

z elementami nośnymi budynku oraz mocowania elementów balustrad do płyt osłonowych uniemożliwił dokonanie ich oględzin i określenie aktualnego stanu połączeń, a zwłaszcza stalowych elementów marek oraz łączących je spoin. Nie stwierdzono jednak istotnych zarysowań czy odspojień elementów ściennych od stropów i rygli ram „H”, które mogłyby zagrażać bezpiecznemu użytkowaniu budynku.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono opis wybranych rozwiązań projektowych zastosowanych w nietypowych, prefabrykowanych, powłokowych elementach osłonowych ścian zewnętrznych wysokich budynków mieszkalnych oraz analizę konstrukcyjną węzłów łączących te elementy z konstrukcją nośną budynków w kontekście ich aktualnego stanu technicznego oraz bezpieczeństwa dalszej eksploatacji i możliwości renowacji. Stwierdzono, że mimo upływu lat i braku prowadzenia jakichkolwiek

kompleksowych prac renowacyjnych, stan tych elementów jest dostateczny. Widoczne są jedynie lokalne uszkodzenia prefabrykatów oraz miejscowa korozja stalowych elementów łączących. Nie zauważono jednak widocznych przemieszczeń elementów osłonowych, co mogłoby świadczyć o uszkodzeniu lub zniszczeniu węzłów połączeniowych. Ze względu na długi okres eksploatacji budynków (ok. 40 lat), podczas planowanych remontów, wskazane byłoby odświeżenie i skontrolowanie stanu zakrytych łączników stalowych lub wykonanie nowych, dodatkowych połączeń elementów osłonowych z elementami nośnymi budynku. Podczas prowadzenia prac remontowych i ewentualnego docieplania ścian należałoby również zwrócić uwagę na to, że warstwa ociepleniowa osłonowych ścian szczytowych jest wykonana z betonu komórkowego grubości 24 cm „przyklejonego” do cienkiej, prefabrykowanej płyciny żelbetowej grubości 3 cm. W związku z tym

zaleca się specjalne łączniki pozwalające na bezpieczne i trwałe zakotwienie ocieplenia.

Wszystkie fotografie – Autorzy

Literatura

- [1] Berkowski P., Dmochowski G. Ekspertyza stanu technicznego ścian szczytowych i osłonowych budynku przy placu Grunwaldzkim 16 we Wrocławiu. POLTEBUD, 2007.
- [2] Berkowski P., Dmochowski G. Ekspertyza stanu technicznego zamocowania płyt osłonowych na ścianach pawilonu nr 2 przy placu Grunwaldzkim we Wrocławiu. POLTEBUD, 2006.
- [3] Berkowski P., Dmochowski G., Ubysz A. Ocena stanu technicznego i geodezyjne pomiary ugięć podciągów estakady na placu Grunwaldzkim 12-20 we Wrocławiu. 2011.
- [4] Berkowski P., Dmochowski G., Kosior-Kazberuk M. Analysis of Structural and Material Degradation of a Car-Park's RC Bearing Structure Due to City Environmental Influences. *Procedia Engineering*, 57 (2013), s. 183 – 192.
- [5] Runkiewicz et al. Diagnostyka i modernizacja budynków wielkopłytowych (cz. 1). *Przebieg Budowlany 7-8* (2014), s. 54 – 60.

Przyjęto do druku: 13.08.2015 r.

prof. dr hab. inż. Jerzy Jasieńko¹⁾
dr inż. Łukasz Bednarz²⁾*

Monitoring geometryczny obiektów zabytkowych

Geometric monitoring of historic buildings

DOI: 10.15199/33.2015.10.06

(Studium przypadku)

Streszczenie. Monitoringiem można nazwać wszystkie techniki i metody do pomiaru stanu zachowania konstrukcji. Różne klasyfikacje monitoringu korzystają z różnych kryteriów, np. cel monitorowania, rodzaj pomiarów (statyczne, dynamiczne), charakter badań (badania niszczące, quasi-niszczące i nieniszczące), czas monitorowania itp. W artykule zaprezentowano koncepcję programu testowego monitoringu geometrycznego oraz przykładowe rezultaty pomiarów przemieszczeń metodami optycznymi konstrukcji kościoła pw. św. Anny w Ząbkowicach Śląskich oraz Hali Stulecia we Wrocławiu.
Słowa kluczowe: monitoring, teodolit laserowy (TST), skaner laserowy 3D HDS, zabytki.

