



Jerzy Kowalewski\*  
Paweł Sulik\*\*

## **WIARYGODNOŚĆ I SKUTECZNOŚĆ MONITORINGU BEZPIECZEŃSTWA KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH**

### **1. Wprowadzenie**

Po katastrofie hali w Katowicach, w styczniu 2006 r., zwiększyła się podaż ofert systemów monitoringu bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, co obecnie związane jest również z zapisami zawartymi w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1], które nakazują wyposażać budynki użyteczności publicznej z pomieszczeniami przeznaczonymi do przebywania znacznej liczby osób, takimi jak: hale widowiskowe, sportowe, wystawowe, targowe, handlowe, dworcowe, w zależności od potrzeb, w urzędzenia do stałej kontroli parametrów istotnych dla bezpieczeństwa konstrukcji, takich jak: przemieszczenia, odkształcenia i naprężenia w konstrukcji.

Celem referatu nie jest ocena stosowania współczesnych rozwiązań i urządzeń do prowadzenia pomiarów wielkości charakteryzujących zachowanie się eksploatowanych obiektów budowlanych. Referat ma uzmysłwić użytkownikom przedmiotowych systemów, konieczność zachowania zdroworozsądkowego dystansu w stosunku do coraz powszechniejszych opinii o generowaniu w sposób automatyczny przez systemy, wiedzy o stanie bezpieczeństwa monitorowanej konstrukcji.

W referacie przedstawiono charakterystyczne cechy oferowanych i zainstalowanych systemów monitorujących stan bezpieczeństwa konstrukcji eksploatowanych obiektów budowlanych. Podano również uwagi dotyczące podstaw merytorycznych i kryteriów oceny stanu konstrukcji, jakie powinny być spełnione przy systemach monitorujących bezpieczeństwo konstrukcji obiektów budowlanych.

### **2. Oferowane systemy z zakresu monitoringu stanu konstrukcji**

Potrzebę stosowania monitoringu bardzo często uzasadnia się przywołując katastrofę hali w Katowicach. To tragiczne wydarzenie wykorzystywane jest zarówno przez typowe firmy komercyjne, jak i instytucje oraz osoby o uznanym autorytecie. Oto 2 przykłady: „*Niedawne katastrofy budowlane (m.in. zawalenie się katowickiej hali MTK) oraz stany zagrożenia*

---

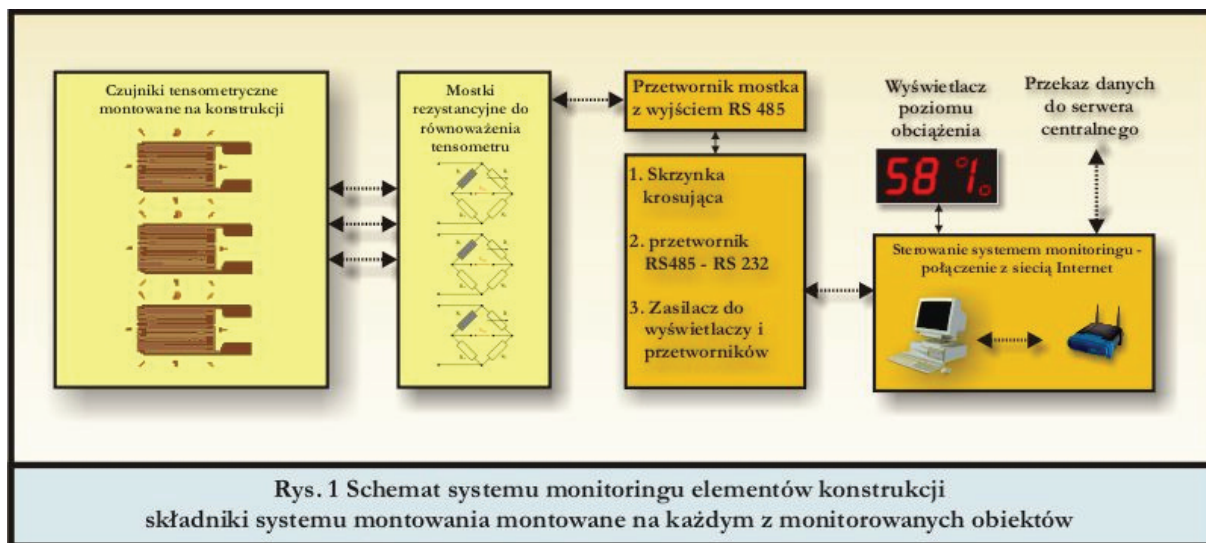
\* mgr inż. – Instytut Techniki Budowlanej

\*\* dr inż. – Instytut Techniki Budowlanej

pojawiające się w budynkach użyteczności publicznej sprawiły, że zaczęto jeszcze intensywniej szukać narzędzi skutecznie zabezpieczających konstrukcje budowlane.” [2]; „Takim tragicznym przykładem jest choćby ostatnia katastrofa w Katowicach, której można było uniknąć monitorując w sposób ciągły stan wyężenia konstrukcji.” [3].

