

OCENA ZASTOSOWANIA BEZREFLEKTOROWEJ TECHNOLOGII DALMIERCZEJ W BADANIACH DEFORMACJI BUDOWLANEJ KONSTRUKCJI KOMPOZYTOWEJ¹

Krzysztof KARSZNIA*

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej

Badania deformacji obiektów stanowią jeden z kluczowych elementów obsługi inwestycji budowlanych. Stosowne pomiary wykonywane są zwykle przy użyciu technologii fizykalnych oraz geodezyjnych. Zastosowanie tych ostatnich, coraz częściej przybiera formę kompleksowego monitoringu zmian geometrycznych. Wykorzystanie w instrumentach geodezyjnych nowoczesnych rozwiązań fizyki, szczególnie z dziedziny laserów, w sposób znaczący usprawniło pomiary. Nowoczesne systemy odczytowe pozwalają na zwiększenie dokładności odczytu kierunków, a współczesne układy dalmiercze umożliwiają realizację pomiarów odległości w sposób wiarygodny i szybki. Dzięki wspomnianym rozwiązaniom, możliwe jest pozyskiwanie danych przestrzennych z elementów niedostępnych, co z kolei otwiera możliwości prowadzenia efektywnego monitoringu stanu konstrukcji (SHM). W artykule dokonano oceny wykorzystania laserowych pomiarów dalmierczych w badaniu deformacji obiektu o nowatorskiej konstrukcji kompozytowej w aspekcie efektywności prac oraz uzyskanych dokładności.

1. WPROWADZENIE

Problematyka pomiarów deformacji stanowi, bez wątpienia, jeden z głównych nurtów badawczych oraz wyzwań praktycznych w geodezji i budownictwie. Powstawanie deformacji dotyczy zarówno konstrukcji obiektu jak i gruntu, na którym został on posadowiony. Czynnikiem wpływającym na ów proces jest bardzo wiele stąd – dla usystematyzowania terminologii – mówimy o przemieszczeniach – zmianach położenia obiektu w czasie, oraz o odkształceniach oznaczających zmianę kształtu obiektu na skutek różnych oddziaływań. Pomimo znacznego zasobu wiedzy, którym w tematyce pomiarów deformacji dysponują

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2016.22.04

specjaliści z dziedzin budownictwa, geodezji oraz nauk pokrewnych, wiarygodna ocena stanu obiektów stanowi niejednokrotnie spore wyzwanie. Spowodowane jest to dynamicznym charakterem otaczającego nas świata, a w związku z tym, koniecznością szczegółowego rozpoznania warunków i zjawisk lokalnych wpływających na proces budowlany. Procedury pomiarowe związane z budową jak i późniejszą eksploatacją wzniesionych obiektów zostały skodyfikowane w postaci norm oraz przepisów prawa [14]. Z racji zachodzącego postępu technicznego, podlegają one weryfikacji i uzupełnieniom, aczkolwiek sama istota prowadzenia tychże pomiarów pozostaje niezmienna i ma za zadanie zapewnienie jakości oraz bezpieczeństwa. Dobór technologii pomiarowych musi więc odpowiadać założeniom ujętym w przepisach oraz zapewniać osiągnięcie odpowiednich dokładności. Ważna jest również wiarygodność pomiaru oraz związana z nią precyzja, nazywana niekiedy rozdzielczością. Wspomnieć należy, że terminy „dokładność” i „precyzja”, niejednokrotnie traktowane jako synonimy, nie są tożsame. Pod nazwą „dokładność” rozumiemy bowiem różnicę osiągniętego wyniku pomiaru danego elementu od jego wartości prawdziwej, podczas gdy precyzja informuje nas o poziomie realizacji takiego pomiaru [4]. Prawdziwa ocena dokładności pomiaru możliwa jest zatem wówczas, gdy dysponujemy obserwacjami nadliczbowymi, podczas gdy precyzja stanowi element wagujący.

