

PIOTR WITAKOWSKI*

ZDALNE MONITOROWANIE OBIEKTÓW BUDOWLANYCH PODCZAS BUDOWY I EKSPLOATACJI

REMOTE MONITORING OF BUILDING OBJECTS DURING THEIR EXECUTING AND EXPLOITATION

Streszczenie

W artykule przedstawiono zasadnicze warunki i potrzeby obiektów budowlanych z punktu widzenia zapewnienia jakości i bezpieczeństwa, jak też możliwości zaspokojenia tych potrzeb w wyniku najnowszych osiągnięć informatycznych. Ukazano budowany w ITB system zdalnego zarządzania jakością w budownictwie i składające się nań poszczególne podsystemy zdalnego monitorowania.

Słowa kluczowe: zdalny monitoring, obiekt budowlany, system zarządzania jakością, system internetowy

Abstract

The principal conditions and the needs from point of view of quality assurance and the safety of building objects have been presented. In other hand also possibility of satisfaction of these needs in result of the newest computer engineering achievements have been described. The system of quality management built in ITB has been showed and the consisting on him individual remote subsystems of monitoring as well.

Keywords: remote monitoring, building object, quality management system, Internet system

*Dr hab. inż. Piotr Witakowski, prof. AGH, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.

1. Monitoring

Monitoring często mylony jest z obserwacją. Trzeba więc podkreślić, że monitoring nie jest obserwacją, aczkolwiek obserwacja wchodzi w skład monitoringu. Monitoring (od łac. słowa *monitor* – ostrzegający, przypominający) jest to działalność mająca na celu wykrywanie zagrożeń. Podczas monitoringu niezbędne jest wcześniejsze ustalenie rodzaju zagrożenia – określenie warunku monitoringu – i dostosowanie systemu monitorowania do tego zagrożenia oraz ustalenie sposobu informowania o zagrożeniu. System monitoringu musi się więc składać zawsze z dwóch podsystemów: obserwacyjnego i ostrzegawczego. Podsystem obserwacyjny musi umożliwiać pozyskiwanie informacji stosownych do rodzaju potencjalnego zagrożenia. System ostrzegawczy musi być wyposażony w możliwość analizy obserwacji, porównywania jej ze stanami alarmowymi i przekazywania informacji o wystąpieniu stanów alarmowych pod ustalone adresy.

2. Monitoring zdalny – RM

Do zabezpieczenia obiektów budowlanych przed stanami awaryjnymi konieczny jest wyłącznie monitoring zdalny (ang. *Remote Monitoring*) wymagający zastosowania systemu zdalnego monitorowania (*Remote Monitoring System*). Przy takim monitoringu obserwator jest w miejscu na tyle odległym od miejsca obserwacji, że przekaz informacji z obiektu monitorowanego do obserwatora wymaga zastosowania odrębnej technologii transmisji. Do obserwatora może być przekazywana całość zaobserwowanej informacji lub jedynie informacja wytworzona przez podsystem ostrzegawczy.

3. Segmenty systemu zdalnego monitoringu – RMS

Na system zdalnego monitoringu RSM składają się zawsze 4 segmenty:

- 1) obserwacji (czujnika),
- 2) transmisji,
- 3) analizy (centrali),
- 4) dystrybucji.

Jeśli w segmencie transmisji wykorzystywany jest Internet, wówczas system nazywa się **systemem internetowym**, a jeśli w systemie istnieje również segment urządzeń wykonawczych działających na podstawie wyników uzyskanych w segmencie analizy, wówczas system taki nazywa się **systemem zdalnego sterowania**.

Segment obserwacji obejmuje wszelkie instalacje na obiekcie – czujniki, sondy, rejestratory, modemy, okablowanie itp. Rodzaj i rozmieszczenie czujników pomiarowych musi być dostosowane do warunku monitoringu. Czujniki powinny mierzyć taką wielkość fizyczną, jaka musi być analizowana dla badania warunku monitoringu. Zdarza się, że dla badania tego warunku niezbędna jest analiza różnych wielkości fizycznych i segment obserwacji musi być wyposażony w różne czujniki mierzące różne wartości, zwłaszcza gdy niezbędne jest prowadzenie analizy wielokryterialnej. Przykładowo, do analizy opartej na 4 kryteriach:

– wymiarów (np. grubość pokrywy śniegu),

- obciążeń (np. ciężar pojazdu),
 - przemieszczeń (np. ugięcia elementów kontrolnych),
 - drgań (amplituda i częstotliwość w odniesieniu do częstotliwości rezonansowej),
- niezbędne jest wyposażenie segmentu obserwacji w czujniki długości (grubości), siły, przemieszczeń i drgań.