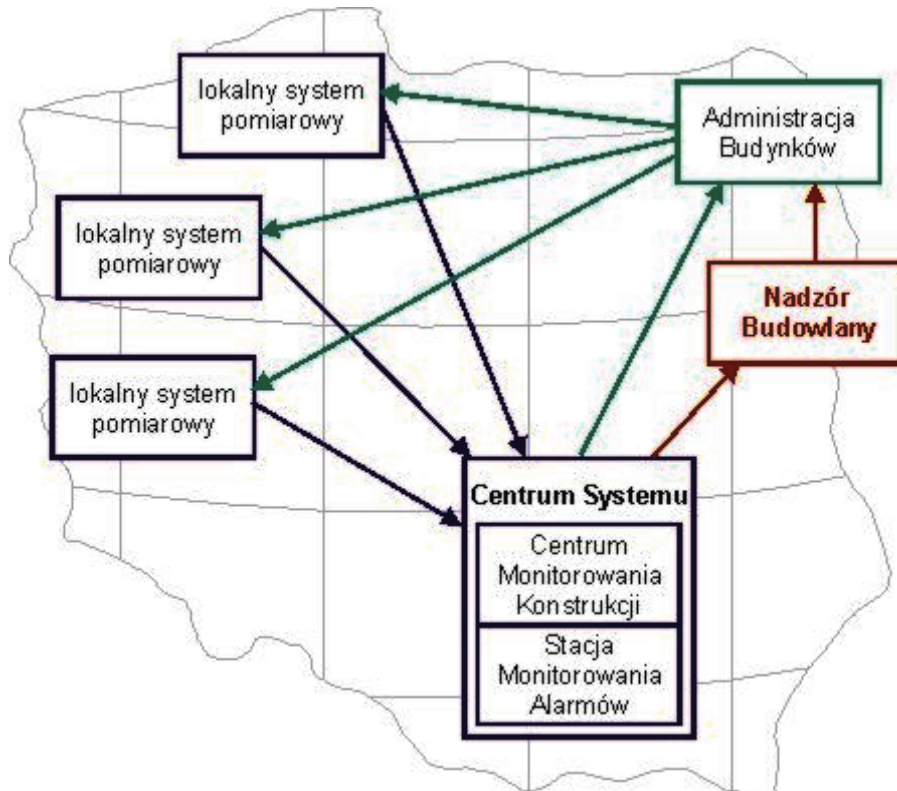
W oferowanych systemach monitorujących konstrukcje budowlane, przedstawiane są obszernie elektroniczno-informatyczne charakterystyki tych systemów. Do monitorowania wykorzystywane są urządzenia pomiarowe: tensometryczne, interferometryczne, piezoelektryczne, optyczne (metody koherentne i niekoherentne), światłowodowe typu FBG (Fiber Bragg Grating), radarowe, laserowe, mikrofalowe, zdalne, bezdotykowe i wiele innych. Dla gromadzenia i przesyłania danych stosowane są relacyjne bazy danych, łącza światłowodowe, transmisje bezprzewodowe itd. Używane są GPS, transmisje satelitarne, systemy SHM (Structural Health Monitoring) itp. W tytułach kładzie się nacisk na technologiczną stronę zagadnienia np. „System monitorowania konstrukcji z zastosowaniem filtra modalnego”, „System monitorowania konstrukcji w oparciu o wibrotermografię”, „Monitorowanie konstrukcji mostowych z wykorzystaniem wysokoczęstotliwościowych pomiarów GNSS (Global Navigation Satellite System)” i in. Nie ulega wątpliwości, że w sferze ofertowo-reklamowej systemów monitorujących bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych zaprezentowane są najnowsze osiągnięcia elektroniki i informatyki.