W pomiarach kontrolnych oraz monitoringu zmian geometrycznych konstrukcji budowlanej często wykorzystuje się laserowe technologie precyzyjnego pomiaru odległości. Wykorzystanie skanerów laserowych 3D oraz tachimetrów elektronicznych (ang. total-station) jest obecnie zjawiskiem powszechnym. Nadmienić należy, iż rozmieszczenie sygnałów zwrotnych (reflektorów) na konstrukcji mierzonych obiektów nie zawsze jest możliwe (ograniczony dostęp, zakaz ingerowania w konstrukcję). Celowe staje się zatem użycie instrumentarium zapewniającego prowadzenie tzw. pomiarów bezreflektorowych. Technologia, aczkolwiek znana od wielu lat, jest przedmiotem ciągłych prac rozwojowych i stanowi przedmiot wielu badań wdrożeniowych [9, 13]. Pomiaru takie, z założenia oferujące dokładność niższą od uzyskiwanej w trakcie realizacji klasycznych pomiarów dalmierzem elektrooptycznym [10, 15, 18], posiadają istotną zaletę w postaci szybkości pozyskiwania danych przestrzennych oraz dostępności do wszystkich widocznych miejsc elementów konstrukcji. Otwartą pozostaje ciągle kwestia rzeczywistej dokładności, jaką umożliwia pomiar bezreflektorowy. Wykorzystanie tej technologii instrumentalnej w miejscach o stałych warunkach realizacji, dla materiałów, których właściwości rozpraszania światła zapewnią wykonalność pomiaru oraz przy dużej ilości odczytów daje obraz bardzo dokładny (poziom milimetry), wiarygodny i wychwytyjący dynamikę zachodzących zmian geometrycznych.

Dobór technologii pomiarowej zależy od rodzaju badanego obiektu oraz od warunków na nim panujących. Szczególnym wyzwaniem dla geodetów są konstrukcje niestandardowe. Pomiaru takich obiektów wiążą się z przeprowadzeniem studiów wykonalności wraz ze wstępną oceną rozważanej technologii. Jej wybór

powinien być także perspektywiczny w sensie dalszego rozwoju i ewentualnej rozbudowy. Współczesne systemy monitoringu konstrukcji wykorzystują zalety różnych urządzeń i akcesoriów – przykładowo skanerów laserowych oraz tachimetrów [3]. Te ostatnie, wyposażane w wysoko rozdzielcze kamery, a także w procesory umożliwiające sprawne przetwarzanie obrazów stanowią coraz częściej trzon zintegrowanych systemów monitorujących [6]. Z racji oferowanych dokładności, możliwości wiernego odwzorowywania kształtu obiektów oraz niewielkich gabarytów, znajdują powszechne zastosowanie w budownictwie.

Klasyczne skanery laserowe, aczkolwiek precyzyjne oraz niezwykle wydajne (dziesiątki, setki tysięcy, a nawet miliony pozyskanych punktów na sekundę), umożliwiają realizację pomiarów kontrolnych – ich przeznaczeniem jest raczej dokumentowanie stanu aktualnego badanego obiektu. Chmury punktów podlegają bowiem opracowaniom kameralnym w odpowiednim oprogramowaniu, a wyniki dostarczane są dopiero po ich opracowaniu. Wyjątek stanowią wysoko wydajne tachimetry skanujące (tzw. stacje wielofunkcyjne – ang. *multistation*), łączące funkcje instrumentu „total-station” oraz skanera [6]. Urządzenia te dostarczają do tysiąca pomierzonych punktów na sekundę i mogą być obsługiwane z pozycji programu sterującego co oznacza możliwość prowadzenia automatycznego, bardzo efektywnego monitoringu deformacji. Ich ograniczeniem jest jednak oferowany zakres maksymalnego kąta skanowania w płaszczyźnie pionowej – innymi słowy, problem pojawia się podczas potrzeby skanowania obiektów znajdujących się bezpośrednio nad stanowiskiem instrumentu. Nie bez znaczenia pozostaje również aspekt ekonomiczny – koszt takich urządzeń jest stosunkowo wysoki, co w wielu wypadkach stanowi istotną barierę.

Wspomniane uwarunkowania stały się motywacją do dokonania oceny zastosowania w warunkach budowy bezreflektorowego pomiaru odległości przy użyciu zrobotyzowanego tachimetru elektronicznego. Urządzenie takie może realizować pomiar powtarzalny albo przy wykorzystaniu aplikacji oprogramowania wewnętrznego [5], albo w połączeniu z komputerem zewnętrznym, na którym zainstalowany jest odpowiedni program sterujący. Dodać należy, iż instrument działał w trybie ciągłym dostarczając bieżących danych do aktywnego systemu monitoringu. System ten, oprócz swojej funkcji analitycznej i archiwizacyjnej, informował o potencjalnych zagrożeniach objawiających się przekroczeniem stanów granicznych testowanej konstrukcji. Badany obiekt stanowił nowatorskie rozwiązanie z zakresu budownictwa konstrukcji kompozytowych.

