

Zintegrowane systemy monitoringu geodezyjnego w badaniu dynamiki konstrukcji inżynierskich obiektów budowlanych

# Z GŁOWĄ W CHMURACH

Coraz częściej konieczne jest szybkie i wiarygodne wyznaczenie wartości przemieszczeń i odkształceń obiektów z milimetrycznymi wręcz dokładnościami. Dzięki stałemu pozyskiwaniu oraz analizowaniu danych przestrzennych możemy zrozumieć oraz przewidzieć zachodzące procesy i zjawiska. Zminimalizowane jest również zagrożenie bezpieczeństwa monitorowanych struktur.

KRZYSZTOF KARSZNIA,  
MACIEJ WRONA

## ● POMIAR KONTROLNY

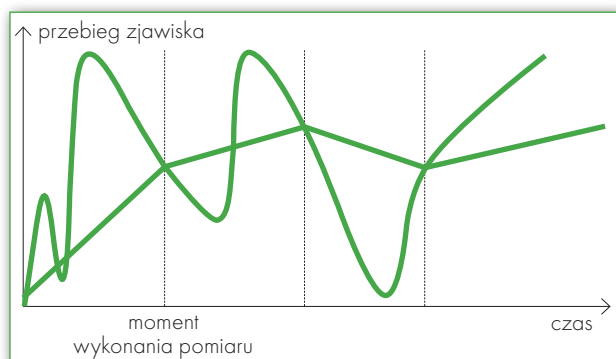
Analizując dany obiekt w aspekcie zmian jego geometrii w czasie, warto rozróżnić pojęcia pomiaru kontrolnego i monitoringu. Pomiar kontrolny wykonywany jest przez geodetów w pewnych ustalonych okresach (co tydzień, miesiąc, kwartał itp.) i pozwala ocenić położenie obiektu na daną chwilę. Do oceny stanu obiektu stosuje się zatem metody statystyki matematycznej. Użytkownik, korzystając

z wyników pomiaru okresowego, zakłada przebieg danego zjawiska zgodnie z przyjętym modelem, często liniowym lub wielomianowym przy ograniczonej liczbie wyrazów tegoż wielomianu. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że procesy i zjawiska, z którymi mamy do czynienia (działanie wiatru, temperatur, zmiana stosunków wodnych gruntu, wzajemne oddziaływania obiektów), rzadko przebiegają dokładnie w taki sposób. Metody pomiaru kontrolnego, nawet przy swej wysokiej dokładności, mają zasadniczą wadę – brak ciągłości w dłuższym interwale czasu. Wraz ze wzrostem skali

Najdogodniejszym rozwiązaniem, dającym pełny obraz zachowania się badanej struktury, jest zastosowanie systemu ciągłego lub quasiciągłego monitoringu danego zjawiska prowadzonego na odpowiednim poziomie dokładności.

## ● MONITORING

Monitoring strukturalny (rys. 2) jest zespołem czynności i narzędzi do permanentnego zbierania, przetwarzania i archiwizacji informacji o stanie dynamicznym i geometrycznym budowli, z uwzględnieniem błędów pomiarowych, jakie towarzyszą czynności pozyskiwania danych. Termin „monitoring strukturalny” nie jest bynajmniej dosłownym tłumaczeniem angielskiego terminu „structural monitoring”. Chodzi tutaj bowiem o zastosowanie systemu integrującego różne sensory, instrumenty pomiarowe, a także oprogramowanie czy bazy danych. Wdrożenie takie (zaprojektowany system) ma zatem charakter strukturalny. W procesie realizacji tego interdyscyplinarnego przedsięwzięcia rola geodety polega na optymalnym i efektywnym doborze narzędzi, technik i metod pomiarowych niezbędnych do uzyskania wiarygodnych efektów.



Rys. 1. Różne możliwości przebiegu badanego zjawiska między kolejnymi pomiarami kontrolnymi (np. przemieszczenia w czasie)

przedsięwzięć budowlanych wada ta wydaje się coraz bardziej znacząca. Rysunek 1 przedstawia przykładowy wykres przebiegu zjawiska w czasie. Mimo iż w momencie wykonania pomiaru obserwator uchwyci wartość nominalną, może wyciągnąć błędne wnioski na temat jej zmian między kolejnymi pomiarami.



