



## TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Marcin SZOŁUCHA, Adam BARTNICKI, Janusz BOGUSZ, Grzegorz NYKIEL,  
Piotr SZYMAŃSKI, Maciej WRONA

# ZINTEGROWANE SYSTEMY MONITOROWANIA STANU STAŁYCH I TYMCZASOWYCH PRZEPRAW MOSTOWYCH W ASPEKTCIE ICH DEGRADACJI EKSPLOATACYJNEJ I ZDARZEŃ DESTRUKCYJNYCH

### *Streszczenie*

Od 2010 roku w Wojskowej Akademii Technicznej realizowany jest projekt badawczy mający na celu budowę zautomatyzowanego systemu monitorowania odkształceń i deformacji konstrukcji mostowych integrującego różnego rodzaju instrumenty pomiarowe. Głównym elementem działania systemu stał się odbiornik GPS generujący czas systemowy integrujący dane przesyłane przez różne mierniki, takie jak: indukcyjne czujniki przemieszania, niwelator kodowy, pochylomierze czy tachimetr robotyczny. Dodatkowo całość systemu została zintegrowana modułem sterowania i akwizycji danych pomiarowych oraz elementami teleinformatycznymi. Dodatkowo z uwagi na charakter pomiarów polegających na ciągłym monitorowaniu obiektu mostowego podlegającego zmianom o dużej dynamice (wywołanych obciążeniami, jak również warunkami eksploatacji czy czynnikami destrukcyjnymi), odbiorniki satelitarne o konstrukcji dającej możliwość rejestracji danych z częstotliwością co najmniej 10 Hz służą jako podstawowe sensory pomiarowe. Niniejszy artykuł przedstawia ideę działania systemu, jak również testy przeprowadzone na stałych i tymczasowych przeprawach mostowych. Na pomiarach stałych (most Siekierkowski) zastosowano jedynie odbiorniki GPS rozmieszczone tak, aby uzyskać wartości przemieszczeń zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. W celu zwiększenia wiarygodności uzyskanych wyników do systemu zostały włączone również czujniki indukcyjne oraz niwelator kodowy i całość przetestowana została na pojedynczym przęśle tymczasowej przeprawy mostowej znajdującej się w Wojskowej Akademii Technicznej.

Wyniki pomiarów wykazały, że zastosowana technika pozwala skutecznie monitorować w czasie rzeczywistym obiekty mostowe z dokładnościami zapewniającymi możliwość zidentyfikowania ewentualnych zagrożeń.

Opracowany system został wykonany jako otwarty, co umożliwia jego rozbudowę o inne czujniki oraz sensory zwiększające jego efektywność.

## WSTĘP

Potrzeba ciągłego dostarczania informacji o geometrycznym i dynamicznym stanie konstrukcji jest niezaprzeczalna. Jest to szczególnie istotne w przypadku przepraw tymczasowych (wykorzystywanych w sytuacjach kryzysowych) narażonych na dodatkowe czynniki jak niewłaściwa eksploatacja, przeładowanie, obciążenie nurtem rzeki i niesionym

przez nią materiałem, czy ekstremalne warunki atmosferyczne. Proces monitorowania ewentualnych zmian w klasycznym ujęciu pomiarowym wiąże się z koniecznością zaangażowania grupy wykwalifikowanych inżynierów dysponujących odpowiednim sprzętem. Jest to oczywiście bardzo utrudnione szczególnie podczas sytuacji kryzysowych takich jak np. powódzie. System opracowany przez zespół z Wojskowej Akademii Technicznej oparty na technice GNSS pozwolił na zautomatyzowanie procesu monitorowania jednocześnie wprowadzając możliwość ciągłej kontroli geometrii konstrukcji mostowych.

## 1. POMIAR MOSTU SIEKIERKOWSKIEGO

Pierwsze testy mające na celu określenia możliwości użycia tylko techniki GNSS (Global Navigation Satellite Systems) do monitorowania przemieszczeń konstrukcji mostowych wykonano na Moście Siekierkowskim w Warszawie. Pomiary zrealizowano przy użyciu sprzętu laboratoryjnego a uzyskane wyniki posłużyły do zdefiniowania zarówno wymagań systemu jak i określenia możliwości budowy jednolitego systemu monitorowania.

Przedsięwzięcie pomiarowe przeprowadzono przy wykorzystaniu 7 odbiorników o częstotliwości akwizycji 20 Hz (Leica 1230) i 2 odbiorniki 10 Hz (Trimble 5700). Odbiorniki o niższej częstotliwości wyznaczenia pozycji umieszczono po zewnętrznych stronach jezdni, w połowie długości głównego przęsła. Jeden z odbiorników 20 Hz umieszczono także po środku głównego przęsła w jego centralnej części. Cztery kolejne ustawiono na pylonach, dwa posłużyły jako stacje referencyjne rys 1.