2. OBIEKT TESTOWY

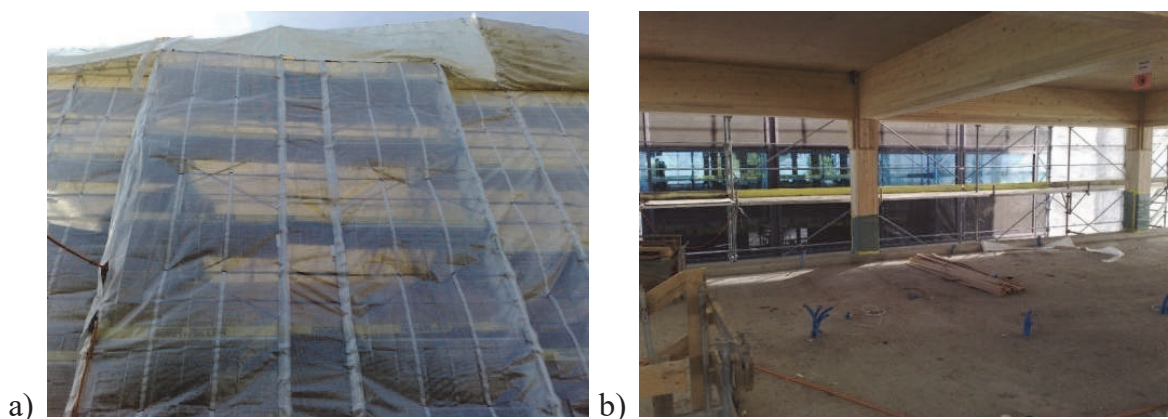
Obiekt, na którym przeprowadzono badania instrumentalne zlokalizowany był na terenie kampusu Politechniki Federalnej ETH w Zurychu (rys. 1 i 2a). Jego konstrukcja miała charakter kompozytu drewniano-betonowego i w odnie-

sieniu zarówno do samego budynku, jak i jego lokalizacji, stanowiła rozwiązanie nowatorskie [1,19].

Obiekty o konstrukcji kompozytowej, zwane także budynkami hybrydowymi, są przedmiotem wielu badań i wdrożeń prowadzonych na całym świecie [2]. Fakt ten wpisuje się w ogólny trend poszukiwania innowacji, rozwoju nowoczesnych technologii oraz rosnącego zapotrzebowania na budownictwo ekologiczne i energooszczędne.



Rys. 1. Widok rozbudowy kampusu Politechniki Federalnej ETH w Zurychu (rok. 2015) – fot. autor



Rys. 2. Widok budynku kompozytowego w trakcie jego budowy (okres realizacji pomiarów testowych: marzec 2014r. – czerwiec 2015r.): a) elewacja, b) wnętrze – fot. autor

Budynek składał się z dwóch kondygnacji podziemnych oraz dwóch nadziemnych, stanowiących kompozyt drewna jesionowego oraz betonu zbrojonego [1]. Wieniec budynku zbudowany został z drewna (rys. 2a), podobnie jak płyty stropowe, na które wylano zaprawę betonową (rys. 3).



Rys. 3. Widok stropu betonowego badanego budynku kompozytowego – fot. autor

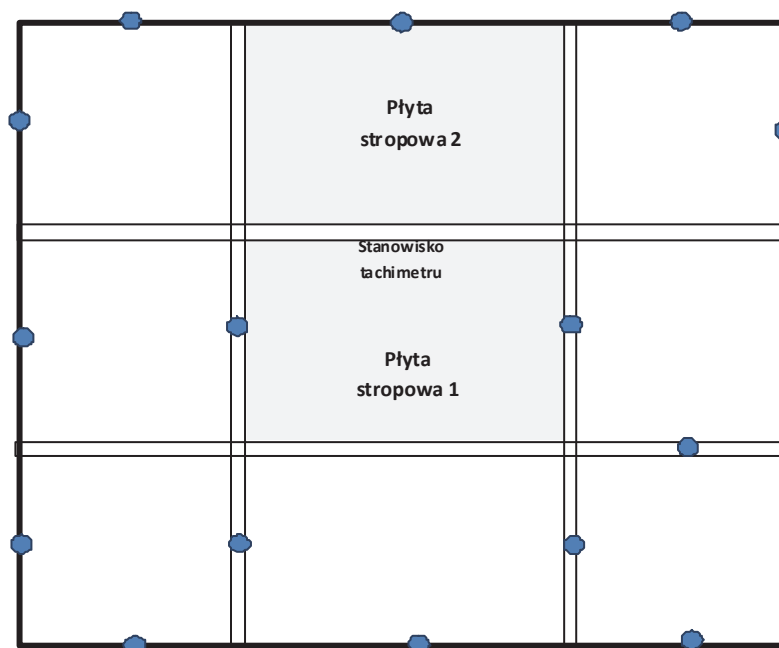
Szczegóły technologiczne dotyczące tego obiektu opisane zostały w cytowanej literaturze, można je znaleźć również na stronach internetowych [8]. Opracowanie założeń projektowych, sposób realizacji oraz obsługi inwestycji stanowią własność intelektualną Instytutu Konstrukcji Inżynierskich (*Institute of Structural Engineering*), Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Geomatyki (*Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering*) zuryskiej ETH.