Fot. Kuwejt - budowa wysokościowca Al-Hamra (docelowa wysokość 416 m)

macyjny zarówno w układach odniesień wzajemnych, jak i powiązanych z obiektami sąsiadującymi. Ma to szczególne znaczenie przy obiektach głęboko fundamentowanych – stacje metra o dużej głębokości posadowienia, fundamenty wysokich budynków z garażami podziemnymi o wielu kondygnacjach i punktowych obciążeniach płyt fundamentowych. Sieć reperów i punktów obserwowanych pozwala na szybką weryfikację założeń projektowych konstruktora. Prawidłową ocenę zachowania się budowli umożliwia integracja tych danych z informacjami o zachowaniu się konstrukcji realizowanego obiektu, często związanymi z jego asymetrycznością, będącą konsekwencją wizji architekta, i występującymi wówczas zróżnicowanymi obciążeniami i odkształceniami.

Warto dodać, że nowy kierunek badań podjęty w ostatnim czasie przez zespół Zakładu Geomatyki Stosowanej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT w Warszawie obejmuje problem integracji i transmisji wielosensorycznej informacji na potrzeby monitoringu strukturalnego.

Pozyskiwanie danych geometrycznych i geotechnicznych sensorami o różnej dokładności, częstotliwości czy technice pomiaru daje możliwość pełnego określenia zarówno położenia chwilowego, jak i dynamiki badanej konstrukcji inżynierskiej. Kluczowe znaczenie ma wykonanie wielu serii zautomatyzowanych pomiarów oraz obliczeń i analiz w czasie rzeczywistym.

Dotychczas punkty sytuowane w miejscach przewidywanych największych odkształceń, określanymi najczęściej na podstawie projektu wykonawczego, obserwowane były cyklicznie według ustalonego harmonogramu. Obecnie nowoczesne rozwiązania pozwalają na permanentną obserwację w czasie rzeczywistym, umożliwiającą wprowadzanie korekt wykonawczych w sytuacjach awaryjnych natychmiast po ich zauważeniu. Dzięki wysokiej i powtarzalnej precyzji pomiaru i wysokiemu stopniowi zaufania rozwiązania te stają się podstawowym instrumentem bezpieczeństwa na budowie.

Specjalnie zaprojektowane i wykonane stanowiska geodezyjnych instrumentów bezobsługowych, połączone w sieci obserwacyjne, pozwalają na przekaz infor-

lejnym momencie. W końcowym etapie (etap korekcji – aktualizacja pomiarowa) estymowane są przyszłe wartości chwilowego wektora stanu (wartości a priori jego kowariancji) na podstawie informacji o stanie z poprzedniego kroku [Kędzierski, 2007; Farrell, 2007; Wang, 2002].

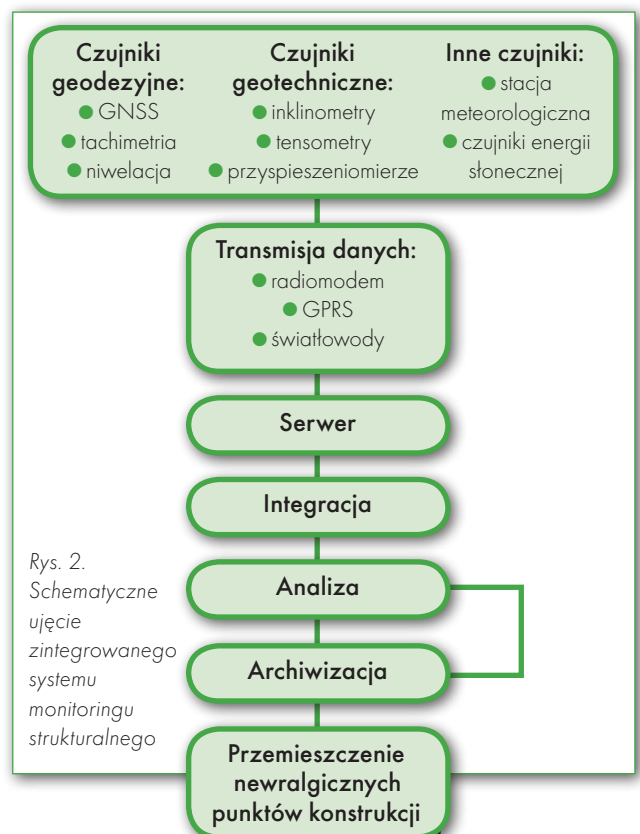
Prosta metoda działania filtru Kalmana oraz jego możliwości sprawiają, że zaczyna być wykorzystywany jako element aplikacji integrujących dane pomiarowe na potrzeby monitoringu strukturalnego [Hide i współautorzy, 2005; Huang, Chiang, 2008; Babu, Wang, 2009]. W tym przypadku podstawowym warunkiem filtracji Kalmana jest wzajemne podnoszenie jakości i wiarygodności zintegrowanej informacji pozyskanej z instrumentów mierzących różne wielkości fizyczne. Ponadto – przyjmując kryterium minimalizacji błędu średniokwadratowego – filtr (zdefiniowany jako semistatyczny, wolnozmienny lub szybkozmienny) będzie z biegiem czasu zmniejszał błąd estymacji, dostrajając się do charakterystyki dynamicznej układu rzeczywistego.