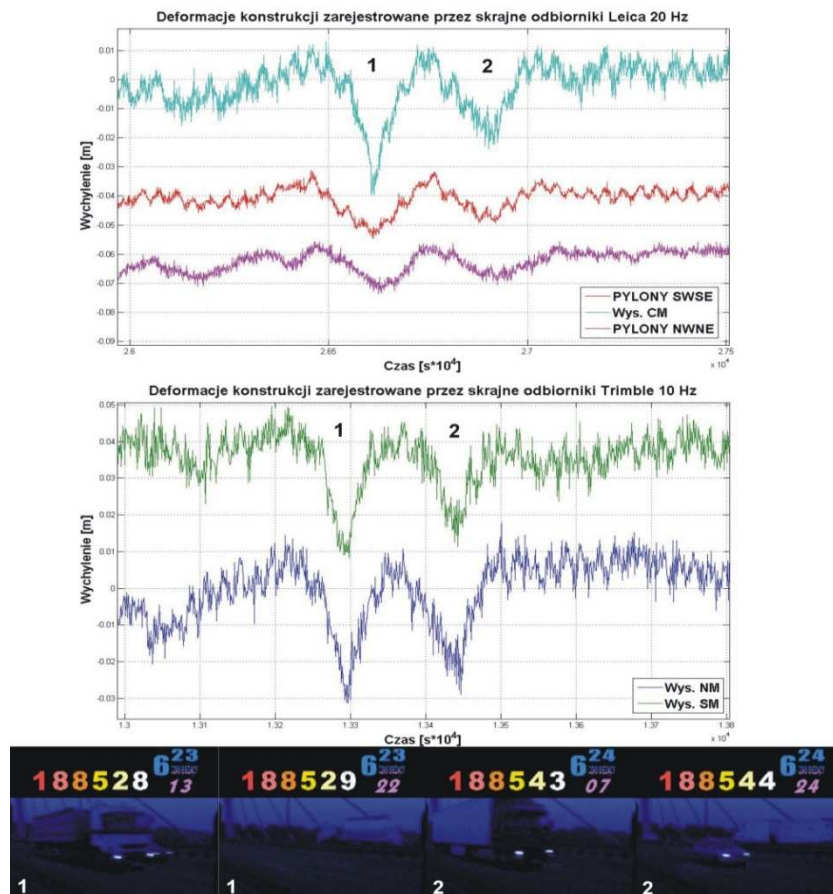


Rys. 1. Rozmieszczenie odbiorników GNSS na moście Siekierkowskim

Sesję pomiarową rozpoczęto w nocy (godzina 3:00) i obejmowała pięciogodziną obserwację. Dla identyfikacji pojazdów powodujących odkształcenia wykorzystano 3 kamery VHS.

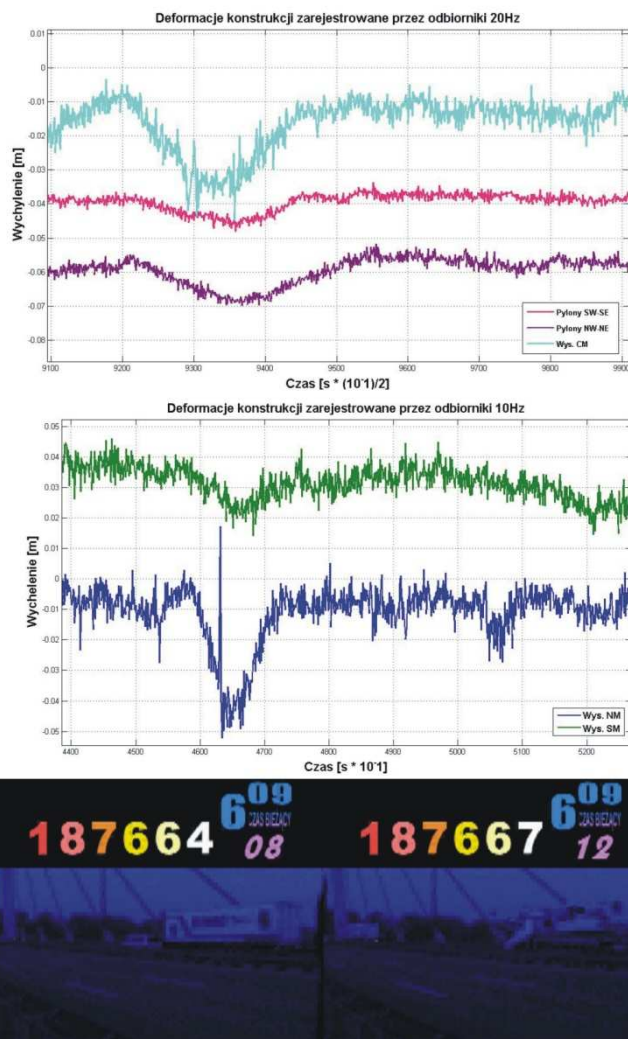
Uzyskane wyniki poddano analizie i przykładowe wartości odkształceń podczas przejazdu pojazdów ciężarowych przedstawia ilustracja poniżej (rys.2). Pierwsze widoczne wymuszenie zostało wywołane przez auta poruszające się w przeciwnych kierunkach, znajdujące się na środku głównego przęsła.