Badanie funkcjonalności systemu monitoringu wykorzystującego technologię pomiaru bezreflektorowego przeprowadzono na dwóch nadziemnych kondygnacjach opisanego obiektu.

3. POMIARY BEZREFLEKTOROWE

Pomiar bezreflektorowy podlegający ocenie wykonywany był w ramach szerszego, kompleksowego zespołu prac geodezyjnych związanego z budową. Badanie polegało na przeprowadzeniu długookresowych obserwacji powierzchni stropowych na kondygnacji pierwszej (rys. 4) oraz podwieszanego sufitu drewnianego na kondygnacji drugiej (rys. 5). Do pomiaru użyto umieszczonego na statywie przemysłowym precyzyjnego tachimetru zrobotyzowanego Leica TCRP1201 plus o następujących wybranych parametrach technicznych [10]:

- błąd pomiaru kąta poziomego i pionowego: $\pm 1''$,
- błąd pomiaru odległości (pomiar do reflektora): $\pm 1\text{mm} + 1,5\text{mm/km}$,
- błąd pomiaru odległości bez użycia reflektora: $\pm 2\text{mm} + 2\text{mm/km}$,
- rozmiar plamki lasera: około 7×14 mm przy odległości do 20m.



Rys. 4. Poglądowy schemat kondygnacji pierwszej z zaznaczeniem obserwowanych powierzchni stropowych oraz wybranych punktów kontrolowanych (niebieskie)

Widok stanowiska instrumentu na kondygnacji pierwszej badanego obiektu przedstawia rys. 6. Argumentem przemawiającym za użyciem opisanego instrumentu była, między innymi, zastosowana w nim technologia realizacji pomiarów bezreflektorowych, tzw. „PinPoint” [11]. W znacznym stopniu eliminuje ona tzw. „poślizg” wiązki laserowej padającej na obiekt w miejscach niejednoznacznych, co w warunkach aktywnej budowy stanowi cenne udogodnienie.



Rys. 5. Widok tachimetru Leica TCRP1201 plus na tle podwieszanego sufitu drewnianego – fot. autor



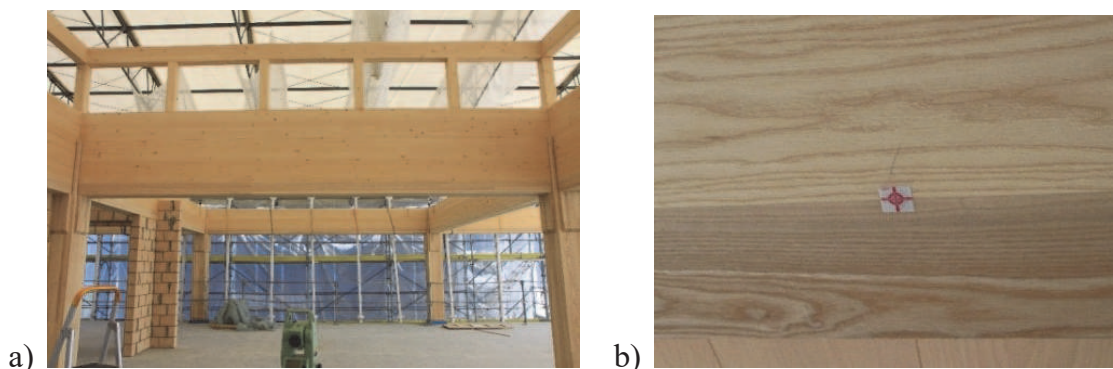
Rys. 6. Widok tachimetru Leica TCRP1201 plus na stanowisku pomiarowym – fot. autor

Zrobotyzowany tachimetr elektroniczny podłączony został do komputera przenośnego specjalnej trwałości (typu toughbook), na którym zainstalowano aplikację sterującą Leica GeoMoS v.6.0 (rys. 7). Składa się ona z dwóch podstawowych modułów – „Monitor”, który służy do konfigurowania pracy urządzenia (konfiguracja stanowiska pomiarowego, definiowanie punktów kontrolnych i kontrolowanych, ustalanie cykli pomiarowych, a także określania sposobów reakcji systemu na wykrywane przemieszczenia) oraz „Analityzer”, stanowiącej część analityczno-wizualizacyjną [7].