Segment transmisji odpowiada za przekazanie obserwacji wykonanych przez segment obserwacji do ośrodka, w którym analizowane są poczynione obserwacje i identyfikowane jest potencjalne zagrożenie określone przez warunek monitoringu. Jego sprawne działanie (niezależnie od warunków) decyduje o skuteczności całego systemu monitorowania. Dla uniwersalności zastosowania i niezależności od lokalnych warunków segment transmisji w warunkach polskich powinien przewidywać łączność przewodową i bezprzewodową (np. GSM). Tylko wtedy będzie zapewniona możliwość monitorowania obiektu położonego w dowolnym miejscu na terenie Polski. Podstawowym medium dla łączności powinien być Internet.

Segment analizy obejmuje centralę systemu wraz z niezbędnym oprogramowaniem umożliwiającym analizę zaobserwowanych wyników. Dzięki systemowi transmisji centrala może być zlokalizowana w dowolnym punkcie. Wybór miejsca dla centrali nie jest jednak bez znaczenia. Powinno to być miejsce, w którym zlokalizowana jest równocześnie baza danych obejmująca wyniki wszystkich porównywalnych monitorowań, co umożliwi prowadzenie analiz porównawczych. Dla opisanego dalej systemu przeznaczonego do monitorowania obiektów budowlanych centrala wraz z bazą danych zlokalizowana jest na terenie ITB w Warszawie.

Segment dystrybucji powinien umożliwiać przekazywanie wyników analizy w dowolne miejsce kraju. Zasadniczym medium używanym do tego celu powinien być Internet. Segment ten ma znaczenie w przypadku, gdy reakcja na spełnienie warunku monitoringu musi być bezzwłoczna. Informacja o fakcie spełnienia warunku monitoringu (nazywanym też stanem alarmowym) powinna być natychmiast przekazana do osoby uprawnionej do podjęcia decyzji o sposobie zareagowania na wystąpienie takiego stanu. Segment ten musi więc działać w sposób umożliwiający przekazanie decydentowi informacji niezależnie od miejsca przebywania tej osoby. W systemach internetowych, tj. gdy segment transmisji wykorzystuje Internet, również segment dystrybucji działa, opierając się na tym samym medium.

4. Zdalny monitoring wizualny – *Remote Video Monitoring*

Spośród wszystkich systemów zdalnego monitorowania na szczególną uwagę zasługują systemy monitoringu wizualnego (ang. *Remote Video Monitoring*), określane symbolem RVM. Rozwijają się one bardzo dynamicznie i mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki. W systemach tych obserwacje są obrazami zdjętymi (zarejestrowanymi) przez urządzenia wizyjne – czujnikami są tu kamery lub aparaty fotograficzne. Dzięki temu mogą one dostarczać znacznie więcej informacji niż inne systemy. Równoczesny rozwój urządzeń wizyjnych i powstanie systemów telewizji przemysłowej CCTV (ang. *Close Circuit Tele-Vision*) umożliwiło zastosowanie tych systemów w wielu dziedzinach i powoduje nadal stale rosnące potrzeby w zakresie monitoringu wizyjnego. Jednym z obszarów zastosowania systemów jest monitoring obiektów budowlanych.