Błękitna linia przedstawia zmianę wysokości odbiornika znajdującego się po środku głównego przęsła, w środkowej części jezdni. Linie czerwona i fioletowa prezentują zmianę odległości pomiędzy pylonami w momencie obciążenia głównego przęsła. Doświadczenie wykazało zmianę odległości pomiędzy pylonami w zakresie 1-2 cm w funkcji wielkości obciążenia głównego przęsła. Wykres poniżej ilustruje wyniki pomiaru na zewnętrznych punktach jezdni. Większe wychylenie podczas drugiego przejazdu pojazdów wskazuje na większą masę auta (z przyczepą) widocznego na rysunku poniżej (zdjęcie 4) przejeżdżających w przeciwnych kierunkach, w tym samym czasie.



**Rys. 2.** Rezultat pomiaru na przęśle i pylonach podczas przejazdu aut ciężarowych

W opisanym powyżej przypadku, obydwie strony konstrukcji były jednomiernie obciążone. Rysunek nr 3 przedstawia natomiast sytuację gdy wymuszeniu podlega tylko jedna ze stron jezdni.



**Rys. 3.** Rezultat pomiaru podczas obciążenia północnej strony mostu.

Do analizy danych pomiarowych wykorzystano metodę szybkiej transformaty Fouriera (FFT), która umożliwiła określenie częstotliwości drgań własnych konstrukcji. W wyniku tej operacji, dla wszystkich odbiorników, otrzymano częstotliwość 0,931 Hz. Wartość ta okazała się zbliżona do 0,95Hz uzyskanej podczas badań odbiorczych obiektu [14]. Niewielka rozbieżność może być spowodowana faktem, iż podczas badań odbiorczych obiekt był zamknięty dla ruchu, podczas gdy testy z wykorzystaniem GPS odbywały się w normalnym ruchu ulicznym. Dla północnych pylonów odnotowano dodatkowo drgania o częstotliwości 1,274 Hz, identyczne z tymi otrzymanymi podczas badań odbiorczych [14].

Pozytywne wyniki jakie zostały otrzymane z wyżej opisanych pomiarów stanowiły początek do opracowania w pełni zautomatyzowanego systemu monitorowanie przepraw mostowych w czasie rzeczywistym.

## 2. OPIS SYSTEMU

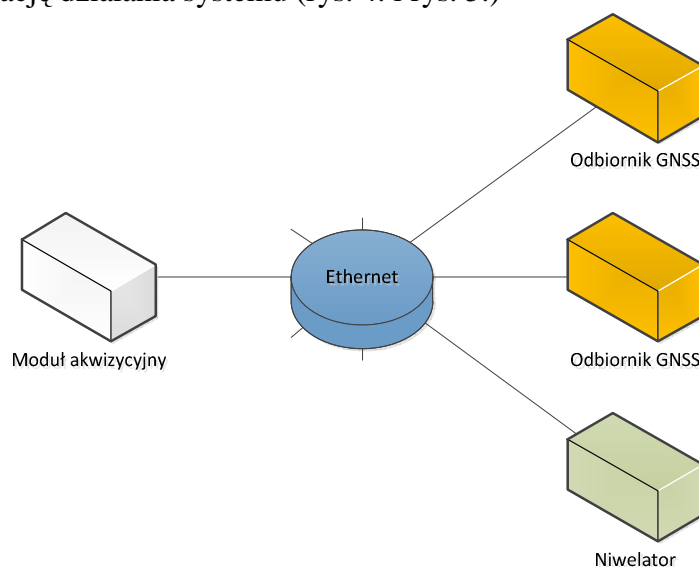
Pierwsze wyniki przeprowadzonych testów wskazały, że dla właściwego monitorowania ugięć konstrukcji mostowych niezbędnym jest aby system posiadał możliwość integracji wielu typów sensorów pomiarowych połączonych wspólną podstawą czasu, generowaną przez segment satelitarny. W związku z tym głównym elementem działania systemu stał się odbiornik GNSS generujący czas systemowy integrujący dane przesyłane przez różne mierniki takie jak: indukcyjne czujniki przemieszania, niwelator kodowy, pochylomierze czy

tachimetr robotyczny. Dodatkowo całość systemu została zintegrowana modułem sterowania i akwizycji danych pomiarowych oraz elementami teleinformatycznymi.