Abstract. The monitoring can be called all techniques and methods for measuring the condition of the structure. Different classifications of monitoring use different criteria, eg. the purpose of monitoring, the type of measurement (static, dynamic), the nature of the research (destructive testing, quasi-destructive and non-destructive), time monitoring, etc. Authors present the concept of geometric monitoring test program and sample optical measurement results construction displacement in church. St. Anna in Zabkowice Slaskie and Centennial Hall in Wrocław.

Keywords: monitoring, tachimeter total station (TST), laser scanner 3D HDS, heritage.

Analiza stanu konstrukcji jest pojęciem złożonym i powinna być realizowana na wielu płaszczyznach. Rodzaje niezbędnych analiz konkretnego obiektu zależą od typu konstrukcji, zastosowanego materiału oraz wartości materialnej lub niematerialnej budynku. Analizy stanu granicznego nośności i stanu granicznego użytkowania powinny dotyczyć zarówno pracy statycznej konstrukcji w stanie pierwotnym,

jak i po wzmocnieniach, stanu naprężeń i ich kierunku, wielkości przemieszczeń, wpływu obciążeń klimatycznych, użytkowych, termicznych, zmian obciążeń, stanu zastosowanego materiału. W zależności od wielkości elementów konstrukcji, zapotrzebowania na kontrolę oraz rodzaju prowadzonych badań analiza stanu elementów konstrukcji może być prowadzona w terenie lub w laboratorium. Dane analityczne są podstawą ustalenia zakresu monitoringu, typu stosowanych urządzeń oraz zakresu napraw. Analizę budynków zabytkowych należy rozpocząć od analizy dokumentacji histo-

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
²⁾ Autor do korespondencji: e-mail: lukasz.bednarz@pwr.edu.pl



70 lat Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego

rycznej, przez badania warunków geotechnicznych, zakresu i wielkości zarysowań, stanu zawilgocenia i ocenę mikroklimatu, badania stanu tynków oraz badania mikologiczne, aż do obliczeń statycznych obejmujących sprawdzenie stanu istniejącej konstrukcji. Ocena stanu budowli powinna składać się z badań i obserwacji zarówno konstrukcji, jak i materiałów. W artykule omówiono metody i sposoby monitoringu obiektów budowlanych, ze szczególnym naciskiem na obiekty historyczne.

Monitoring optyczny

Najprostszą metodą analizy stanu konstrukcji jest metoda wizualna. Jest ona o tyle łatwa, że znaczne zniszczenia i awarie są widoczne „gołym okiem” i o tyle trudna, że uszkodzenia ukryte jest w stanie wychwycić jedynie osoba wykwalifikowana. Wzrokowa ocena stanu obiektu ma na celu sprawdzenie stopnia uszkodzenia obiektu jako dzieła kulturowego i historycznego – śladów aktu wandalizmu (szpetne rysunki na elewacji, wybite szyby itp.), rozwoju grzybów i pleśni oraz śladów po destrukcyjnym działaniu owadów. Powinny się na nią składać zarówno opis grubości spoin, wykwitów i soli, grubości warstw, obszaru zawilgocenia ścian czy stanu izolacji, o ile takie istnieją [1]. Analizę metodą wizualną należy zakończyć raportem zawierającym opis zauważalnych zmian, fotografie czy nagrania z miejsca obserwacji [2].