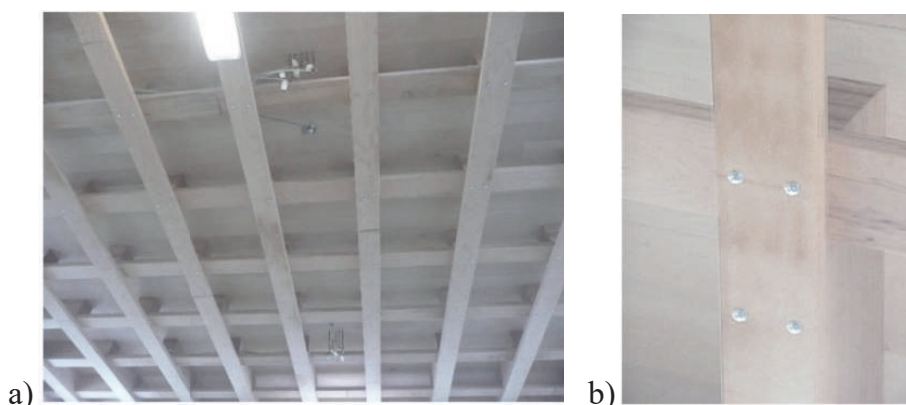
Instrument pracował na stanowisku w trybie *on-line* przez całą dobę wykonując bezreflektorowe pomiary odległości do punktów testowych w cyklach godzinnych. Pomiar punktów kontrolowanych dla kondygnacji pierwszej obejmował dwie powierzchnie stropowe oraz sieć piętnastu punktów (rys. 8a i 8b) rozmieszczonych na drewnianych elementach konstrukcyjnych zgodnie ze szkicem przedstawionym na rysunku 4. Okres realizacji badania wynosił sześć miesięcy (od maja do października 2014 r.).



Rys. 7. Widok okna dialogowego aplikacji Leica GeoMoS (lic. Katedra Inżynierii Budowlanej SGGW)



Rys. 8. Sygnalizacja punktów: a) widok drewnianych elementów wieńca budynku o konstrukcji kompozytowej, b) widok punktu kontrolowanego zamarkowanego na drewnianym elemencie konstrukcyjnym – fot. Autor



Rys. 9 Widok drewnianego sufitu podwieszanego w miejscu pomiaru testowego

Podwieszany sufit zamocowany na stropie kondygnacji drugiej, podlegał podobnemu pomiarowi również przez sześć miesięcy – w okresie od stycznia do czerwca 2015 r. Punktami kontrolowanymi stały się miejsca skrzyżowania drewnianych lameli przymocowanych do płyty stropowej (rys. 9). Pomiary tachymetryczne wykonywane były w układzie lokalnym (tzw. topocentrycznym), w jednym położeniu lunety.

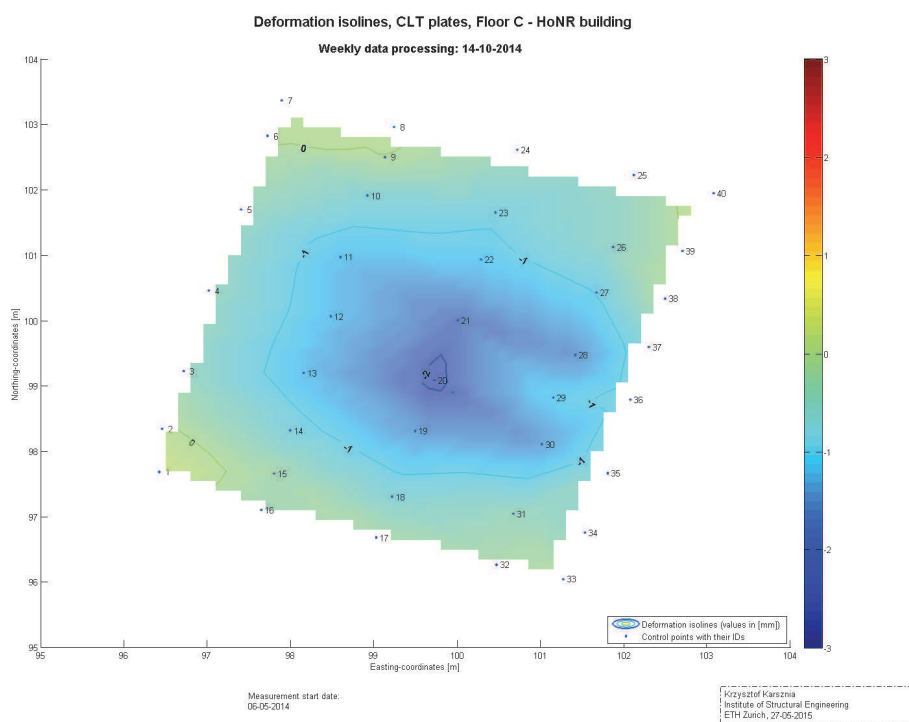
4. WYNIKI

Działający na bazie bezreflektorowego tachimetru system pomiarowy Leica GeoMoS pozyskiwał dane przestrzenne oraz na bieżąco je wizualizował i archiwizował. Pozwoliło to na dokonywanie aktualnej oceny stanu badanej konstrukcji poprzez obserwowanie jej zmian geometrycznych. Możliwe było również dokonywanie oceny dokładności, precyzji oraz warunków realizacji. Oprócz bieżącej kontroli, dane eksportowano do plików tekstowych, po czym analizowano je kameralnie wykorzystując w tym celu środowisko obliczeniowo-programistyczne Matlab® firmy MathWorks.