Ze względu na charakter obserwacji wizyjnych systemy monitoringu wizualnego różnią się od innych systemów monitorowania nie tylko rodzajem urządzeń obserwacyjnych, lecz całą swą strukturą i wymaganiami wobec innych segmentów. Dotyczy to zwłaszcza monitorowania obiektów budowlanych, gdzie systemy takie muszą się charakteryzować następującymi cechami:

- duża rozdzielczość dla oddania szczegółów,
- konieczność rozróżniania wielu kolorów dla wierności obrazu,
- konieczność zmiany długości ogniskowej obiektywu (*zoom*),
- konieczność pracy przy dużych zmianach jasności (noc–dzień),
- konieczność ruchu kamery (*pan-tilt*),
- konieczność wyposażenia stanowiska obserwacyjnego w zasilanie,
- duża ilość informacji zawartych w obrazie – trudna rejestracja i analiza danych,
- niezbędna szybkość ok. 20 klatek/s dla zachowania ciągłości ruchu przy monitorowaniu *on-line* – duże strumienie danych do transmisji,
- równoczesna rejestracja i transmisja video i audio,
- detekcja ruchu,
- konieczność zarządzania dużą liczbą kamer.

Wszystkie te cechy powodują, że systemy monitorowania wizyjnego są bardziej skomplikowane i droższe od systemów monitorujących inne wielkości fizyczne i wymagają wysokich kwalifikacji dla swej obsługi. Dają jednak tak kompleksową informację, że nie mogą ich zastąpić żadne inne systemy monitorowania.

5. Zdalny monitoring w budownictwie

Obiekty budowlane mają cykl życia złożony z 5 etapów. Są to:

- 1) koncepcja,
- 2) projektowanie,
- 3) realizacja,
- 4) eksploatacja,
- 5) rozbiórka.

Z punktu widzenia potrzeb monitoringu najważniejsze znaczenie mają etapy realizacji i eksploatacji. W etapie realizacji monitorowanie obiektu jest konieczne dla wprowadzenia systemów zarządzania jakością. W etapie eksploatacji najważniejszym celem monitorowania jest zapobieganie katastrofom budowlanym. W każdym z tych etapów istnieją jednak inne zagrożenia. Co za tym idzie, inaczej musi być sformułowany warunek monitoringu.

6. Faza realizacji – zagrożenia

W fazie realizacji obiektu (budowy) dwa największe zagrożenia, jakie mogą się pojawić, to:

- 1) utrata monolityczności,
- 2) utrata stateczności.

Zagrożenie utratą monolityczności pojawia się przede wszystkim przy budowie konstrukcji betonowych (i żelbetowych) jako możliwość wystąpienia pęknięć dzielących konstrukcję na dwie lub więcej części. Zagrożenie to jest wynikiem zmian temperatury, jakim poddawana jest konstrukcja betonowa na skutek wydzielającego się ciepła hydratacji cementu w czasie dojrzewania. Wyjątkowość budownictwa betonowego wynika bowiem stąd, że beton nie jest materiałem o ustalonych własnościach, ale dojrzewającym, zaś proces dojrzewania obejmuje:

- a) zmianę stanu skupienia, a następnie
- b) zmianę własności wytrzymałościowych.

Proces dojrzewania jest, z jednej strony, bardzo czuły na temperaturę, a z drugiej – sam powoduje zmiany temperatury i deformacje zagrażające monolityczności. Projektowanie konstrukcji musi być dla takich konstrukcji uzupełnione o:

- projektowanie materiału,
- technologię wykonania (pielęgnacji).

O jakości produktu końcowego decydują zastosowane surowce i materiały oraz następujące procesy technologiczne:

- przygotowanie mieszanki,
- przygotowanie deskowania i jego wnętrza,
- transport i układanie,
- pielęgnacja.

O prawidłowości tych procesów decydują nie tylko rodzaj wykonanych czynności, lecz również sekwencja, sposób oraz czas wykonania – harmonogram. Specyfika budownictwa betonowego jest zbliżona do przemysłu farmaceutycznego i spożywczego.



Ryc. 1. Odwiert z fundamentu wykonanego z betonu spełniającego wszystkie wymagania normowe.

Widoczne rysy powierzchniowe i spękania głębinowe

Fig. 1. Bore-hole from foundation made from concrete fulfilling all standard requirements.