W dużej mierze stan konstrukcji zależy od jej pracy statycznej. Analiza zachowania obiektu powinna składać się z jego inwentaryzacji, tzn. informacji na temat układu konstrukcyjnego, układu prętów zbrojeniowych, rodzaju zastosowanych kształtowników, wymiarów obiektu, rodzajach podpór i usztywnień, zestawienia działających obciążeń z uwzględnieniem zmian spowodowanych np. adaptacją budynku na inne cele niż pierwotnie założono, obliczeń statycznych, najczęściej wg programów wykorzystujących Metodę Elementów Skończonych. Otrzymane wyniki obciążeń oraz ocena wyężenia konstrukcji powinny zostać porównane z dawniej stosowanymi normami (o ile istniały) [3]. Praca statyczna obiektu wpływa na stan graniczny nośności i stan graniczny użytkowania. Poza wyężeniem konstrukcji powinny zostać określone drgania i przemieszczenia (pionowe, poziome, przechyłowe, ugięcia) zarówno konstrukcji jako zespołu wielu elementów, jak i osobno poszczególnych elementów. Ocenie podlega również zmienność poziomu osadzenia, a więc wielkość osiadania fundamentów, która na przestrzeni lat może wywołać nieodwracalne szkody w budynku [4].

Przemieszczenie to zmiana położenia punktów obiektu, zarówno ich translacja, jak i obrót. Odształcenie zaś to przemieszczenie punktów obiektu wynikające ze zmiany jego kształtu, np. ugięcia czy wybożenia. Jednokrotne pomiary kontrolne dają informację na temat stanu bieżącego, a okresowe określają zmianę przemieszczeń lub odształceń w czasie. Małe przemieszczenia konstrukcji mogą wywoływać powstawanie rys i pęknięć, natomiast duże – awarie i katastrofy. Jedną z metod określenia przemieszczeń jest montowanie płytek (plomb) z tworzywa sztucznego bądź szklanych w kierunku prostopadłym do istniejącego rys. Metoda ta przez wielu uważana jest za przestarzałą i zawodną, ponieważ płytki montowane są często na grubej warstwie gipsu, nieodpornego na czynniki atmosferyczne, który niekiedy szybciej ule-

ga zniszczeniu niż płytka. Ponadto, w przypadku pęknięć występujących wysoko ponad poziomem terenu, trudno jest sprawdzić stan płytki. Obecnie jedynie metoda wskaźnikowa zastępowana jest przez stosowanie płytek wraz ze skalą wskazówkową pozwalającą na sprawdzanie przyrostu przemieszczeń, dopóki sama płytka nie ulegnie zniszczeniu. Innym sposobem pomiaru przemieszczeń jest wykorzystanie urządzeń geodezyjnych (takich jak tachymetry i skanery 3D) umożliwiające rejestrowanie m.in. długości, wielkości kątów i wysokości. Są one uniwersalne z uwagi na różnicowanie badanych obiektów.

Charakterystyka monitorowanych obiektów

Hala Stulecia jest najbardziej znanym dziełem wrocławskiego modernizmu. Konkurs architektoniczny wygrał projekt miejskiego architekta Wrocławia, Maxa Berga, który zaproponował użycie nowatorskiej konstrukcji żelbetowej, nie spotykanej w obiektach tej wielkości. Podczas budowy po raz pierwszy w Europie zastosowano kolejkę linową o udźwigu ok. 2,5 t, która pozwalała na przenoszenie żelbetowych prefabrykatów w dowolne miejsce budowy. Prefabrykaty wytwarzano na miejscu budowy, co pozwoliło ukończyć budowę przed czasem. Hala Stulecia ma klarowny układ konstrukcyjny, a poszczególne elementy wchodzące w jego skład są doskonale widoczne wewnątrz [5]. W latach 2009 – 2011 odbył się remont Hali Stulecia przeprowadzony w dwóch etapach:

- elewacji (oczyszczenie powierzchni; wypełnienie i iniekcja spękań; naprawa uszkodzeń; zabezpieczenie powierzchni impregnatem);
- wnętrza (wymiana widowni na nową; wybudowanie szatni; powiększenie pomieszczeń sanitarnych; pogłębienie posadzki widowiskowej; naprawa elementów konstrukcyjnych wewnątrz Hali; montaż wentylacji; wzmocnienie cięgnami dolnego pierścienia rozciąganego).