Jednocześnie z uwagi na konieczność budowy systemu otwartego dodatkowym założeniem stało się utworzenie w systemie możliwości szybkiej implementacji nowych czujników zarówno cyfrowych jak i analogowych co rozszerzyło wymagania w stosunku do modułu akwizycji.

Zastosowanie wysokoczęstotliwościowych odbiorników GNSS umożliwiło nie tylko zaobserwowanie statycznych zmian geometrii konstrukcji ale także ocenę jej parametrów dynamicznych, dzięki czemu możliwa stała się pełna ocena aktualnego stanu monitorowanego obiektu. Komunikacja z odbiornikami została zaprojektowana dwukierunkowo. Ze stacji roboczej do odbiornika przesyłane były ustawienia oraz korekty do obserwacji z odbiornika bazowego umieszczonego poza strefą oddziaływania konstrukcji oraz warunków zewnętrznych. Dzięki temu możliwe stało się realizowanie przez odbiornik funkcji odbiornika bazowego pomiaru techniką RTK (Real Time Kinematic), która pozwala uzyskać centymetrowe dokładności w czasie rzeczywistym. W drugim kierunku, z odbiornika do stacji roboczej przesyłane były wyniki pomiarów z wykorzystaniem protokołu NMEA 0183 – rekord GGA (National Marine Electronics Association - Global Positioning System Fix Data). Protokół ten zawiera wszystkie niezbędne informacje z wykonanego pomiaru, w tym: czas, pozycję, liczbę satelitów oraz parametry dokładnościowe.

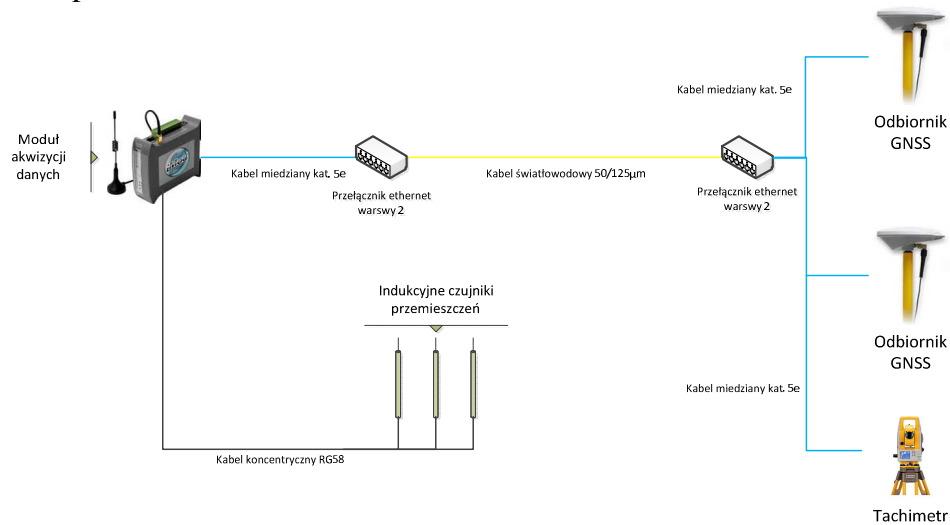
Oprócz odbiorników satelitarnych do wersji testowej systemu dołączono indukcyjne czujniki przemieszczenia, które dzięki dużo wyższej dokładności stanowiły element kontrolny danych pomiarów GNSS. Pewnym ograniczeniem w przypadku użycia tych czujników jest stosunkowo niska częstotliwość przekazywania danych (ok. 1 Hz), która w niektórych sytuacjach może okazać się niewystarczająca do określenia dynamiki konstrukcji natomiast może stanowić element kalibracyjny. W trakcie testów do systemu dołączony został również niwelator kodowy z łąką umieszczoną w pobliżu anteny GNSS, który miał stanowić dodatkową weryfikację działania systemu (rys. 4. i rys. 5.)