## ● WYSOKOŚCIOWCE

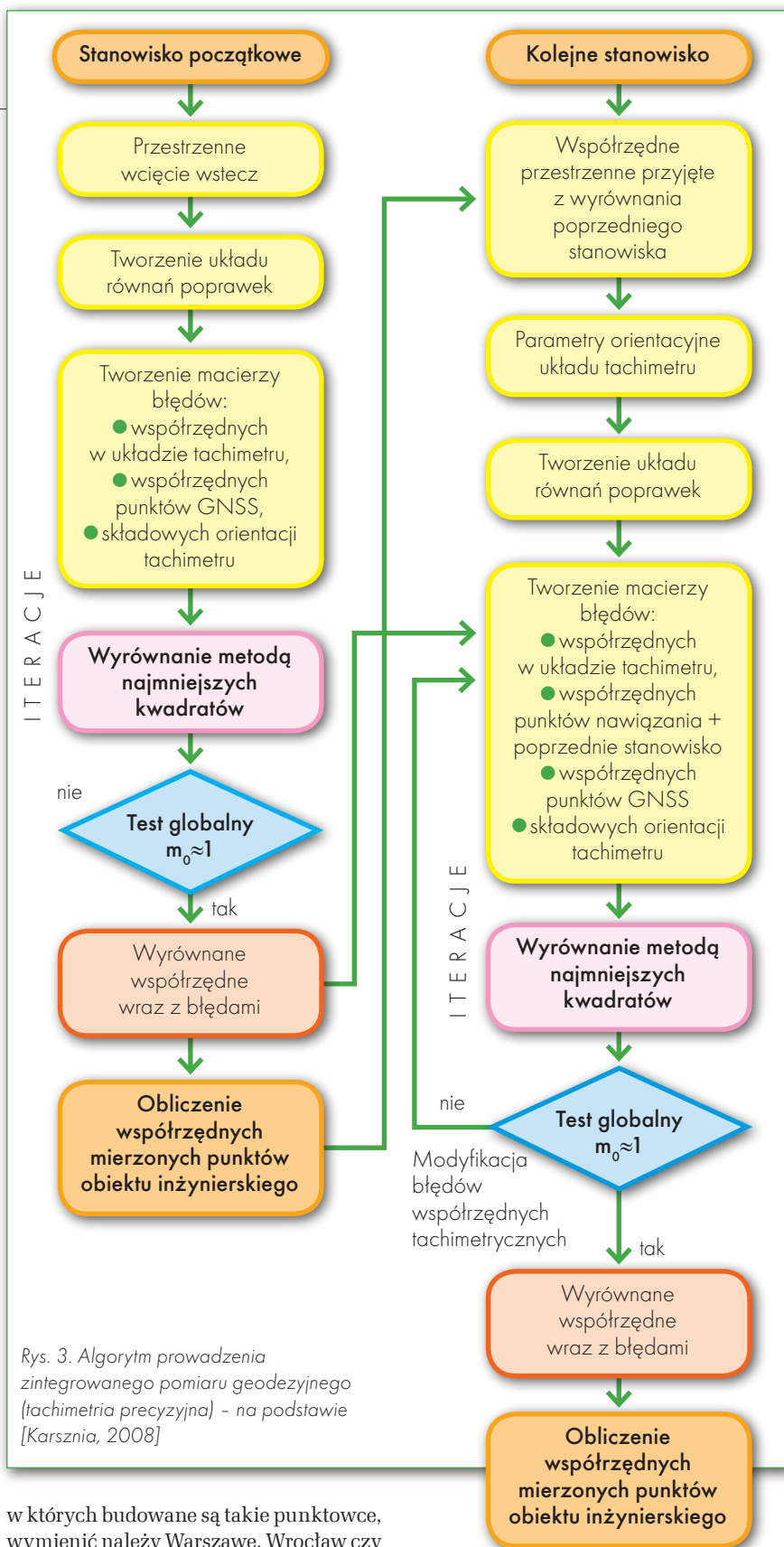
Pozyskiwanie danych o zachowaniu konstrukcji w czasie rzeczywistym jest kluczowe szczególnie dla obiektów wysokich, nowoczesnych „pionowych miast” (*vertical cities*), niejednokrotnie kilkusetmetrowych. Spośród polskich ośrodków,