Kościół pod wezwaniem św. Anny w Ząbkowicach Śląskich został wybudowany w drugiej połowie XIV w. Pierwsze wzmianki o kościele odnaleziono w księgach kronikarzy z 1292 r. Kolejne notatki informują o pracach budowlanych w latach 1302, 1354 oraz 1356. Najprawdopodobniej wtedy ukończono budowę prezbiterium przykrytego drewnianą konstrukcją dachu. W 1413 r. wybudowano wieżę o rzucie kwadratu przylegającego do południowej ściany prezbiterium. W 1428 r. kościół został spalony przez husytów. Prace związane z budową murów naw ukończono w 1453 r. Sklepienia naw datuje się na 1547 r., a w 1566 r., czyli po ok. 19 latach ukończono prace przy sklepieniu prezbiterium. Żebra sklepień, tak jak i klucze, wykonano z kształtek ceramicznych, natomiast kamienne wezłowania sklepienia i nieliczne klucze stanowią ciosy. Do wiązania elementów stosowano zaprawę wapienną. Wiązanie muru starano się utrzymać w wątku polskim, którego jedną z zalet była możliwość jednoczesnego prowadzenia kilku frontów robót murarskich. W latach 1893 – 1895 prowadzono prace nad restauracją kościoła w stylu neogotyckim. Stosowano cegłę wytwarzaną maszynowo, o znacznie mniejszych wymiarach niż cegła gotycka. W latach 1976-1978 wykonano kolejne prace remontowe, a w 2009 r. wzmocnienie m.in. przeszło 400-letniego sklepienia prezbiterium, wykorzystując m.in. nowoczesne materiały kompozytowe C-FRP i C-FRCM [6, 7].

Model cyfrowy

W celu budowy modeli BIM, modeli numerycznych (FEM), ustalenia metodologii monitoringu konstrukcji oraz dalszych analiz konstrukcyjnych obiektów pozyskano dane geometryczne konstrukcji. Podczas prac przy Hali Stulecia wykorzystano skaner przestrzenny FARO X330, który umożliwia tworzenie kompletnej i szczegółowej dokumentacji 3D obiektów, w tym również zabytkowych, co jest szczególnie przydatne podczas prac renowacyjnych i analiz przy zabezpieczaniu chronionych budynków oraz do wirtualnej prezentacji historycznych miejsc. W kościele pw.



Fot. 1. Skaner HDS 3D podczas pracy

Fig. 1. Scanner HDS 3D at work

św. Anny w Ząbkowicach testowano wszystkie modele skanerów FARO dostępne na polskim rynku od 2009 r. (fotografia 1). Zintegrowany ze skanerem kolorowy aparat fotograficzny pozwolił na natychmiastowe tworzenie realistycznego obrazu 3D. Skaner tworzy chmurę punktów, która poddana obróbce daje bardzo dokładny, trójwymiarowy obraz obiektu. Chmury punktów zapisane w poszczególnych plikach zostały połączone w jedną dużą chmurę. Dokładne pozycjonowanie skanów względem siebie umożliwiły kule referencyjne i tarcze referencyjne. Obiekty sferyczne o znanej średnicy przed rozpoczęciem skanowania umieszczano w obszarach wspólnych dla kolejnych skanów. Wykonano ponad 50 skanów wewnątrz i na zewnątrz obiektu, wiele sferycznych fotografii w odcieniach szarości (Hala Stulecia), po 3-4 skany wnętrza prezbiterium (kościół pw. św. Anny), uzyskując w ten sposób tzw. chmurę punktów zawierającą ok. 170 mln punktów (Hala Stulecia) czy 900 tys. punktów (kościół pw. św. Anny) oraz sferyczne współrzędne punktów oddalonych od stanowisk pomiarowych. W dalszych opracowaniach (inventaryzacja, modele BIM i MES) konieczna była redukcja gęstości chmur, co spowodowane zostało brakiem zdolności obliczeniowych programów do ich obsługi.