Visible superficial scratches and depth cracks

Zagadnienia te nie znajdują odzwierciedlenia w normowej ocenie jakości. Dla normowej oceny jakości wymaga się badania wytrzymałości R , mrozoodporności F i wodoprzepuszczalności W . Wszystkie te trzy cechy (R , F , W) bada się na próbkach w warunkach

laboratoryjnych. Tym samym ocena jakości betonu oderwana jest od jego własności w konstrukcji, a monolityczność wykonanego elementu jest poza sferą zainteresowania normy. W żadnej normie nie stawia się wymagań termicznych, chociaż powszechnie wiadomo, że dla prawidłowego dojrzewania temperatura betonu musi mieścić się w pewnych granicach. Rodzi to zagrożenie spękania konstrukcji, mimo pozytywnego spełnienia wszystkich wymagań normowych (ryc. 1).

Zagrożenie utratą stateczności pojawia się przy wszystkich konstrukcjach, które ze względu na swój kształt (nachylenie) wymagają w fazie budowy stężeń lub podpór tymczasowych (ryc. 2).



Ryc. 2. Tymczasowe rozpory podczas budowy pylonu Mostu Siekierkowskiego
Fig. 2. Temporary struts during building of pylon of the Siekierkowski Bridge

Zagrożenie utratą monolityczności wymaga monitorowania pola temperatury wewnątrz dojrzewającego elementu betonowego, a zagrożenie utratą stateczności – monitorowania przemieszczeń konstrukcji.

7. Faza eksploatacji – zagrożenia

W fazie eksploatacji obiektu dwa największe zagrożenia, jakie mogą się pojawić, to:

- 1) zagrożenie pożarowe,
- 2) zagrożenie utratą nośności i stateczności.

Zagrożenie pożarowe jest podstawowym zagrożeniem badanym podczas eksploatacji obiektów budowlanych. Sposób kontroli obiektów pod tym względem jest ujęty w prawie budowlanym [1] i w rozporządzeniach. W szczególności rozporządzenie [2] określa kategorie obiektów, które muszą mieć stałe instalacje monitorowania zagrożenia pożarowego (czujki pożarowe), a także stałe instalacje gaśnicze (tryskacze). Zagadnienia bezpieczeństwa pożarowego mają bardzo bogatą literaturę techniczną i nie będziemy się nimi zajmować.

Zagrożenie utratą nośności i stateczności, mimo że dotyczy pierwszego tzw. wymagania podstawowego określanego przez dyrektywę unijną [3], jak też przez polskie pra-

wo budowlane, nie znajduje dotąd żadnego odzwierciedlenia w prawnym obowiązku prowadzenia monitoringu. W praktyce zawsze monitoruje się duże zapory wodne i mosty o dużej rozpiętości. Monitorowaniu zapór poświęcona jest cyklicznie organizowana międzynarodowa konferencja [4], a na temat monitorowania mostów pojawiło się wiele publikacji, np. [5]. Dla innych obiektów budowlanych systemy monitorowania są rzadkością. Brak wymagań prowadzenia monitoringu wobec przekrytych obiektów masowego użytku, takich jak hale sportowe, handlowe i widowiskowe powinien być szybko skorygowany. Utrata nośności lub stateczności w takich obiektach staje się przyczyną śmierci wielu osób.

Monitorowanie obiektów halowych ze względu na nośność i stateczność powinno mieć charakter i zasięg podobny do obowiązującego monitorowania ze względu na bezpieczeństwo pożarowe. W pierwszym rzędzie powinny być monitorowane obiekty wysokiego ryzyka – zapory, mosty, hale, wieże. Monitorowaniu dla takich konstrukcji powinny podlegać:

- 1) obciążenia (geometryczne, termiczne, dynamiczne),
- 2) sama konstrukcja, tj. jej spadek nośności lub stateczności z powodu zmiany warunków podparcia, korozji, reologii.

Do monitorowania obciążeń należy stosować czujniki dostosowane do rodzaju obciążenia, natomiast do monitorowania konstrukcji pod względem jej nośności i stateczności niezastąpione są systemy wizyjne dostosowane do monitorowania zmian geometrii.