## ● FILTR KALMANA

Spośród numerycznych metod integracji różnego typu danych pomiarowych najczęściej stosowana jest filtracja Kalmana. Operacja łączenia informacji pozyskiwanej z różną dokładnością i precyzją odbywa się przy uwzględnieniu prawdopodobieństwa wystąpienia określonych błędów (szum pomiarowy czy obliczeniowy). Algorytm w sposób sekwencyjny szacuje stan dynamiczny układu oraz prawdopodobieństwo jego wystąpienia w kolejnym momencie. Pierwszy krok działania filtru obejmuje inicjalizację, podczas której przyjmuje się za znany wektor stanu układu dynamicznego wraz z jego kowariancjami. Następnie na tej podstawie przewidywane są (etap predykcji – aktualizacja czasowa) najbardziej prawdopodobne parametry stanu w ko-



Rys. 2. Schematyczne ujęcie zintegrowanego systemu monitoringu strukturalnego



Rys. 3. Algorytm prowadzenia zintegrowanego pomiaru geodezyjnego (tachimetria precyzyjna) - na podstawie [Karsznia, 2008]

w których budowane są takie punktowce, wymienić należy Warszawę, Wrocław czy choćby Trójmiasto. Jednak na tle światowych metropolii, głównie amerykańskich i azjatyckich, budynki o wysokości 200-300 m nie są imponujące. I choć sporządzenie jednoznacznego światowego rankingu takich obiektów nie jest łatwe (z powodu różnych kryteriów przyjmowania ich wysokości), to pierwszą dziesiątkę można dość precyzyjnie zidentyfikować

(patrz zestawienie). Najczęściej przyjmuje się wysokość do tzw. strukturalnego wierzchołka, czyli do najwyższej położonej integralnej części wieżowca. Do pomiaru wliczana jest wysokość iglicy, nie uwzględnia się jednak masztów i anten, które mogą podlegać demontażowi czy modyfikacji.

Wznoszony obiekt budowlany podlega wielu czynnikom wpływającym na jego dynamikę [Van Cranenbroeck, 2007]. Należą do nich przede wszystkim:

- nierównomierne osiadanie płyty fundamentowej – mogące skutkować wychyleniem się całej konstrukcji,
- deformacja płyty fundamentowej – z powodu coraz większego obciążenia powstającego w trakcie budowy obiektu, będzie ona ulegać ciągłym deformacjom, które oddziałują na położenie konstrukcji budynku,
- praca własna konstrukcji – powodująca odchylenie środka masy budynku od osi pionowej,
- pęczanie i kurczenie się betonu – mogące powodować niewielkie przesunięcia środka ciężkości budynku (wielkość wychylenia będzie zależała od poziomu, na którym zachodzi kurczenie),
- rezonans budynku – według opinii ekspertów każdy budynek przechodzi naturalne okresy rezonansu w interwale około 10 sekund (czynnik ten potęguje zatem całościową dynamikę realizowanej konstrukcji, zwiększając tym samym niepewność pomiaru i zmniejszając ogólną dokładność).

Oprócz wymienionych aspektów, pod uwagę należy wziąć także czynniki atmosferyczne. Na stabilność konstrukcji obiektu wysokiego szczególny wpływ wywiera działanie słońca i wiatru. Na skutek zmian termicznych wyeksponowane betonowe powierzchnie będą się bowiem rozszerzać i kurczyć. Powoduje to „cofanie się” obiektu, czyli wyginanie w stronę przeciwną do padania promieni słonecznych. Jak wykazały specjalistyczne badania i ekspertyzy [Van Cranenbroeck, Hayes, Sparks, 2006], przy różnicy temperatur rzędu 10°C między przeciwległymi ścianami nośnymi wychylenie konstrukcji kilkusetmetrowego punktowca (zaobserwowane podczas 6-godzinnej sesji pomiarowej) może osiągnąć wartość nawet do 150 mm. Oznacza to „pracę” całego obiektu w tempie 25 mm/h. Natomiast siła wiatru wpływa na odchylenie geometrycznej osi budynku od pionu.