W przyszłości planuje się, powtarzając skanowanie 3D i nakładając na siebie poszczególne skany, wykrywać ewentualne przemieszczenia i deformacje, korzystając z doświadczeń przedstawionych np. w [7]. Zapewnia to skuteczne narzędzie do monitorowania zachowania konstrukcji, bez fizycznego dostępu do elementów obiektów. Technologia ta może być stosowana również, na poziomie milimetrowej dokładności, do rejestracji degradacji powierzchni, takich jak np.: powierzchnia betonu, muru ceglano-cytrynowego czy kamiennego.

Do porównania danych pozyskanych z poszczególnych skanów wykorzystywać można oprogramowanie Geomagic [8], tzw. pakiet narzędzi do szybkiej transformacji trójwymiarowych danych pochodzących ze skanera laserowego na trójwymiarowe modele cyfrowe służące do dokumentacji i analizy. Aplikacja ta jest jedną z najszybszych, dostępnych apli-

kacji konwersji danych skanerych do modeli parametrycznych CAD.

Monitoring testowy

Najważniejszym elementem konstrukcyjnym Hali Stulecia jest dolny pierścień rozciągany. Pomiar przemieszczeń wybranych punktów umieszczonych na pierścieniach – dolnym rozciągającym i górnym ściskającym wykonano za pomocą tachymetru (TST) (fotografia 2), wykorzystywanego w „masowym” pomiarze położenia punktów. Wyróżnia się tachymetry optyczne oraz elektroniczne. W tych ostatnich odczyt kierunków poziomych i pionowych wykonywany jest automatycznie, a odległość mierzona z użyciem wbudowanego dalmierza elektrooptycznego. Do pomiaru odległości tradycyjnym tachymetrem potrzebny jest pryzmat (fotografia 3), od którego zostanie odbita fala wysyłana przez dalmierz fazowy zamontowany w instrumencie. Fala ta z powrotem trafia do dalmierza i na podstawie różnicy faz obliczana jest odległość.



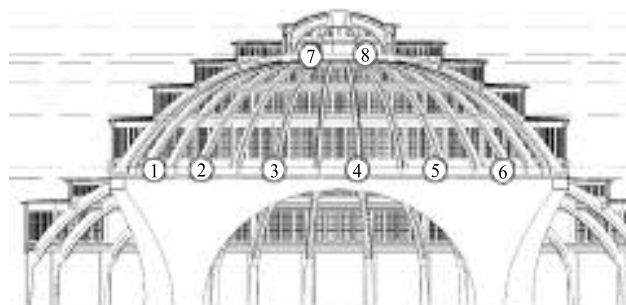
Fot. 2. Tachymetr
Fig. 2. Tachimeter Total Station



Fot. 3. Pryzmat
Fig. 3. TST prism

Dostępne obecnie tachymetry to superprecyzyjne urządzenia zapewniające dużą dokładność i powtarzalność pomiarów. Większość modeli jest wodo- i pyłoszczelna, co dodatkowo zapewnia ciągłość działania nawet w najtrudniejszych warunkach. Na rozciągającym pierścieniu dolnym zamontowano 6 pryzmatów pomiarowych, a na ściskającym pierścieniu górnym – 2 pryzmaty (rysunek 1). Zainstalowano również 2 pryzmaty kontrolne – bazowe.