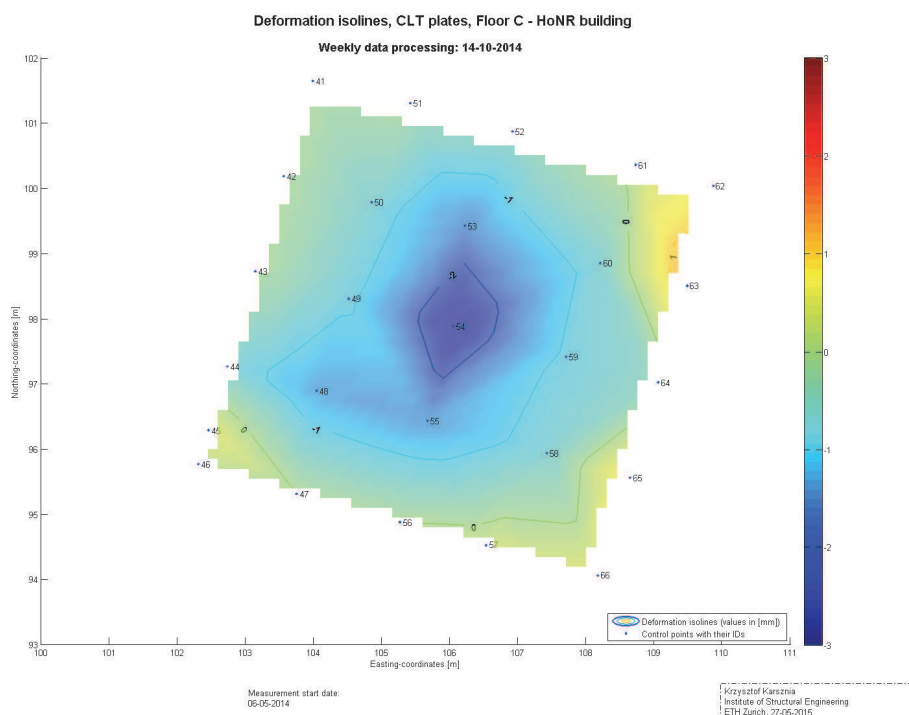
Ocena zbiorów wyników pomiarów wykazała, iż wyznaczenie chwilowych przemieszczeń punktów kontrolowanych odbywało się na poziomie $\pm 1-2\text{mm}$ przy czym największy wpływ na ten rezultat miał, praktycznie tożsamy, błąd pomiaru odległości. Odpowiada to zatem konfiguracji lokalnego układu odniesienia, który określał tzw. przemieszczenia podłużne („*Longitudinal displacements*”), prostopadłe do nich - poprzeczne („*Transverse displacements*”) oraz pionowe („*Height displacements*”).

Po wyeliminowaniu ze zbiorów danych obserwacji odstających (kryterium: trzykrotna wielkość odchylenia standardowego) spowodowanych zakłóceniami zewnętrznymi, określić można precyzję realizacji pomiarów bezreflektorowych na badanym obiekcie jako $\pm 1\text{mm}$.

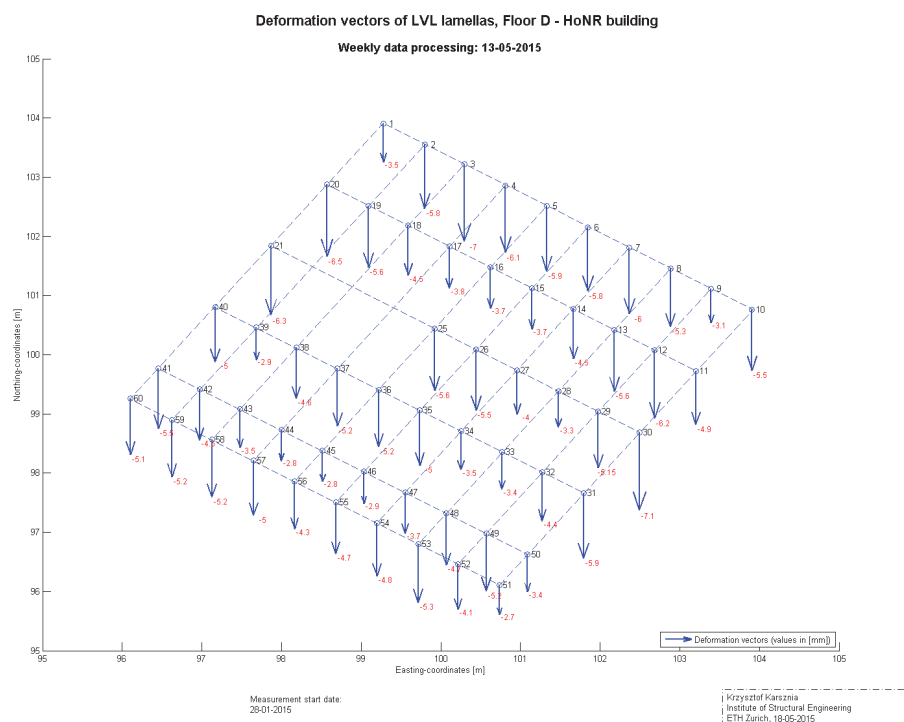
Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono wizualizację izolinii deformacji testowych płyt stropowych kondygnacji pierwszej.