Proces budowy obiektów wysokich niejednokrotnie wymaga umieszczenia dźwigów bezpośrednio na konstrukcji (trudno byłoby bowiem zapewnić stabilność np. 500-metrowego żurawia). Podczas podnoszenia i składania ładunku obiekt zaczyna pracować. Ruchy takie będą zatem nieregularne i trudne do wyznaczenia. Przenoszone ładunki wywołują ponadto odchylenia budynku od jego

teoretycznej osi pionowej, a wspomniany wcześniej rezonans konstrukcji sprawia, że ruchy te mają charakter eliptyczny. Podczas prowadzenia pomiarów geodezyjnych należy zatem zatrzymać pracę dźwigów w celu wyeliminowania możliwości powstania błędów przypadkowych.

## ● ZINTEGROWANE SYSTEMY MONITOROWANIA BUDOWLI

Wznoszenie budynków metodami klasycznymi, bogato opisanymi w literaturze branżowej [Przewłocki, 2008; Osada, 2002], znajduje zastosowanie praktyczne do wysokości około 100-150 m (na terenach zurbanizowanych znane są przypadki klasycznych prac realizacyjnych na obiektach o wysokości 180-200 m). Nowoczesne budownictwo, preferujące konstrukcje coraz lżejsze i wydłużone, stawia przed geodetami nowe, niespotykane dotąd wyzwania. Jednym z nich jest opracowanie odpowiedniej metodyki pomiarów realizacyjnych, która uwzględniałaby dokładne wyznaczenie wszelkich ruchów konstrukcji budowlanej, tak by wielkości te posłużyły do wykonania odpowiednich redukcji w czasie rzeczywistym bądź quasirzeczywistym. Niezwykle pomocna jest tu geodezja zintegrowana, będąca podstawą systemów monitoringu inżynierskiego.

W trakcie obsługi geodezyjnej budowy wysokościowców stosowane są zintegrowane systemy realizacyjno-kontrolne. Przy projektowaniu takich systemów kluczowe znaczenia ma dobór jakościowy i ilościowy odpowiednich sensorów. Należy dokładnie zapoznać się z informacjami o konstrukcji obiektu (model fizyczny, dane archiwalne stanu), a także o środowisku pomiarowym (strefy oddziaływań otoczenia na konstrukcję, rozpoznanie warunków meteorologicznych) i innych czynnikach mogących wpłynąć na stabilność wznoszonego obiektu (np. dodatkowe obciążenia zewnętrzne).

System monitorujący zachowanie się obiektów budowlanych w trakcie ich

wznoszenia, a także późniejszej eksploatacji, powinien charakteryzować się:

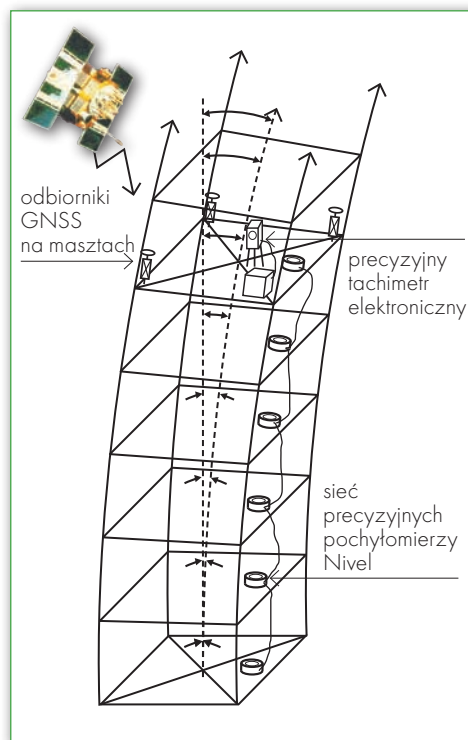
- wysoką wiarygodnością i niezawodnością pomiaru,
- wysokim stopniem zaufania do danych pozyskiwanych w czasie rzeczywistym bądź quasi-rzeczywistym,
- automatyzacją procesu pomiarowego,
- interoperacyjnością.

Na rysunku 3 pokazano działanie przykładowego algorytmu integrującego pomiary geodezyjne (rekurencyjny algorytm wyrównania przestrzennego ciągu tachymetrycznego w nawiązaniu do punktów kontrolnych GPS i geoidy) w jednym spójnym systemie [Karsznia, 2008].