Pozyskiwane przez system pomiarowy dane w Lokalnej Stacji Akwizycji Danych (LSAD) przesyłano do Centrum Gromadzenia Danych (CGD). Posłużą one m.in. do oceny pracy konstrukcji i ewentualnych zmian wyężenia. Na podstawie wyników zarejestrowanych zmian w trakcie monitoringu mogą zostać podjęte decyzje dotyczące wy-



Rys. 1. Układ pryzmatów – przekrój pionowy konstrukcji Hali Stulecia.

Fig. 1. Prism system – vertical cross-section of the Centennial Hall structure

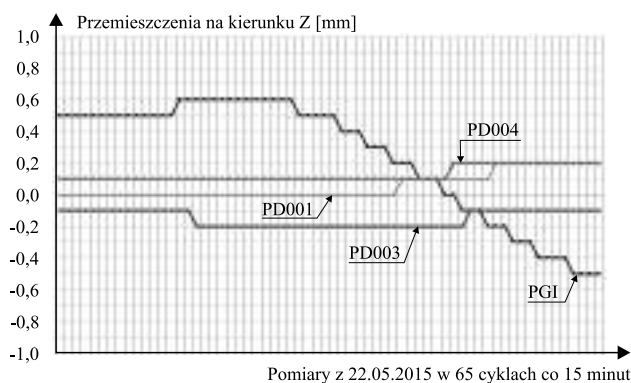
70 lat Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego

tycznych projektowych w aspekcie wzmacniania konstrukcji. Automatyzacja systemu oraz sterowanie z poziomu zewnętrznego oprogramowania znacznie wpływa na bezpieczeństwo i komfort pracy, gdyż pozwala kontrolować zachowanie się obiektów bez konieczności wysyłania operatorów sprzętu pomiarowego w niebezpieczne miejsca.

W przypadku mierzonych wielkości fizycznych można zadać określone wartości progowe (głównie maksymalne), których przekroczenie oznacza zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji. Gdy dla dowolnej wielkości pomiarowej zostanie zarejestrowana wartość przewyższająca założony próg pomiarowy, uruchamiany jest tryb alarmowy i komputer automatycznie wysyła informacje do osób obsługujących system.

Analiza pomiarów

Do akwizycji danych pomiarowych Hali Stulecia wykorzystano automatyczny system monitoringu deformacji MSP Rapid PC firmy MSP [9, 10]. Po zakończeniu cyklu pomiarowego użytkownik systemu monitoringu może oglądać przemieszczenia poszczególnych monitorowanych punktów jako wartości absolutne oraz porównywać je z danymi pozyskanymi z poprzednich cykli pomiarowych. W celu ułatwienia analizy pozyskanych danych wyniki mogą zostać przedstawione na wykresach lub przeniesione do innych programów, np. Excel (rysunek 2).



Rys. 2. Prezentacja wyników przemieszczeń z jednego dnia w kierunku osi Z dla przykładowych 4 punktów pomiarowych

Fig. 2. Presentation of the one day displacement from the exemplary four points at Z-direction

W przypadku kościoła pw. św. Anny w Ząbkowicach Śląskich sklepienie badano ponownie po ponad 2 latach od wykonania pierwszego skanu 3D i wzmocnienia (2011 r.). Kolejne skany wykonano w 2013 i 2015 r. Analizie porównawczej poddano skany sklepienia prezbiterium wykonane w latach 2009, 2011, 2013 i 2015. W celu porównania danych pozyskanych w poszczególnych latach wykorzystano oprogramowanie Geomagic [8].

Przetwarzano powierzchnie skanów na siatkę trójkątów, aby użyć jej do porównania ze skanami z innych okresów. Największa odchyłka uzyskanej powierzchni od punktów chmury osiągnęła 0,0032 m. Jako punktów referencyjnych użyto fragmentu zwornika w centrum sklepienia prezbiterium oraz punktów oznaczonych na posadzce prezbiterium. Pomiar skorelowano z siatką trwałej osnowy geodezyjnej na zewnątrz kościoła.