W opisach reklamowych przedstawione systemy monitorowania są niewiarygodnie precyzyjne i bardzo łatwe w obsłudze nawet dla laików z zakresu bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych. Na rys. 1 [4] pokazano reklamowy schemat systemu monitoringu.



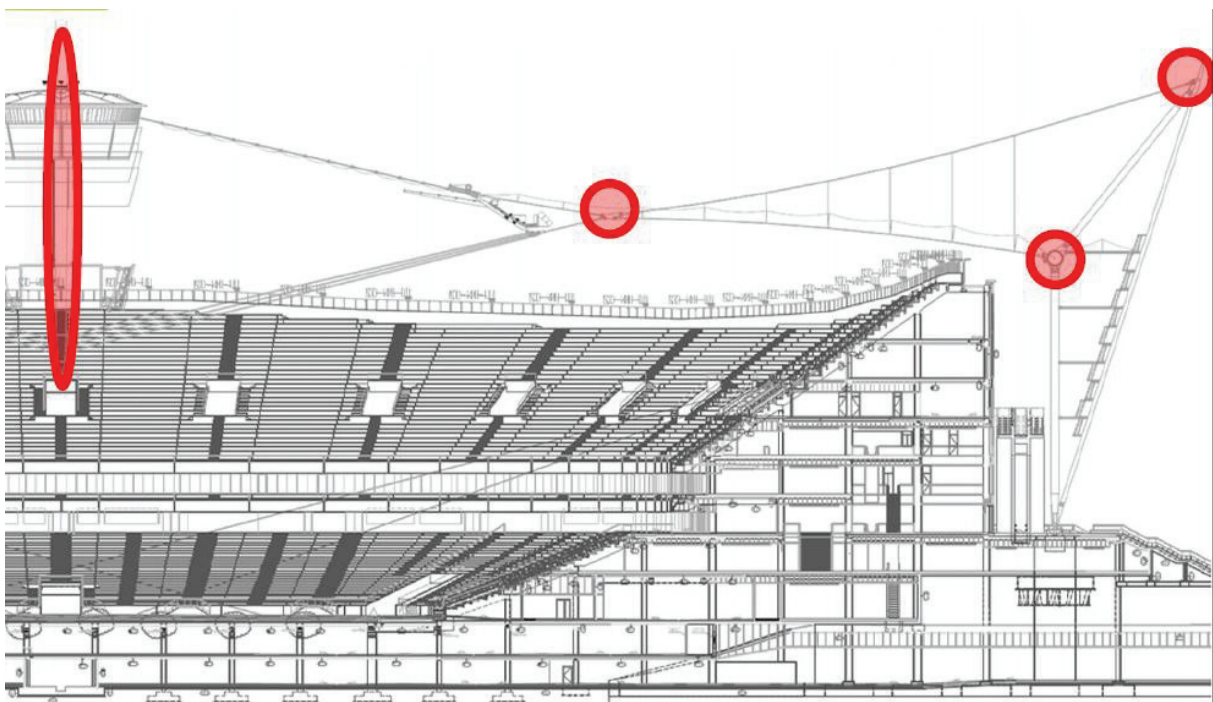
Zwraca uwagę wyświetlacz z czerwoną liczbą „58%” oznaczającą poziom obciążenia. W opisie tego systemu stwierdzono: „Alarm ustawia się w ten sposób, aby informacja o zbliżającym się stanie granicznym nośności przekazywana była przy poziomie obciążenia rzędu 90%.”[4]. Należy zadać sobie pytanie: czy w systemie każdy użytkownik, w sposób indywidualny będzie mógł sobie ustalić poziom obciążenia przy którym ma być alarmowany?

W innym przypadku reklamowanego systemu monitoringu można przeczytać, że „Jednostka Centralna może być wyposażona w dodatkowe elementy sygnalizacyjne tj. syreny, koguty, sygnalizatory świetlne” [5] oraz zobaczyć czerwono – żółto – zieloną lampę sygnalizującą wchodzącą w skład systemu.



Rys. 2 Ogólnopolski zasięg monitoringu konstrukcji budowlanych

Na rys. 2 przedstawiony jest schemat reklamowanego, ogólnopolskiego systemu monitoringu zagrożeń konstrukcji budowlanych [5]. Właściciele (zarządcy, użytkownicy) traktują informacje o stanie technicznym swoich obiektów budowlanych jako strzeżoną, informację o charakterze wrażliwym. Czy w takim wypadku będą chcieli za własne pieniądze zainstalować system, który zbierane dane będzie przekazywać do nadzoru budowlanego?