8. Centrum Usług Zarządzania Jakością w Budownictwie

W Instytucie Techniki Budowlanej trwają od kilku lat prace zmierzające do budowy Centrum Usług Zarządzania Jakością w Budownictwie. Zakres świadczonych usług ma przede wszystkim obejmować wszystkie rodzaje budownictwa betonowego jako tego budownictwa, które stawia największe wymagania systemom jakości. W pierwszym etapie Centrum powinno swym działaniem objąć fazę realizacji dla tego budownictwa. W dalszej kolejności zakres usług będzie rozszerzany na inne rodzaje budownictwa i na fazę eksploatacji. Zasięg działania Centrum w toku dotychczasowych prac został najpierw sprawdzony przy monitorowaniu budów położonych na terenie Warszawy, a następnie przy monitorowaniu budów położonych w innych miastach (Kraków, Wrocław, Poznań). Nie natrafiono na trudności, które uniemożliwiałyby monitorowanie budów położonych w dowolnym punkcie Europy, jeśli tylko w punkcie tym można zapewnić łączność kablową, internetową lub GSM.

Strukturę informatyczną Centrum przedstawiono w tablicy 1.

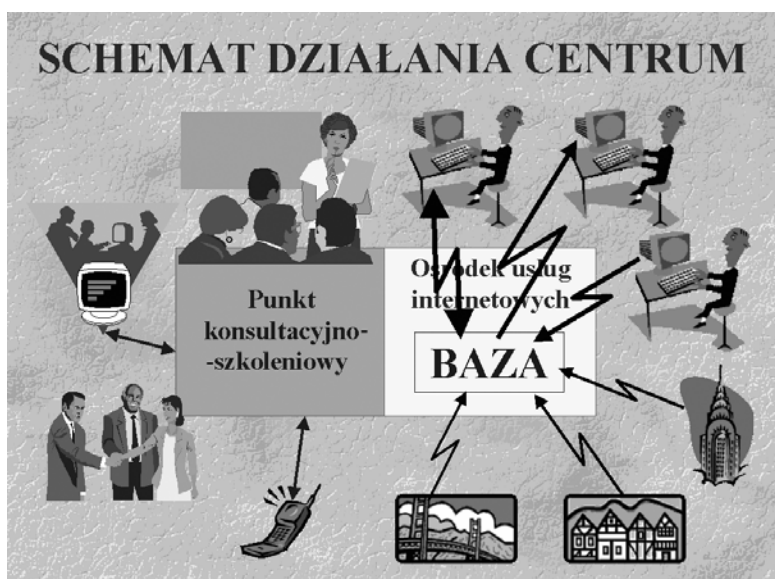
Tablica 1

Struktura informatyczna Centrum		
System zarządzający Centrum		
Baza danych	system zarządzania bazą danych	
	system zarządzający jakością robót	a) podsystemy zarządzające dla SZJ
		b) podsystemy zdalnego pomiaru
		c) podsystemy laboratoryjne
		d) podsystemy obliczeniowe
systemy powiązania inwestycji z terenem – MAPINFO		
oprogramowanie wirtualnej budowy		

Centrum stanowi w istocie szereg zintegrowanych systemów monitorowania połączonych wspólnym segmentem analizy. Segment ten (segment centrali), z którym komunikują się urządzenia pomiarowe i obserwacyjne rozmieszczone na budowach, położony jest na terenie ITB. Segment transmisji oparty jest na sieci GSM i Internecie. Zasadniczym zadaniem systemu informatycznego Centrum jest umożliwienie zdalnego zarządzania jakością, natomiast centralną jego część stanowi globalna baza danych i obsługujące ją oprogramowanie. Zlokalizowanie w Centrum zarówno bazy danych, jak też oprogramowania analitycznego umożliwi obsługę systemu przez wykwalifikowany personel oraz pielęgnację i doskonalenie oprogramowania. Zasadniczą zaletą jest jednak fakt, że rozwiązanie takie pozwala na prowadzenie analiz:

- 1) na podstawie obserwacji i pomiarów wykonanych w tym samym czasie przez różne systemy pomiarowe (analiza kompleksowa),
 - 2) na podstawie obserwacji i pomiarów wykonanych przez ten sam system pomiarowy, lecz w różnym czasie (analiza historyczna),
- ponieważ w tej samej bazie gromadzone są wyniki pochodzące z różnych czasów i z różnych systemów. Umożliwia to prowadzenie analiz praktycznie niewykonalnych dla szeregu oddzielnych systemów monitorowania.

Schemat działania Centrum zilustrowano na ryc. 3.