Rys. 10. Wizualizacja osiadań płyty stropowej 1 wyznaczanych przy wykorzystaniu bezreflektorowych pomiarów odległości



Rys. 11. Wizualizacja osiadań płyty stropowej 2 wyznaczanych przy wykorzystaniu bezreflektorowych pomiarów odległości



Rys. 12 Wizualizacja osiadań podwieszanego stropu drewnianego

W obu przypadkach, uzyskane obrazy są bardzo zbliżone co potwierdza wiarygodność wykonanych pomiarów (obydwa obszary miały takie same gabaryty i w trakcie budowy poddawane były takim samym obciążeniom spowodowanym betonowaniem stropów). Maksymalne wartości osiadań występujące w centralnych miejscach obserwowanych stref osiągnęły wartości około 2mm.

Maksymalne osiadania podwieszanego sufitu drewnianego ustabilizowały się na poziomie 7mm (rys. 12).

5. DYSKUSJA I WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały dużą precyzję, dokładność i wiarygodność bezreflektorowych pomiarów dalmierzowych w badaniu deformacji konstrukcji kompozytowej. Należy jednak pamiętać, iż na osiągnięte wyniki wpływ miały warunki realizacji pomiarów, a mianowicie:

- krótkie celowe (maksymalna pomierzona odległość to 14,502m),
- zamarkowane za pomocą folii odblaskowych punkty kontrolowane oraz gładkie powierzchnie drewniane płyt stropowych,
- gładkie i jednolite powierzchnie drewnianych elementów sufitu podwieszanego,
- jednolite warunki panujące wewnątrz obiektu.

Na dokładność wyznaczenia deformacji konstrukcji, główny wpływ wywarły pomiary odległości. Emitowana wiązka lasera wykazuje dużą zbieżność

(rozmiary plamki rzędu 7mm x 14 mm przy odległościach rzędu 20 m), co pozwala na wykonanie pomiaru w sposób jednoznaczny. Dodatkowym czynnikiem zwiększającym wiarygodność pomiaru jest opatentowana przez producenta użytego sprzętu (Leica Geosystems) technologia „PinPoint” zapewniająca wykonywanie odczytów dla miejsc o największej sile odbicia promienia laserowego. Eliminuje to efekt przypadkowego „poślizgu” wiązki powstającego z reguły przy natrafieniu na różne obiekty znajdujące się wzdłuż jej toru.

Zrobotyzowane pomiary tachimetryczne, w warunkach aktywnej budowy podlegały licznym zakłóceniom. Głównymi czynnikami utrudniającymi pomiar były drgania oraz wibracje podłoża, na którym zlokalizowane zostało stanowisko instrumentu. Działający w trybie ciągłym tachimetr elektroniczny narażony był ponadto na możliwość rozpoziomowania na skutek działania ludzkiego. Jest to niewątpliwie czynnik ograniczający realizację pomiarów na budowie, a jedynym środkiem zaradczym jest należyte oznakowanie stanowiska instrumentu. Należy jednak podkreślić, iż znaczącym remedium na tego typu problemy jest prowadzenie pomiaru ciągłego. Duże zbiory danych wraz z udogodnieniami technologicznymi stosowanego sprzętu umożliwiają dokonanie odpowiedniej filtracji uzyskanych wyników i w rezultacie, wyznaczenie wiarygodnego trendu zachodzących zmian. Zrobotyzowane tachimetry bezreflektorowe umożliwiają zatem efektywne prowadzenie monitoringu zmian geometrycznych obiektów inżynierskich.