Rys. 3 Postulowane miejsca monitoringu

W oferowanych i reklamowanych systemach skromne i zdawkowe są informacje na temat merytorycznych podstaw i budowlanych zasad działania monitoringu. Brak jest wyjaśnień o metodach i kryteriach oceny konstrukcji na podstawie pomiarów, jakie są wykonywane w trakcie monitoringu. Nie są znane dowody, potwierdzające wyższą skuteczność automatycznego monitoringu w stosunku do metod dotychczas stosowanych w sprawdzaniu stanu konstrukcji budynków. Brak jest wiarygodnych zasad, metod i kryteriów decydujących o bezpieczeństwie konstrukcji budowlanych, które mogłyby być automatycznie rozstrzygane w trakcie monitoringu.

W opisach występują jedynie ogólne np. „*zaimplementowane algorytmy obliczające dostarczają kompleksowych i dokładnych danych na temat parametrów statycznych i dynamicznych konstrukcji*” [3]. Dla przytoczonych wcześniej faktów nie ma podanych żadnych merytorycznych uzasadnień. Dla cytowanej poprzednio liczby 90% nie jest wyjaśnione w stosunku do jakiego obciążenia się odnosi.

Na zasadzie wyjątku znacznie więcej informacji podanych jest w opisie monitoringu hali Olivia w Gdańsku. Komunikat 2 (Stan ostrzeżenia) wysyłany jest „*w przypadku jeżeli odkształcenia i przemieszczenia przekroczą 30% wartości granicznej wyznaczonej dla normowego poziomu śniegu zalegającego na konstrukcji dachu*”. Komunikat 3 (Awaria) wysyłany jest „*gdy przemieszczenie i odkształcenia dachu przekroczą 80% swoich wartości granicznych*” [6]. Z podanego opisu wynika, że hala Olivia monitorowana jest z wykorzystaniem 68 czujników do pomiaru przemieszczeń, odkształceń i temperatury oraz 6 kamer rejestrujących widoki wewnątrz i na zewnątrz hali. Z podanych informacji należy wnosić, że bardzo istotne z punktu widzenia pracy konstrukcji hali Olivia, połączenia nie są monitorowane. W przypadku elementów sprężających mamy do czynienia wyłącznie z monitoringiem strefy zakotwień.