## ● PRZYKŁADOWY SYSTEM DLA BUDYNKU WYSOKIEGO

Do prac realizacyjnych obiektów wysokich wykorzystywane są dwuczęstościowe odbiorniki GNSS (GPS+GLO-NASS) działające w trybie statycznym, precyzyjne tachimetry elektroniczne oraz sieć pochyłomierzy zainstalowana pionowo wzdłuż osi geometrycznej obiektu. Odbiorniki GNSS (w liczbie 3-4, rozmieszczone w narożnikach budynku na wysokich słupach przytwierdzonych do szalunków) wyznaczają lokalny układ odniesienia. Pod odbiornikiem montowane jest dodatkowo lustro panoramiczne (360°) umożliwiające wykonanie odczytu tachymetrycznego. Typowa sesja pomiarowa trwa około 1 godziny. W czasie, gdy odbiorniki GNSS rejestrują kolejne epoki (najczęściej w interwale 0,5-1 s), geodeta wykonuje pomiar serii kątów i odległości do lustra 360°. Wykonywany jest także pomiar do punktów umieszczonych na świeżym betonie, które są jednocześnie punktami odniesienia dla kontroli szalunków. Następnie dane przekazywane są do biura w celu dalszego opracowania. Obliczenia pozycji anten GNSS wykonywane są w odniesieniu do danych ze stacji referencyjnej.

W celu zapewnienia prawidłowej i dokładnej realizacji obiektu wysokiego na-



Rys. 4. Przykład monitoringu powykonawczego wysokiego budynku (źródło: Leica Geosystems AG)

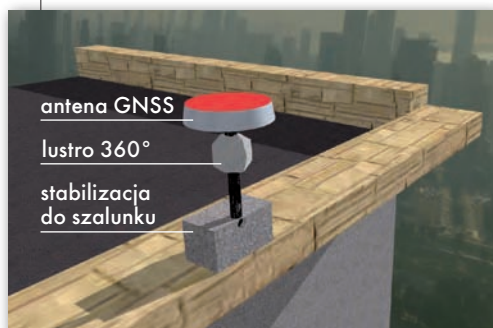
leży sporządzić jego model dynamiczny, łącząc dane przestrzenne z parametrami fizycznymi i meteorologicznymi w czasie rzeczywistym. Do przeprowadzenia redukcji współrzędnych punktów odniesienia na kondygnacjach – oprócz informacji dotyczących temperatury i ciśnienia atmosferycznego – potrzebne są aktualne dane na temat dwuwymiarowego pochylenia konstrukcji na poszczególnych jej poziomach. Zapewniają to precyzyjne pochyłomierze, które łączone są w strukturę sieciową i lokalizowane wzdłuż osi geometrycznej obiektu. Na rysunku 4 przedstawiono schemat systemu kontrolno-pomiarowego.

Gdy pochyłomierze są instalowane po raz pierwszy, muszą zostać prawidłowo skalibrowane w odniesieniu do pomiarów kontrolnych wykonanych na poziomie płyty fundamentowej. Ciągłe pomiary wychYLENIA konstrukcji rejestrowane są w czasie rzeczywistym, a ich wyniki stanowią podstawę do redukcji geometrycznych dla prac geodezyjnych wykonywanych na każdym piętrze. W ten sposób stale kontrolowana jest pionowość obiektu. Szczyty amplitudy wygładzonych danych przedstawiają wahanie konstrukcji, a średnie odchylenie linii cofania się ukazuje całkowite wychYLENIE konstrukcji. Dzięki opracowaniu dynamicznego modelu budynku możliwe

## RANKING NAJWYŻSZYCH BUDYNKÓW ŚWIATA

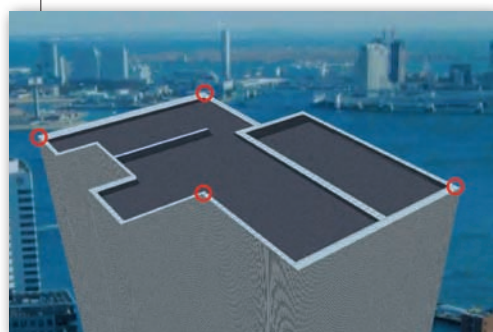
Nr w rankingu, nazwa obiektu (rok zakończenia budowy)	Miasto, kraj	Wysokość (liczba kondygnacji)
1. Taipei 101 (2004)	Tajpei, Tajwan	509 m (101)
2. Shanghai World Financial Center (2008)	Szanghaj, Chiny	492 m (101)
3. Petronas Tower (1998)	Kuala Lumpur, Malezja	452 m (88)
4. Sears Tower (1973)	Chicago, USA	442 m (108)
5. Jin Mao Tower (1998)	Szanghaj, Chiny	421 m (88)
6. Two International Finance Centre (2003)	Hongkong, Hongkong	415 m (88)
7. CITIC Plaza (1997)	Kanton, Chiny	391 m (80)
8. Shun Hing Square (1996)	Shenzhen, Chiny	384 m (69)
9. Empire State Building (1931)	Nowy Jork, USA	381 m (102)
10. Central Plaza (1992)	Hongkong, Hongkong	374 m (78)