**Rys. 4.** Schemat ideowy systemu akwizycji danych

Podstawą częścią integrującą sensory dla projektowanego systemu stanowiła technologia Ethernet z wykorzystaniem modelu TCP/IP (czterech najniższych warstw modelu OSI). Warstwą fizyczną był zarówno kabel światłowodowy jak i kabel miedziany. Ich zastosowanie podyktowane było rozmiarami konstrukcji oraz możliwościami prowadzenia przewodów na badanym obiekcie. Z uwagi na założenie wymuszające działanie systemu zarówno na małych jak i dużych konstrukcjach mostowych system zaprojektowano tak aby do

transmisji można było wykorzystywać zarówno technikę światłowodową jak i standardowe przewody miedziane. Warstwa łącza danych wykorzystywała podwarstwy MAC i LLC. Warstwa sieciowa została oparta o protokół IP wersji 4, natomiast warstwa transportowa wykorzystywała protokół TCP.



**Rys. 5.** Schemat sieci systemu akwizycji danych

Sieć rozgałęziona została za pomocą programowalnych przełączników Ethernet warstwy 2. Wybrane zostały przełączniki Advantech EKI-7656CI z uwagi na ich parametry techniczne pozwalające na prace w trudnych warunkach atmosferycznych (szeroki zakres temperatur pracy) oraz możliwość zasilania prądem stałym lub przemiennym. Dodatkowo przełączniki te wyposażono w moduły SFP (Długofalowy Moduł Światłowodowy) dla standardu 1000BASE-LX pozwalające na komunikację za pomocą medium światłowodowego.

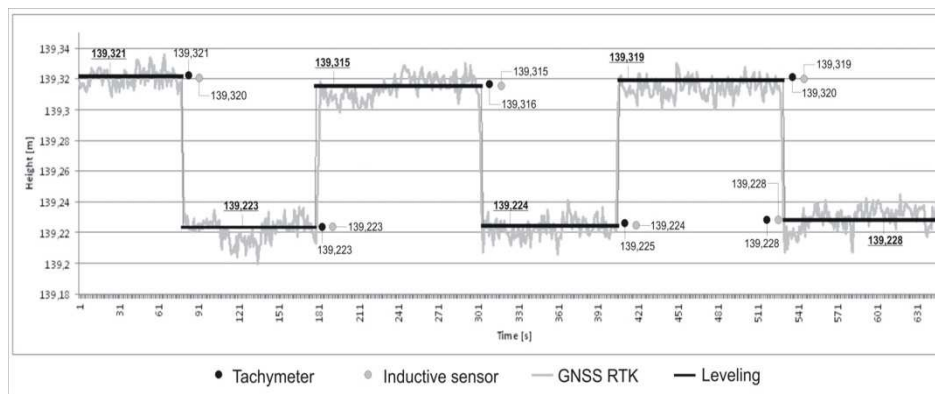
W trakcie testów centralną częścią systemu akwizycji danych było urządzenie telemetryczne iMod firmy TechBase. Urządzenie to posiada interface Ethernet, modem GPRS, możliwość komunikacji w standardach RS-232 i RS-485 oraz pomiaru napięć stałych i przemiennych. iMod oparty jest o architekturę procesora ARM9 taktowanego z częstotliwością 180MHz. Pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego Linux wyposażonego między innymi w usługi Apache (http), MySQL czy SSH. Proces akwizycji danych opierał się na składowaniu danych w urządzeniu iMod lub ich przesyłaniu na serwer zewnętrzny za pośrednictwem sieci LAN lub GPRS. Jeżeli wymagana jest ciągła prezentacja danych w formie graficznej możliwe jest to poprzez wykorzystanie serwera http znajdującego się w urządzeniu telemetrycznym.

Dzięki zastosowaniu, poza technologią Ethernet, łączy w standardzie RS-232c, możliwe stało się wykorzystanie większej ilości urządzeń. Ograniczeniem jest tu jedynie długość kabla określona w standardzie do 15m. Jednak w przypadku konieczności komunikacji na większą odległość (do 3km), możliwe jest korzystanie z modemów RS-232 transmitujących za pośrednictwem kabli światłowodowych, lub serwerów RS-232 (w tej realizacji urządzenia firmy MOXA).