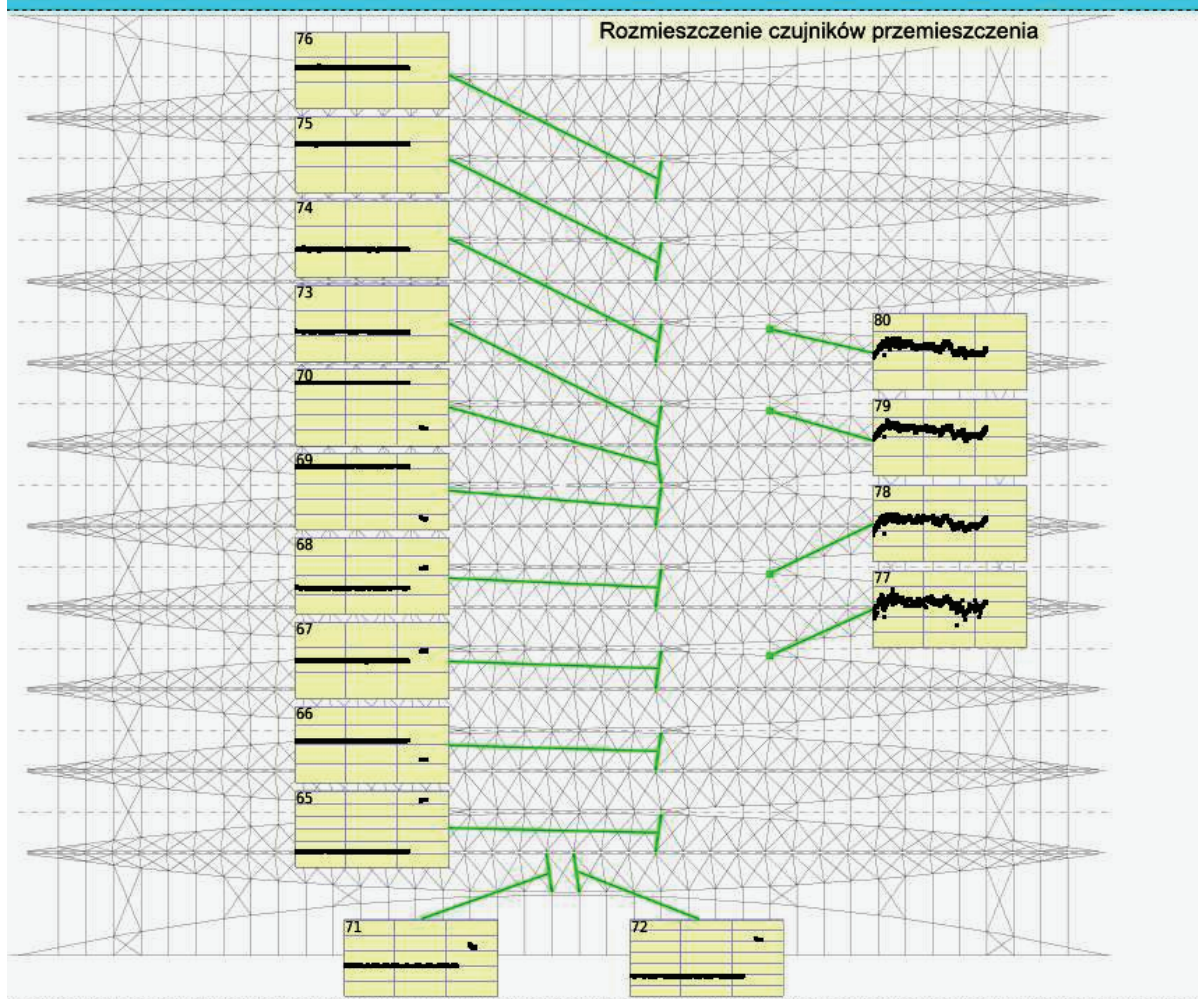
Na rys. 3 pokazano postulatywny sposób monitorowania konstrukcji [7]. Jako podlegające monitoringowi wskazane są przede wszystkim węzły konstrukcyjne. Taki sposób monitoringu jest poprawny, ponieważ obejmuje niewrażliwe zazwyczaj połączenia.

Na rys. 4 pokazano schematycznie objęte monitoringiem elementy konstrukcyjne hali Olivia w Gdańsku [8]. Monitorowane są przemieszczenia elementów konstrukcyjnych, co stosunkowo łatwo można mierzyć, natomiast pominięte są węzły.

Skuteczne zabiegi lobbystyczne doprowadziły do nowelizacji w 2009 r. aktów prawnych w sposób bardzo korzystny dla oferentów systemów monitorujących konstrukcje budowlane. W Rozporządzeniu [1] wprowadzono w § 204 specjalny pkt. 7 zalecający stosowanie monitoringu. Stało się to bardzo efektywnym narzędziem dla wszystkich, którzy mają interes w stosowaniu monitoringu. Można znaleźć wiele opisów w reklamowanych systemach monitoringu konstrukcji budowlanych, w których szczegółowo omawia się zalecenia administracyjne. Własne systemy monitoringu przedstawiane są, jako spełnienie jedynie słusznych wymagań administracji budowlanej, np. [2, 7].

Nie ulega wątpliwości, że głównym powodem ofensywy w zakresie monitoringu bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych są perspektywy zysków finansowych z tym związanych. Przygotowując i instalując system monitoringu można uzyskać kwoty rzędu od 0.3% do 1.5% wartości nowej inwestycji [9].

Pokaźne środki finansowe można także otrzymać pod hasłem prac związanych z systemami monitorującymi, np. 45 milionów PLN [10]



Rys. 4 Realizowane miejsca monitoringu hali Olivia w Gdańsku

### 3. Podstawy merytoryczne monitoringu

Obiekty budowlane są oceniane z punktu widzenia różnych cech i funkcji. Również monitoring może dotyczyć różnych zagadnień np. bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego, ochrony środowiska itp. Tutaj poruszono jedynie problemy monitorowania konstrukcji budowlanych ze względu na spełnienie warunku stanu granicznego nośności.

Ustawa Prawo budowlane [11] stanowi, że obiekty budowlane muszą spełniać wymagania podstawowe. Wśród tych wymagań jako pierwsze wymienione jest bezpieczeństwo konstrukcji. Uszczegółowienie wymagań zawierają inne dokumenty oraz normy.