Wnioski

W artykule przedstawiono metodykę optycznego monitoringu geometrii istniejącego obiektów historycznych. Modele opracowane na podstawie danych geometrycznych pozwalają na dokładne studium zachowania ich konstrukcji i kompleksowy monitoring. Przeprowadzone wstępne analizy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- cykliczne skanowanie laserowe obiektu można traktować jako przybliżoną, nieinwazyjną metodę monitoringu geometrii konstrukcji, z uwzględnieniem monitoringu zarysowań oraz uszkodzeń spowodowanych przez czynniki atmosferyczne, np. wilgoć, temperatura;
- skanowanie laserowe dostarcza dokładnych i wiarygodnych danych geometrycznych;
- skanowanie HDS 3D umożliwia tworzenie dokumentacji stanu faktycznego obiektów zabytkowych w sposób bardzo dokładny, mniej czasochłonny i pozwala na opis całej powierzchni, a nie tylko na pomiar poszczególnych punktów, jak w przypadku innych metod geodezyjnych;
- stałe pomiary punktów referencyjnych wykonywane w czasie rzeczywistym (za pomocą tachymetru lub grupy tachymetrów) dają natychmiastowe informacje o ewentualnej zmianie geometrii ustroju konstrukcyjnego.

Najskuteczniejszym sposobem opisanego zachowania konstrukcji jest jej stały monitoring. Okresowa rejestracja spękań, odkształceń oraz coraz popularniejszy, cykliczny monitoring geometrii skanerem HDS 3D uzupełniają obraz monitorowanej konstrukcji.

Wszystkie fotografie – Ł. Bednarz

Autorzy dziękują firmie TPI za wykonanie i udostępnienie danych pomiarowych oraz skanów.

Literatura

- [1] Frössel, F. (2007) Osuszanie murów i renowacja piwnic, Polcen Sp. z o.o., Warszawa.
- [2] Walton J. (2003) Methods for monitoring the condition of historic places, Department of Conservation Technical Series 27.
- [3] Jasieńko J., Bednarz Ł. J., Nowak T. (2009) Analiza stanu zachowania drewnianych stropów w Auli Leopoldyńskiej Uniwersytetu Wrocławskiego oraz w budynku głównego dworca kolejowego we Wrocławiu, Wiadomości Konserwatorskie, 26/2009.
- [4] Masłowski E., Spiżewska D. (2010) Wzmocnianie konstrukcji budowlanych, Arkady, Warszawa.
- [5] Ilkosz J. (2005) Hala Stulecia i Tereny Wystawowe we Wrocławiu – dzieło Maksa Berga, Wydawnictwo: Muzeum Architektury we Wrocławiu.
- [6] Jasieńko, J., Nowak, T., Mroczek, P., Bednarz, Ł. J. (2010) Construction conservation using new technologies on the example of St. Anna's Church in Ząbkowice Śląskie, Wiadomości Konserwatorskie (Journal of Heritage Conservation) 28, pp. 18 – 30.
- [7] Bednarz, Ł. J., Jasieńko, J., Rutkowski, M., Nowak T. (2014) Strengthening and long-term monitoring of the structure of an historical church presbytery, Engineering Structures 81, pp. 62 – 75.
- [8] <<http://www.geomagic.com/en/products/qualify/overview/>> (05 May 2015). www.geomagic.com/en/.
- [9] <<http://www.mspsystem.com/Software.aspx>> (24 April 2015). www.mspsystem.com.
- [10] Bednarz, Ł. J., Jasieńko, J., Nowak T. P. (2015) Test monitoring of the Centennial Hall's dome, Wrocław (Poland), SPIE Conference, Optics for Arts, Architecture, and Archaeology, Munich, Germany.

Przyjęto do druku: 27.08.2015 r.