### 3. TESTY NA PRZEPRAWACH TYMCZASOWYCH

Pierwszym testem wykonanego systemu był pomiar wojskowej przeprawy tymczasowej BLG-67 zrealizowany na terenie Wojskowej Akademii Technicznej. Na stanowisku testowym wykonano ponad 2500 cykli pomiarowych, w trakcie których obciążano konstrukcję masą 30 t za pomocą podnośników hydraulicznych. W opracowanym systemie zastosowano wysokoczęstotliwościowe odbiorniki GNSS wraz z indukcyjnymi czujnikami

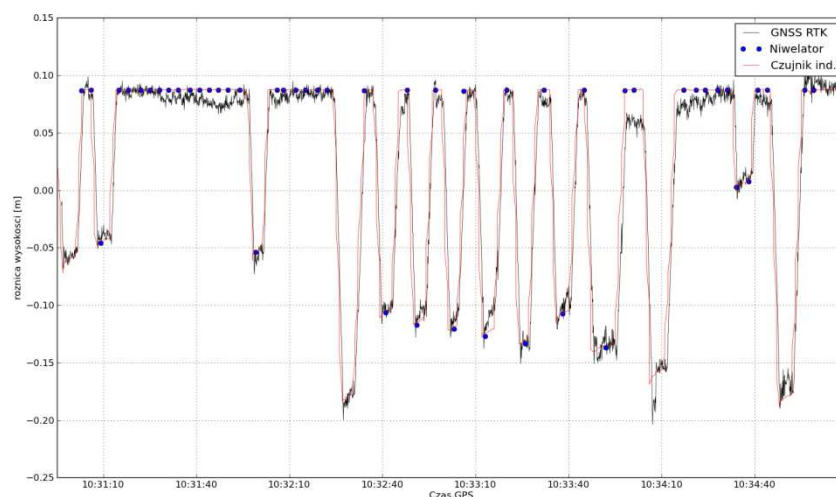
przemieszczenia. Dodatkowo jako kontrolę wyników pomiarów zastosowano tachimetr robotyczny Leica TM30 oraz niwelator kodowy Leica Sprinter 250.



**Rys. 6.** Przykładowe wyniki testu pomiarowego na przeprawie tymczasowej BLG-67

Uzyskane wyniki (rys. 6.) z jednej strony pozwoliły na usunięcie niektórych mankamentów funkcjonowania systemu jak również potwierdziły możliwość uzyskania dokładności wymaganych w monitorowaniu tego typu konstrukcji. Dokonano również modyfikacji elementów składowych systemu zmieniając tryb pracy niwelatora kodowego.

Drugi przeprowadzony test przy zmodyfikowanych niektórych elementach systemu zrealizowano na tym samym obiekcie. Z uwagi na długość konstrukcji nie było potrzeby wykorzystywania kabli światłowodowych. Wymiary mostu pozwoliły na wykonanie infrastruktury sieciowej wyłącznie za pomocą kabla miedzianego kat. 5e umożliwiającego, zgodnie ze standardem 1000BASE-TX, komunikacje do 100m. Do sprawdzenia dokładności pomiaru odbiorników GNSS wykorzystano indukcyjne czujniki przemieszczeń. Czujniki te wytwarzają stałe napięcie o wartości zależnej od długości wektora przesunięcia w osi zamocowania czujnika. W celu odczytania pomiaru czujnika wykorzystano możliwość pomiaru napięć urządzenia iMod. Na rysunku nr 7 zestawione zostały wyniki fragmentu danych pomiarowych ze wszystkich sensorów systemu.



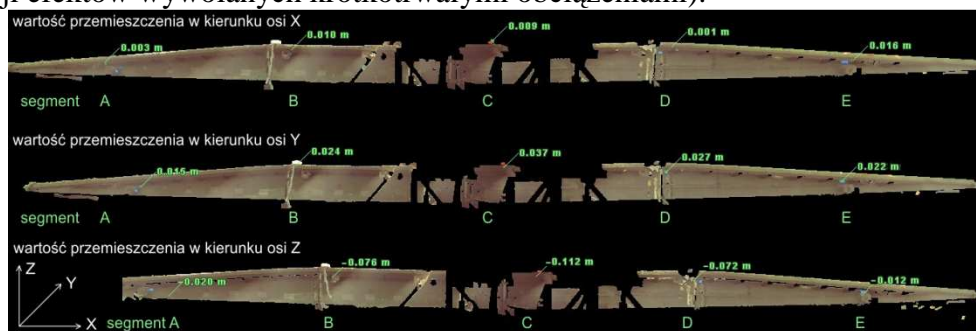
**Rys. 7.** Wyniki pomiarów na przeprawie mostowej z dnia 14 czerwca 2012.

Pomiary punktowe na rysunku są to pomiary niwelatora, którego czas cyklu pomiarowego pozwalał tylko na wyznaczenie wartości skrajnych położenia obciążanego mostu. Dane ciągłe (wskazujące przemieszczenia obiektu) dostarczane były tylko przez czujnik indukcyjny i odbiorniki GNSS. Tym samym należy zauważyć, że zastosowanie tradycyjnej

techniki pomiarowej wykorzystującej niwelatory czy tachimetry nie pozwalają w pełni uzyskać informacji o dynamice zmian obiektu. Jednocześnie wykres pokazuje wysoką zgodność wyników wszystkich uczestniczących w pomiarze sensorów.