Dokument interpretacyjny do Dyrektywy 89/106/EEC [12] stwierdza, że stosowane najczęściej sposoby sprawdzania oparte są na metodzie stanów granicznych. Metoda stanów granicznych jest wykorzystywana w normach projektowych (np. żelbetowych i stalowych) w wersji krajowej (PN-B) jak i Eurokodach.

Sprawdzanie stanów granicznych nośności polega na wykazaniu, że w każdym miarodajnym przekroju (elemente) konstrukcji, przy każdej kombinacji oddziaływań obliczeniowych spełniony jest warunek:

$$S_d < R_d \quad (1)$$

gdzie:  $S_d$  – oznacza obliczeniową siłę wewnętrzną wywołaną oddziaływaniami  
 $R_d$  – oznacza odpowiednią nośność obliczeniową

Warunek stanu granicznego nośności jest zasadniczym kryterium decydującym o akceptacji albo dyskwalifikacji konstrukcji. Monitorując konstrukcję trzeba odnieść się do tego warunku. Nie można tworzyć, jak czynią to niektórzy autorzy piszący o monitoringu, własnych kryteriów zapobiegania katastrofom budowlanym.

Warunek stanu granicznego nośności musi być spełniony dla konstrukcji i dla wszystkich jej elementów w tym także dla wszystkich połączeń. Warunek ten musi być spełniony dla wszystkich sił wewnętrznych np. momentów zginających, momentów skręcających, sił poprzecznych, sił osiowych, itd. jak i ich kombinacji. Przy wyznaczaniu wartości sił wewnętrznych  $S_d$  trzeba stosować najniekorzystniejsze oddziaływania (obciążenia). W praktyce oznacza to tworzenie obwiedni ekstremalnych wartości sił wewnętrznych i sprawdzanie stanów granicznych nośności dla takich ekstremalnych wartości.

$S_d$  i  $R_d$  są wartościami obliczeniowymi. Przy ich wyznaczaniu stosowane są metody, parametry i współczynniki ściśle określone w poszczególnych normach. Dla tak określonych wartości nieuprawnione są żadne oszacowania, co do rzeczywistych wartości sił wewnętrznych i nośności. Podane w normach warunki stanu granicznego nośności są wynikiem wiedzy i doświadczenia dotyczącego konstrukcji budowlanych, a także konsensusu między stronami korzystającymi z tych norm.

Przy projektowaniu albo diagnostyce obiektu budowlanego sprawdzane i oceniane są także inne warunki np. stan graniczny użyteczności, które mogą prowadzić do dyskwalifikacji obiektu. W przeważającej większości przypadków spełnienie warunków stanów granicznych nośności stanowi o bezpieczeństwie konstrukcji i spełnieniu w tym zakresie wymagań ustawowych.

W trakcie monitoringu konstrukcji budowlanej mierzone są wielkości przemieszczeń i ewentualnie odkształceń. Dla potrzeb oceny stanu konstrukcji konieczne jest określenie warunków w postaci przemieszczeń:

$$u < v \quad (2)$$

gdzie:  $u$  – przemieszczenie punktu konstrukcji zmierzone w trakcie monitoringu  
 $v$  – graniczna wartość przemieszczenia punktu konstrukcji wyznaczona z warunku stanu granicznego nośności

Dla wyznaczenia granicznych wartości przemieszczenia  $v$  trzeba z warunku stanu granicznego nośności określić ekstremalne wartości obciążeń. Dla takich wartości obciążeń należy obliczyć przemieszczenia w charakterystycznych punktach konstrukcji. Do obliczeń powinny być przyjmowane charakterystyczne wartości sił obciążających oraz powinny być wyznaczone obwiednie (ekstremalne) wartości przemieszczeń analogicznie jak wyznacza się obwiednie (ekstremalne) wartości sił wewnętrznych przy sprawdzaniu warunku nośności.

Problem komplikuje również fakt, że przy realizacji monitoringu początek obserwacji obiektu następuje, gdy konstrukcja jest już przynajmniej częściowo obciążona, a więc pomiar „zerowy” obserwacji odnosi się do stanu, gdy punkty konstrukcji mają już jakieś przemieszczenia.

Wyznaczenie granicznych wartości przemieszczeń  $v$  nie jest trywialne, ponieważ dla konstrukcji budowlanych nie ma prostej relacji  $\sigma - \varepsilon$ . Trzeba też pamiętać, że ze względu na skomplikowane zjawiska (np. zarysowanie betonu, reologia), w praktyce budowlanej określa się różne przemieszczenia np. krótkotrwałe, długotrwałe, sprężyste, plastyczne itp.