na podstawie [http://cudaswiata.pl/news/najwyzsze\\_budynki\\_swiate.html](http://cudaswiata.pl/news/najwyzsze_budynki_swiate.html)



antena GNSS  
lustro 360°  
stabilizacja do szalunku

Rys. 5. Schemat budowy punktu odniesienia – antena GNSS i lustro 360° (źródło: Leica Geosystems AG)



Rys. 6. Schemat rozmieszczenia punktów odniesienia na budynku (źródło: Leica Geosystems AG)

jest wyprowadzenie odpowiednich wartości na każdym poziomie oraz skonfrontowanie ich z modelem przedstawionym w dokumentacji projektowej. Dokładność prac realizacyjnych przy użyciu opisanej technologii kształtuje się na poziomie od +/- 3 mm do +/- 15 mm w zależności od warunków zewnętrznych [Van Cranenbroeck, Hayes, Sparks, 2006].

Do nowoczesnych rozwiązań należy również coraz częściej monitoring powykonawczy w postaci zamontowanej na zrealizowanym obiekcie na stałe anteny satelitarnej GNSS (lub kilku anten), której sygnał przetworzony w stacji odbiorczej informuje w sposób ciągły o położeniu obiektu w przestrzeni. Dodatkowa eliminacja wpływów warunków zewnętrznych umożliwia jednoznaczną ocenę zachowania się badanej konstrukcji. Ma to duże znaczenie w sytuacjach spowodowanych szczególnymi warunkami pogodowymi (wiatry o wyjątkowym nasileniu i kierunku, nawałnice itp).

## • INNE ZASTOSOWANIA MONITORINGU BUDOWLANEGO

Ciekawym zagadnieniem jest monitoring istniejących obiektów budowlanych (monitoring przestrzeni miejskich) w sąsiedztwie budowy tuneli czy głębokiego fundamentowania (podziemne przepa-

wy dróg i autostrad, metra itp.). Warto przywołać tutaj choćby rozwiązania szwajcarskie ([www.westumfahrung.ch](http://www.westumfahrung.ch)) – w szczególności pionierski projekt budowy węzła autostradowego wewnątrz górotworu okalającego Zurych.

Wśród zastosowań zintegrowanych systemów pomiarowych należałoby wspomnieć o badaniu przemieszczeń i deformacji obiektów hydrotechnicznych. Na szczególną uwagę zasługują tu rozwiązania krajowe – na przykład monitoring zapory wschodniej zbiornika poflotacyjnego „Żelazny Most” kombinatu KGHM Polska Miedź SA ([www.leica-geosystems.com/pl/pl/lgs\\_66800.htm](http://www.leica-geosystems.com/pl/pl/lgs_66800.htm)). W projektach tych użycie instrumentów geodezyjnych umożliwiających pomiar ciągły jest nieodzownym warunkiem bezpieczeństwa prac budowlanych. Pozwala na ocenę sytuacji i daje podstawę do podjęcia decyzji w sytuacjach awaryjnych, a także wpływa na ograniczenie ryzyka roszczeń osób trzecich (badany jest bowiem wpływ prac na stan istniejącej zabudowy).

## • POLSKA GRUPA SPECJALISTYCZNA

Wybór Kuwejtu jako miejsca warsztatów „High-rise building construction and monitoring technology”, zorganizowanych przez polski oddział Leica Geosystems (21-23 października 2008 r.), nie był przypadkowy. To właśnie w tym regionie świata wznoszone są budynki, których wysokości sięgają 500 metrów i więcej (rekord stanowić będzie budowany jeszcze – Burj Dubai w Zjednoczonych Emiratach Arabskich – ponad 820 m). Dzięki temu przedstawiciele polskich przedsiębiorstw specjalizujących się w geodezji inżynierskiej oraz Zakładu Geomatyki Stosowanej WAT z Warszawy mogli nie tylko teoretycznie, ale i praktycznie zapoznać się z technologiami realizacji i monitorowaniu obiektów wysokich. Uczestnicy warsztatów wizytowali budowę obiektu Al-Hamra (docelowo 460 m). A dodatkowym efektem spotkania jest powstanie specjalistycznej grupy zrzeszającej firmę mającą doświadczenie i możliwości obsługi tak dużych projektów.