W trakcie trwania testów, wykonano jednocześnie pomiary naziemnym skanowaniem laserowym. Pomiar miał za zadanie określenie możliwości zastosowania tego typu pomiarów do badania konstrukcji mostowych. Do tego celu wykorzystano skaner Leica ScanStation2 oraz tarcze celownicze HDS, które umożliwiły przetransformowanie uzyskanej chmury punktów do jednego układu współrzędnych. Z uwagi na czas trwania pomiaru możliwe było wykonanie skanowania jedynie w dwóch położeniach przęsła – przy zerowym oraz maksymalnym obciążeniu rys 8. Gęstość siatki punktów wynosiła w obu przypadkach 1mm dla odległości skanowania ok. 5 metrów.

Wnioski z przeprowadzonego skanowania wskazują, że na obecnym etapie rozwiązań technicznych wykorzystanie skanera laserowego jest ograniczone jedynie do zjawisk wolnozmiennych typu: przemieszczenia czy odkształcenia co eliminuje możliwość wykorzystania tej techniki do badań zjawisk dynamicznych. Z kolei z uwagi na uzyskiwanie wysokich dokładności chmury punktów, ten typ pomiaru można z powodzeniem wykorzystać do badania konstrukcji mostowych w tradycyjnej technologii pomiarowej (bez możliwości rejestracji efektów wywołanych krótkotrwałymi obciążeniami).



Rys. 8. Wizualizacja wyników uzyskanych ze skanera laserowego.

## PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na możliwość wykorzystania danych GNSS do badania zachowania konstrukcji wobec wymuszeń zewnętrznych. Opisane testy udowadniają, że użycie pomiarów satelitarnych w diagnostyce dużych obiektów budowlanych jak mosty, budynki, kominy czy tamy jest w pełni uzasadnione. Testy opracowanego systemu przeprowadzone na terenie WAT oraz próby na mostach w pełni to potwierdzają.

**Dodatkowo należy zauważyć, że zastosowane rozwiązanie zapewnia możliwość monitorowania przepraw w sposób ciągły przy dynamicznie zmieniających się obciążeniach, co przy zastosowaniu pomiarów klasycznych nie było możliwe.**

W wyniku prac sformułowano listę możliwości i ograniczeń jakie związane są z pozyskiwaniem informacji o dynamicznym zachowaniu konstrukcji z zastosowaniem techniki satelitarnej.

### Ograniczenia:

- czysty horyzont – anteny GNSS muszą być bezpośrednio widoczne przez satelity systemu. Mimo stopniowego wprowadzania częstotliwości L5, której charakterystyka ma zwiększyć dostępność sygnału w terenach o częściowo przesłoniętym horyzoncie, wciąż prawidłowe ułożenie anteny jest podstawą uzyskania koniecznych dokładności;
- błąd RMS  $\geq 2\text{cm}$  – Dokładność wyznaczenia pozycji odbiornika ruchomego względem stacji bazowej, w zależności od warunków pomiaru, przyjmuje wartości 1cm dla



składowych poziomych i 2cm dla wysokości. Wielkości te mimo, iż dla pomiarów satelitarnych wydają się być małe, to dla geodezji inżynierskiej są na granicy możliwości ich wykorzystania. Stąd, możliwość użycia pomiarów satelitarnych ogranicza się do konstrukcji których deformacje są odpowiednio duże. W metrologii ogólnej przyjmuje się aby dokładność instrumentu pomiarowego była na poziomie minimum 1/5 wartości mierzonej. Aczkolwiek należy zauważyć, iż różnicowe pomiary fazowe należące do grupy względnych pomiarów GNSS umożliwiają pomiar odległości między odbiornikiem ruchomym a stacją bazową z dokładnością 2mm. Podczas detekcji pojedynczych deformacji, negatywne efekty składające się na błędy długookresowe nie mają znaczącego wpływu na dokładność wyznaczenia amplitudy odkształcenia [5, 8];