Wyznaczanie wartości granicznych przemieszczeń jest trudnym, złożonym i odpowiedzialnym zadaniem. Brak jest doświadczeń w tym zakresie, a także specjalistycznych narzędzi komputerowych tego typu jak programy komputerowe sprawdzające i wymiarujące konstrukcje wg kryteriów siłowych (naprężeniowych).

Mówiąc o monitoringu i pomiarach przemieszczeń konstrukcji budowlanych mamy z reguły na myśli takie sytuacje jak ugięcia na skutek momentów zginających. Pomiary ugięć można stosunkowo łatwo realizować. Bardzo trudno jest wykonać pomiary, które umożliwiłyby ocenę spełnienia warunków nośności w zakresie przykładowo: sił poprzecznych, połączeń np. spawanych, śrubowych, wybożenia lokalnego i globalnego oraz wielu innych.

#### 4. Obciążenia próbne a monitoring

Badanie stanu technicznego konstrukcji (w tym nośności) za pomocą obciążeń próbnych polega na stosowaniu różnych wartości obciążeń i pomiarach przemieszczeń. Warto podkreślić, że w trakcie badania stosuje się zazwyczaj różne cykle obciążeń i odciążenia oraz różne wartości obciążeń.

Schemat badań za pomocą obciążeń próbnych można przedstawić w postaci:

Obciążenia > **Konstrukcja** > Przemieszczenia

Przy ocenach konstrukcji mamy do dyspozycji wartości obciążeń i odpowiadające im wartości przemieszczeń. Zależnie od stopnia informacji jakie są do dyspozycji sama konstrukcja jest w większym lub mniejszym stopniu „czarną skrzynką”.

Obciążenia próbne nie znajdują obecnie szerszego zastosowania przy badaniu i ocenie stanu technicznego konstrukcji budynków. Prof. Bohdan Lewicki w monografii [13] stwierdza, że taki stan rzeczy wynika ze złożoności zagadnień, braku podbudowy teoretycznej oraz, że dla kryteriów oceny nie ma naukowego uzasadnienia.

W przypadku monitorowania konstrukcji schemat można przedstawić w postaci:

**Konstrukcja** > Przemieszczenia

Z punktu widzenia oceny konstrukcji sytuacja tutaj jest o wiele trudniejsza niż w przypadku obciążeń próbnych, ponieważ znany jest jedynie skutek, a nie wiadomo jaka jest przyczyna. Skoro łatwiejsze w praktycznym zastosowaniu obciążenia próbne nie są skutecznym sposobem na ocenę stanu technicznego konstrukcji (w tym nośności), to w przypadku monitorowania merytoryczne efekty będą jeszcze skromniejsze.

Obciążenia próbne, w tym bardzo cenna monografia prof. Lewickiego, powinny być elementarzem przed rozpoczęciem prac nad monitorowaniem bezpieczeństwa konstrukcji.

#### 5. Uwagi końcowe

Oferowane i działające systemy monitoringu bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, najbardziej wiarygodne w przypadku konstrukcji jednorodnych np. stalowych, umożliwiają mierzenie, obserwowanie i rejestrowanie danych o wybranych (niektórych) parametrach pracy konstrukcji budowlanych. Dane takie są cennym źródłem informacji o pracy konstrukcji w warunkach naturalnych. W wyniku analizy takich danych można uzyskać

wiedzę i doświadczenie, które w przyszłości będzie owocowało zwiększonym bezpieczeństwem wykonywanych i eksploatowanych konstrukcji budowlanych.

Tylko w minimalnym stopniu można na podstawie takich danych określać na bieżąco spełnienie wymagań w zakresie bezpieczeństwa konstrukcji. Z takim przypadkiem mamy do czynienia wówczas, kiedy autorzy systemu monitoringu, autorytety z dziedziny bezpieczeństwa budowli doskonale znający daną konstrukcję, na bieżąco pełnią nadzór naukowy nad pracą takiego systemu.

W większości przypadków niestety tak nie jest i dlatego autorzy referatu uważają za nieetyczne i groźne przedstawianie systemów monitoringu, jako gwarantujących kontrolę i właściwą merytorycznie ocenę konstrukcji budowlanych, w każdym przypadku. Tworzenie złudzeń pod hasłem „śpij spokojnie komputer czuwa” może prowadzić do zaniedbań, których skutkiem mogą być realne niebezpieczeństwa i szkody społeczne.