Ryc. 3. Schemat działania Centrum Usług Zarządzania Jakością w Budownictwie
Fig. 3. Scheme of working of the Centre of Services of the Quality Management in Building

Spośród wszystkich systemów informatycznych składających się na Centrum za możliwość zdalnego działania odpowiedzialne są **podsystemy zdalnego pomiaru**. W zależności od rodzaju mierzonej wielkości podsystemy te muszą być wyposażone w inny segment obserwacji i dysponować innymi czujnikami. W założeniach Centrum powinno umożliwiać monitorowanie wszystkich wielkości interesujących dla inżyniera z punktu widzenia zarządzania jakością [6, 7]. Dla uzyskania tak rozumianej kompletności całego systemu

zdalnego zarządzania jakością niezbędne jest powstanie następujących podsystemów zdalnego pomiaru i obserwacji:

- 1) **pomiaru temperatury (SPT)**
- 2) **pomiaru wytrzymałości (SPD)**
- 3) **pomiaru położenia (GPS)**
- 4) **zdalnej wizualizacji (ZOW)**
- 5) **pomiaru wilgotności (SPW)**
- 6) *pomiaru konduktancji*
- 7) *pomiaru przemieszczeń*
- 8) *pomiaru odkształceń*
- 9) pomiaru przyspieszeń
- 10) pomiaru siły
- 11) pomiaru ciśnienia

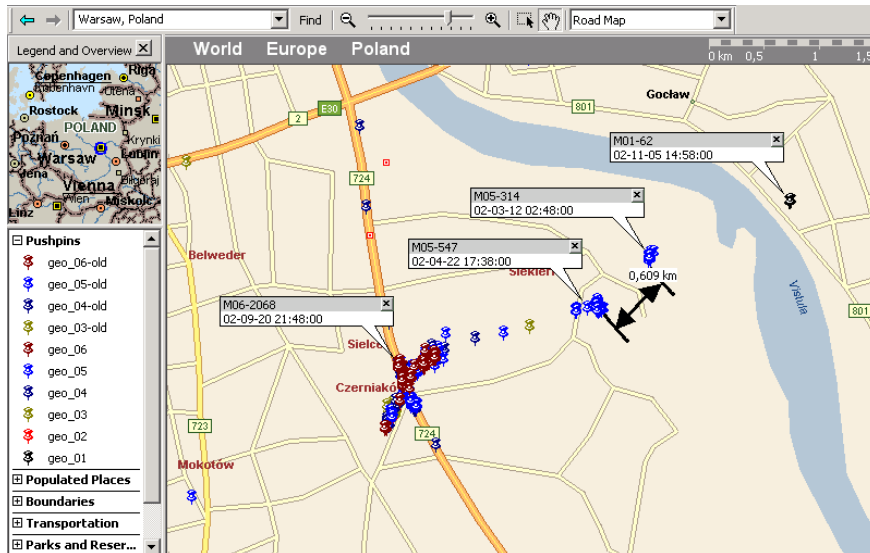
Lista tych podsystemów nie jest zamknięta i w razie potrzeby można będzie dołączać nowe podsystemy pomiarowe.

W ramach dotychczasowych prac zostały już wykonane i przetestowane w praktyce podsystemy zaznaczone na powyższej liście pogrubioną czcionką i opatrzone trzyliterowymi symbolami. Wszystkie te podsystemy zostały już z powodzeniem zaimplementowane w praktyce budowlanej. Podsystemy zaznaczone na powyższej liście kursywą są obecnie przedmiotem badań i rozwoju, a ich wdrożenie będzie następować w ciągu najbliższego roku.

Podsystem pomiaru konduktancji (przewodności elektrycznej materiału) służy do pośredniego pomiaru wilgotności materiału w wysokim zakresie wilgotności. Może mieć również inne przeznaczenie, jeśli tylko badane zjawisko wpływa na przewodność elektryczną i daje się wcześniej skalibrować.

