zintegrowanego systemu geoinformacyjnego będącego eksperckim systemem monitoringu danego obiektu, pamiętać należy o następujących uwarunkowaniach:

- opracowanie projektu systemu monitoringu musi być poprzedzone wnikliwymi studiami charakterystyki obiektu, jego otoczenia oraz panujących warunków meteorologicznych,
- projektując technologię transmisji danych, należy zapewnić ich bezpieczeństwo oraz prawidłową replikację,
- przed ustaleniem tzw. progów bezpieczeństwa, czyli poziomów alarmowych (bądź informacyjnych - tzw. „alertowych”), należy przewidzieć fazę „rozruchu” systemu, podczas której ocenie podlegać będzie zarówno precyzja jak i dokładność samego pomiaru, a także jego niepewność.

Pamiętając o konieczności zbudowania modelu badanego zjawiska, wnikliwej analizie poddać należy zbiory pozyskanych danych oraz opracować model ich integracji. Zdaniem autorów, to właśnie integracja podejścia metrologicznego i fizykalnego stanowić będzie jedno z głównych zagadnień badawczych we współczesnej inżynierii środowiska, budownictwie, geodezji oraz w wielu naukach pokrewnych.

## PODSUMOWANIE

Doskonalenie modeli integracyjnych w monitoringu inżynierskim dostarcza wiele wymiernych korzyści tak dla świata nauki, jak i praktycznego wykonawstwa. Przede wszystkim, wzbogacenie monitoringu geodezyjnego (metrologicznego) o zastosowanie technologii światłowodowych w sposób istotny wzbogaci możliwość prawidłowego określenia progów bezpieczeństwa. Światłowod jako sensor ciągle daje bowiem możliwość zidentyfikowania i zlokalizowania nagle pojawiających się zdarzeń oraz zmian zachowania się obiektu. Stanowi to pierwszy poziom automatycznej reakcji na pojawiające się zagrożenia. Dzięki temu, w kolejnym etapie zintensyfikowany zostanie automatyczny pomiar geodezyjny umożliwiający wyznaczenie potencjalnych przemieszczeń i odkształceń obiektu w sposób bezwzględny. Reakcją na pojawiające się sygnały z monitoringu światłowodowego będzie automatyczne dopasowanie realizacji serii pomiarowych instrumentem zrobotyzowanym. Podejście takie pozwoli na wykonanie pomiarów grup punktów kontrolowanych bezpośrednio zagrożonych nowym zjawiskiem, a co za tym idzie, odpowiednie zdiagnozowanie stanu badanego obiektu. Dotychczas stosowane systemy wykorzystujące technologie pomiaru geodezyjnego pozwalają na prowadzenie obserwacji w uprzednio zdefiniowanych interwałach - często nieadekwatnych do zachodzących zdarzeń.

Realizacja zaprezentowanego podejścia możliwa jest dzięki odpowiedniemu opracowaniu systemu geoinformacyjnego, co polega głównie na programowaniu baz danych oraz sposobu analizowania i wizualizacji. Prace te stanowią przedmiot dalszych działań naukowych autorów.

## LITERATURA

1. ALAVI A.H., HASNI H., LAJNEF N., CHATTI K.; 2016. Continuous health monitoring of pavement systems using smart sensing technology, *Construction and Building Materials* 114 (2016), str. 719-736.
2. ĆMIELEWSKI K.; 2007. Zastosowanie technik światłowodowych i laserowych w precyzyjnych pomiarach kształtu i deformacji obiektów inżynierskich, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
3. Fibre Optic Monitoring Solutions for Oil & Gas/Water Pipelines, <http://www.hawkmeasure.com>.
4. <http://cementys.com/technologies/monitoring-systems/>.
5. KARSZNIA K.; 2014. Geoinformacja a bezpieczeństwo obiektów infrastruktury technicznej - podejście interdyscyplinarne / Geoinformation in safety of technical infrastructure objects - an interdisciplinary approach, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, str. 7-21.

6. KARSZNIA K., SKALSKI Z., CZARNECKI L.; 2010. System ciągłego monitoringu deformacji odkrywkowych wyrobisk górniczych a bezpieczeństwo prowadzenia robót górniczych, *Przegląd Górniczy* 10/2010, Nr 10 (1055), Tom 66 (CVI), str. 167-171.
7. KARSZNIA K.; 2012. Monitoring mostów - zastosowanie serwisów internetowych, *Mosty* nr 6/2012, str. 20-23.
8. KARSZNIA K.; 2016. Pomiary zintegrowane z użyciem światłowodów w monitorowaniu obiektów mostowych, *Mosty* nr 4/2016, str. 24-27.
9. LIA Hong-Nan, LIA Dong-Sheng, SONGA Gang-Bing; 2004. Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering, *Engineering Structures*, Volume 26, Issue 11, str. 1647-1657.
10. PRÓSZYŃSKI W.; 2016. Illustrative presentation of some basic concepts of network internal reliability with comments as regards engineering surveys, *Reports on Geodesy and Geoinformatics* vol. 101/2016, str. 54-59.
11. RĘBOSZ D.; 2015. Światłowody w monitoring, *Inżynier Budownictwa* 12/2015, str. 72-74.
12. TANA C.H., SHEEA Y.G., YAPB B.K., MAHAMAD ADIKAN F.R.; 2016. Fiber Bragg grating based sensing system: Early corrosion detection for structural health monitoring, *Sensors and Actuators A* 246 (2016), str. 123-128.
13. WOLSKI B.; 2006; *Monitoring metrologiczny obiektów geotechnicznych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
14. ZHAO J., BAO T., CHEN R.; 2015. Crack monitoring capability of plastic optical fibers for concrete structures, *Optical Fiber Technology* 24 (2015), str. 70-76.
15. ZHANGA Q., WANGA Y., SUNA Y., GAOA L., YUE Y.; 2016. Hilbert-Huang Transform based method for monitoring the crack of concrete arch by using FBG sensors, *Optik* 127 (2016), str. 3417-3422.
16. ZOLNA K., DAO P.B., STASZEWSKI W.J., BARSZCZ T.: J., STOLA W.; 2016. Towards homoscedastic nonlinear cointegration for structural health monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing* 75(2016), str. 94-108.
17. ZRELLI A., BOUYAHI M., EZZEDINE T.; 2016. Monitoring of temperature in distributed optical sensor: Raman and Brillouin spectrum, *Optik* 127 (2016), str. 4162-4166.

## AN APPLICATION CONCEPT OF THE FIBRE-OPTICAL TECHNOLOGY IN GEODETIC MONITORING OF ENGINEERING OBJECTS

### *S u m m a r y*

*Monitoring of structures and other different field objects undoubtedly belongs to the main issues of modern engineering. The use of technologies making it possible to implement structural monitoring makes it possible to build an integrated risk management approach combining instrumental solutions with geoinformation systems. In the studies of engineering structures, there is physical monitoring mainly used for examining the physical state of the object - so-called SHM ("Structural Health Monitoring"). However, very important role is also played by geodetic monitoring systems (GMS). The progress observed in the field of IT and automatics has opened new possibilities of using integrated systems on other, often large-scale objects. Based on the current state-of-the-art, the article presents the concept of integration approaches of physical and geodetic monitoring systems in order to develop useful guidelines for further construction of an expert risk management system.*

Keywords: geodetic monitoring, physical monitoring, geoinformation systems, databases