Dla kontroli i oceny konstrukcji w Prawie budowlanym przewidziano obowiązkowe, okresowe przeglądy. Nie wolno odstępować od takich przeglądów niezależnie od tego, jakie efektywnie wyglądające systemy monitorujące zostały zainstalowane na obiekcie. W uzasadnionych czynnikami społecznymi i ekonomicznymi przypadkach, należy jednakże korzystać z nowoczesnych technologii, w tym zdalnego monitoringu, będącego źródłem wielu niezwykle istotnych informacji, przydatnych w pracy eksperta oceniającego stan konstrukcji.

### **Piśmiennictwo**

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (ostatnia nowelizacja: 12 marca 2009 r.).
- [2] SurfLand Systemy Komputerowe SA; System Monitorowania Konstrukcji Budowlanych; <http://www.ssk.com.pl/?TabId=161&language=pl-PL>
- [3] Uhl T., Hanc A., Tworkowski K., Sekiewicz Ł.: Zastosowania technologii bezprzewodowych w systemach monitorowania mostów; [http://www.vibx.pl/\\_upload/cs/28/artukul\\_symposium\\_politechniki\\_krakowskiej.pdf](http://www.vibx.pl/_upload/cs/28/artukul_symposium_politechniki_krakowskiej.pdf)
- [4] Makuch K.: Systemy monitorowania konstrukcji; <http://www.monitorowaniekonstrukcji.pl/>
- [5] System Inspector: NeoStrain Sp. z o.o. <http://www.neostrain.pl/index.php?option=content&task=view&id=6&Itemid=146>
- [6] Wilde K., Rucka M., Chróścielewski J., Miśkiewicz M., Jasina M., Malinowski M.: System monitoringu technicznego hali sportowo-widowiskowej „Olivia” w Gdańsku (SMT OLIVIA-2), 55 konferencja naukowa, Problemy naukowo-badawcze budownictwa, Kielce-Krynica, 20-25 września 2009 r.
- [7] Zobel H., Giżejowski M., Wierzbicki S., Lutomirski S.: Przegląd zebranych informacji o obiektach wielkopowierzchniowych i katastrofach budowlanych w kontekście monitoringu konstrukcji; [http://www.monit.pw.edu.pl/var/ezflow\\_site/storage/images/listopad/IL\\_obiekty\\_kubaturowe\\_19\\_11\\_2009.pdf](http://www.monit.pw.edu.pl/var/ezflow_site/storage/images/listopad/IL_obiekty_kubaturowe_19_11_2009.pdf)
- [8] System monitoringu technicznego hali Olivia - SMT Olivia-2: <http://olivia.dim.info.pl/>
- [9] Biliszczuk J., Barcik W., Sieńko R.: System monitorowania mostu w Puławach; Mosty 4/2009
- [10] Monitorowanie technicznego stanu konstrukcji i ocena jej żywotności. Seminarium projektu MONIT, Warszawa, 19 listopada 2009 roku [http://www.monit.pw.edu.pl/var/ezflow\\_site/storage/images/listopad/MONIT-info\\_Kierownika\\_Projektu\\_19\\_11\\_2009.pdf](http://www.monit.pw.edu.pl/var/ezflow_site/storage/images/listopad/MONIT-info_Kierownika_Projektu_19_11_2009.pdf)
- [11] Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (ostatnia nowelizacja: 27 sierpnia 2009 r.).
- [12] Dokument interpretacyjny do Dyrektywy 89/106/EEC dotyczącej wyrobów budowlanych. Wymaganie podstawowe nr 1 „Nośność i stateczność”; ITB Warszawa 1994
- [13] Lewicki B.: Obciążenia próbne konstrukcji istniejących budynków; Monografie ITB, Warszawa 1997 r.

# **RELIABILITY AND PERFORMANCE OF THE BUILDING STRUCTURE SAFETY MONITORING**

## **Summary**

The paper critically evaluated the technical usability of the offered and installed systems for monitoring the building structure safety. It is unethical and dangerous to present monitoring systems as ensuring proper monitoring and evaluation of building structures. It is unacceptable to depart from the rule of the building maintenance which is required by law. Monitoring system may be an additional source of valuable knowledge concerning constructions in situ.