Jednocześnie nasuwa się pytanie o górną granicę wysokości obiektów przeznaczonych do zamieszkania i eksploatacji. Czy stanowi ją najwyższy obecnie, wspomniany Burj Dubai ([www.burjdubai.com](http://www.burjdubai.com))? Po zapoznaniu się z planami nowoczesnej urbanistyki i architektury, odpowiedź nie jest wcale taka oczywista. W niedalekiej przyszłości planowana jest

bowiem budowa obiektów o wysokości przekraczającej 1 km, natomiast rekordowy obiekt wznosić ma się aż na 2,4 km. Jak widać, możliwe staje się nawet chodzenie z głową w chmurach.

DR INŻ. KRZYSZTOF KARSZNIA

(specjalizuje się w zagadnieniach geodezji zintegrowanej i monitoringu strukturalnego, zatrudniony w Leica Geosystems Sp. z o.o.

na stanowisku kierownika

Działu Monitoringu Geodezyjnego)

MGR INŻ. MACIEJ WRONA

(specjalizuje się w zagadnieniach monitoringu strukturalnego konstrukcji inżynierskich, pracuje na stanowisku asystenta w Zakładzie Geomatyki Stosowanej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie)

Opisana technologia objęta jest patentem Europejskiego Urzędu Patentowego (przedmiot zgłoszenia: Surveying procedure and system for high-rise structure”. Wniosek opublikowany 11.07.2007 w biuletynie 06100189.7. Zgłaszającym jest Leica Geosystems AG, 9435 Heerbrugg, Szwajcaria. Wynalazcą jest Joel Van Cranenbroeck.

## Literatura

- Babu R, Wang J., 2009: Ultra-tight GPS/INS/PL integration: a system concept and performance analysis, GPS Solution;
- Farrell J., 2007: The Global Positioning System and Inertial Navigation, New York;
- Figurski M., Chmielewski M., Kroszczyński K., Kamiński P., Gałuszkiewicz M., Wrona M. 2007: System autorski WAT, GEODETA 2;
- Geodezja inżynierska, Praca zbiorowa, tom I, II, III, PPWK, Warszawa 1990;
- Góral W., Szewczyk J., 2004: Zastosowanie technologii GPS w precyzyjnych pomiarach deformacji, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków;
- Guziel A., 2002: Deformacje górotworu, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa;
- Instrukcja techniczna G-3, Geodezja obsługa inwestycji, GUGiK, Warszawa 1980;
- Karsznia K., 2008: Wykrywanie słabych punktów, Geodezji i geotechniczny monitoring w ujęciu dynamicznym, „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” lipiec-sierpień 2008;
- Karsznia K., 2008: Koncepcja pomiaru i wyrównania przestrzennych ciągów tachimetrycznych w zastosowaniach geodezji zintegrowanej, „Acta Scientiarum Polonorum, Geodesia et Descriptio Terrarum” 7(1) 2008;
- Lewandowski R., 2006: Dynamika konstrukcji budowlanych, WPP, Poznań;
- Ogaja C., Li X., Rizos C., 2007: Advances in Structural Monitoring with Global Positioning System Technology: 1997-2006, „Journal of Applied Geodesy”;
- Osada E., 2008: Geodezja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław;
- Przewłocki S., 2008: Geomatyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa;
- Rutledge D.R., Meyerholtz S.Z., Brown N. E., Baldwin C. S., 2006: Innovation: Dam Stability. Assessing the performance of a GPS Monitoring System; „GPS World”;
- Van Cranenbroeck J., Hayes D., Sparks I., 2006: Driving Burj Dubai core walls with an advanced data fusion system, Proceedings of the 12th FIG Symposium on deformation measurements, Baden, Austria, May 22-25;
- Van Cranenbroeck J., 2007: Advanced Surveying Control Services for Building the Vertical Cities, Strategic Integration of Surveying Services, Proceedings of the FIG Working Week 2007, Hong Kong SAR, China, May 13-17.