LITERATURA

- [1] Boccadoro L., Frangi A. 2013. Experimental analysis on the structural behaviour of timber-concrete composite slabs made of beech-laminated veneer lumber. *Journal of Performance of Constructed Facilities (ASCE)*. Volume 28, No. 6.
- [2] Crocetti R., Sartori T., Tomasi R. 2015. Innovative Timber-Concrete Composite Structures with Prefabricated FRC Slabs. *Journal of Structural Engineering*, September 2015, Vol. 141, No. 9.
- [3] Ehrhart M., Lienhart W. Monitoring of Civil Engineering Structures using a State-of-the-art Image Assisted Total Station, *Journal of Applied Geodesy* 2015; 9(3), str. 174–182.
- [4] Ghilani C. D., Wolf P. R. 2006. *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Karsznia K., 2003, Programowanie wewnętrzne tachimetrów elektronicznych w celu automatyzacji badania ich dokładności kątowych, *Przegląd Geodezyjny*, Nr 1/2003
- [6] Karsznia K., 2014, Współczesna technologia skanowania laserowego 3D w monitorowaniu przemieszczeń i deformacji obiektów mostowych, *Mosty*, styczeń 2014, str. 24-27.
- [7] Karsznia K., Portasiak K., 2007, Koncepcja zintegrowanego monitoringu strukturalnego na przykładzie systemu kontrolno-pomiarowego Leica GeoMoS, artykuł konferencyjny XX. Jubileuszowej Jesiennej Szkoły Geodezji im. Jacka Rejmana „Współczesne metody pozyskiwania i modelowania geodanych”, Polanica Zdrój 16-18 września 2007.

- [8] Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology ETH Zurich, <http://www.vaw.ethz.ch>.
- [9] Lambrou E., Pantazis G. Evaluation of the Credibility of Reflectorless Distance Measurement, *Journal of Surveying Engineering (ASCE)*, November 2010, 165-171
- [10] Leica TPS1200+ Precyzyjny i wydajny tachimetr elektroniczny, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Szwajcaria 2006.
- [11] Leica Viva TS 15 Dane techniczne, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Szwajcaria 2010.
- [12] Mills J., Barber D. Geomatics Techniques for Structural Surveying, *Journal of Surveying Engineering (ASCE)*, May 2004, str. 56-64.
- [13] Moschas F, Stiros S. C. High accuracy measurement of deflections of an electricity transmission line tower, *Engineering Structures* 80 (2014), str. 418–425.
- [14] Pawłowski W. 2015. Uwarunkowania prawne i techniczne procedur geodezyjnych w budownictwie. Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- [15] Płatek A. 1991. Geodezyjne dalmierze elektromagnetyczne i tachimetry elektroniczne. Część pierwsza. Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im. Eugeniusza Romera, Warszawa-Wrocław.
- [16] Psimoulis P.A., Stiros S.C. Measurement of deflections and of oscillation frequencies of engineering structures using Robotic Theodolites (RTS), *Engineering Structures* 29 (2007), str. 3312–3324.
- [17] Stiros S.C., Psimoulis P.A. Response of a historical short-span railway bridge to passing trains: 3-D deflections and dominant frequencies derived from Robotic Total Station (RTS) measurements, *Engineering Structures* 45 (2012), str. 362–371
- [18] Wanic A. 2007. Instrumentoznawstwo geodezyjne i elementy technik pomiarowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn.
- [19] Wanninger F., Frangi A. 2014. Experimental and analytical analysis of a post-tensioned timber connection under gravity loads. *Engineering Structures*, vol. 70, 7/1/ 2014. 117-129.

Badania przeprowadzono podczas odbywanego przez autora od marca 2014 r. do czerwca 2015 r. stażu naukowego w Szwajcarskiej Politechnice Federalnej ETH w Zurychu, Szwajcaria.

THE ASSESSMENT OF REFLECTORLESS DISTANCE RANGING IN DEFORMATION MEASUREMENTS OF A COMPOSITE STRUCTURE

Summary

The studies of deformations play a crucial role in dealing with projects of structural engineering. Appropriate measurements on a construction site are usually performed by using physical and land surveying technologies. Increasingly growing applications of the mentioned methods takes often the form of an integrated structural health monitoring (SHM) of examined constructions. Contemporary surveying instruments regularly use the solutions of modern physics, especially lasers, which significantly improves the measurement process. Modern instrumental readout systems make it possible to significantly increase the accuracy of distance measurements making them reliable and fast.

Thanks to these solutions, it is possible to collect the data from inaccessible spatial elements which results in the possibility of building efficient SHM systems. The article assesses the use of laser distance measurements in the study of deformation process of a novel composite structure in terms of work efficiency and accuracy.

Dane autora:

dr inż, Krzysztof Karsznia

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Inżynierii Budowlanej

e-mail: Krzysztof_Karsznia@sggw.pl

telefon: 022 5935143