Szczególne znaczenia nabierają obecnie podsystemy pomiaru przemieszczeń i odkształceń. Wiąże się to nie tylko z jakością (dokładnością geometryczną wykonania obiektu) w czasie budowy, lecz również ze wzmożoną obecnie troską o bezpieczeństwo obiektów masowego użytkowania w czasie ich eksploatacji w kontekście ich nośności i stateczności. Ponieważ ewentualna katastrofa budowlana poprzedzona jest zawsze deformacjami obiektu, które można przełożyć na przemieszczenia punktów charakterystycznych lub odkształcenia elementów charakterystycznych, monitoring z punktu bezpieczeństwa konstrukcji można tu prowadzić przez pomiar tych wielkości w wybranych punktach i elementach. Prowadzone prace badawcze, projektowe i konstrukcyjne przyjmują za podstawę rozwiązania istniejące w systemach GPS i ZOW (por. ryc. 4 i 5). Pozwala to na zastosowanie do pomiaru odległości, przemieszczeń i odkształceń metod wizyjnych – bezdotkowych.

Niezależnie od informacji pozyskiwanych przez podsystemy zdalnego pomiaru, do analizy można włączać informacje z podsystemów laboratoryjnych umożliwiających badanie własności tych materiałów, które stosowane są na monitorowanej budowie. Pozwala to np. na ustalanie wielkości naprężeń w monitorowanym obiekcie betonowym na podstawie mierzonych bezpośrednio na budowie odkształceń i mierzonych w laboratorium zmiennej sztywności materiału. Można do tego celu skorzystać z istniejącego podsystemu do badania dynamiki narastania wytrzymałości DNW [8].



Ryc. 4. Działanie systemu GPS zastosowanego do lokalizacji sond pomiarowych podczas monitoringu obiektów Trasy Siekierkowskiej w Warszawie. Można odtworzyć na mapie przebieg Trasy i odległości między poszczególnymi punktami pomiarowymi

Fig. 4. Working of the GPS system applied to the location of measuring probes during monitoring of objects of Siekierkowska Route in Warsaw. It was can reproduce on a map the course of the Route and distance between individual measuring points



Ryc. 5. Kamera (analogowa) podsystemu ZOW wraz z obrotnicą, zainstalowana do monitorowania przebiegu budowy

Fig. 5. Camera (analog type) of the ZOW subsystem together with the turn-table installed to monitoring the course of building

9. Zakończenie i wnioski

Zdalne monitorowanie obiektów budowlanych jest niezbędne dla zapewnienia jakości w czasie budowania obiektu i zapewnienia bezpieczeństwa w czasie jego użytkowania. Obecne możliwości płynące z postępu w elektronice, technice pomiarowej i informatyce stwarzają możliwość monitorowania dowolnych obiektów położonych w dowolnym miejscu i w trybie *on-line*. W istocie likwiduje to wszelkie bariery, na jakie natrafiała ocena obiektu wynikające z czasu i przestrzeni. Budowany w ITB system zarządzania jakością pozwoli na podniesienie jakości w budownictwie i zwiększenie bezpieczeństwa obiektów eksploatowanych. Umożliwi standaryzację trybu nadzoru i nawet najmniejsze firmy będą mogły korzystać z pełni wiedzy dostępnej dzięki najnowszym osiągnięciom.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, tekst jednolity, DzU Nr 156 z dnia 1 września 2006 r., poz. 1118.
- [2] Rozporządzenie MSWiA z dnia 21.04.2006 r., DzU Nr 80, poz. 563.
- [3] Dyrektywa Rady Europejskiej Nr 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 r., w sprawie zbliżenia przepisów prawnych i administracyjnych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych.
- [4] <http://www.emwis.net/thematicdirs/events/sev828242>.
- [5] <http://www.ibdim.edu.pl/konferencje/seminarium/sem1/index.htm>.
- [6] Witkowski P., *Koncepcja centrum usług zarządzania jakością w budownictwie betonowym*, Wydawnictwo ITB, Warszawa 2005.
- [7] Witkowski P., *Internetowy monitoring wznoszonych i eksploatowanych obiektów betonowych*, XX Konferencja Naukowo-Techniczna „JADWISIN '2006” Beton i Prefabrykacja, Serock, maj 2006.
- [8] Witkowski P., *Skomputeryzowane urządzenie do badania narastania wytrzymałości*, Inżynieria i Budownictwo, 1993/10.