- niska częstotliwość akwizycji – Dzisiejsze odbiorniki dają możliwość rejestrowania danych z częstotliwością od 1Hz do 100Hz. Jak wykazały testy, dobrej jakości wyniki uzyskano dla częstotliwości maksymalnie 50Hz. Ze względu na objętość, wykorzystanie danych o wysokiej częstotliwości pociąga za sobą problemy związane z użyciem odpowiedniego oprogramowania, sprzętu obliczeniowego oraz medium transmisji o dostatecznej przepustowości. Stąd, na dzień dzisiejszy, w instalacjach monitorujących zachowanie konstrukcji wykorzystywane mogą być standardowe odbiorniki o maksymalnej częstotliwości wyznaczenia pozycji 10Hz i 20Hz. Mimo, iż te wartości są wysokie z punktu widzenia tradycyjnych zastosowań systemów nawigacyjnych w geodezji, to dla niewielkich konstrukcji o częstotliwościach oscylacji przekraczających 10Hz mogą być niewystarczające [3, 13, 15];
- konieczność wykorzystania dwóch odbiorników – Metoda różnicowych pomiarów fazowych pociąga za sobą konieczność wykorzystania minimum dwóch odbiorników: ruchomego i referencyjnego. Możliwe jest alternatywne wykorzystanie serwisów RTK generowanych przez system ASG-EUPOS opracowany przez Główny Urząd Geodezji i Teledetekcji lub inne serwisy komercyjne, ale w tym przypadku istnieje niebezpieczeństwo przerwania transmisji z uwagi na obciążenie ogólnodostępnych łączy [2, 9];
- błędy wielotorowości sygnału – W zależności od miejsca ulokowania anteny, możliwe jest okresowe zaburzenie wyznaczenia pozycji za sprawą interpretacji przez odbiornik sygnałów odbitych od obiektów w terenie jako biegnących bezpośrednio z satelity. Ma to najczęściej miejsce w przypadku małego kąta elewacji satelity. Z tego powodu ważne jest właściwe zaplanowanie miejsca umieszczenia odbiorników GNSS [7, 11].

#### **Możliwości:**

- zintegrowany odbiornik GNSS – Dzisiejsze odbiorniki nawigacji satelitarnej są zintegrowane z anteną i modułami transmisji danych. Wielkość takiego urządzenia (w zależności od modelu) wynosi 180x180x100 mm a jego masa całkowita rzadko przekracza 2 kg. Zintegrowany odbiornik zawiera następujące elementy: antena, odbiornik GNSS, radiomodem, moduł GPRS/3G, Bluetooth oraz akumulator. Wewnętrzny akumulator pozwala na pomiar ciągły do 7 godzin. Okres pracy może być wydłużony po podłączeniu zewnętrznego źródła zasilania. Wysoki stopień zintegrowania modułów zbierania i wymiany informacji sprawia, iż odbiornik wykorzystany jako czujnik przemieszczeń może być w łatwy sposób instalowany i demontowany na wybranych elementach konstrukcji. Jego mobilność oraz prostota wykorzystania stanowią o wysokiej przydatności dla monitorowania konstrukcji mostowych jak i podczas okresowych badań zachowania obiektów budowlanych w toku budowy, badań odbiorczych i eksploatacji [6, 8, 12];
- transmisja danych – Odbiorniki wyposażone w moduły przesyłu danych są w stanie transmitować wyniki obserwacji drogą radiową lub poprzez GPRS. Ponadto wykorzystanie protokołu NTRIP umożliwia bezpośredni transfer informacji do sieci

Internet gdzie dane źródłowe jak i wyniki obliczeń mogą być rozsyłana do miejsc odległych od badanego obiektu [1, 5, 16];

- czas rzeczywisty – Wykorzystanie odbiorników GNSS pracujących w trybie RTK umożliwia pozyskiwanie danych o stanie konstrukcji w czasie zbliżonym do rzeczywistego;
- pozycja 3D – W wyniku obserwacji satelitarnych otrzymuje się składowe pozycje w trzech kierunkach. Dzięki temu możliwe jest jednoczesne określenie amplitudy i częstotliwości oscylacji co ma kluczowe znaczenie przy diagnozie stanu technicznego obiektu [4, 10];
- odbiorniki jednoczęstotliwościowe - Wyniki badań wskazują że wykorzystanie tańszych jednoczęstotliwościowych odbiorników wiąże się z ryzykiem obniżenia dokładności oraz dłuższego okresu utraty informacji podczas utraty sygnału lub zagubienia pełnych cykli fazowych [6].

**Niniejsza publikacja jest częścią projektu badawczego MNiSW,  
grant nr 1649/B/T00/2010/40.**

## **INTEGRATED MONITORING SYSTEMS OF PERMANENT AND TEMPORARY BRIDGE STATE IN CASE OF THEIR OPERATIVE DEGRADATION AND DESTRUCTIVE OCCURENCES ASPECTS**

### ***Abstract***

*Since 2012 the project aimed at constructing automated system for monitoring of bridges has been performed in the Centre of Applied Geomatics, Military University of Technology. The main element is the GPS receiver which gives the precise position and the time base as well. GPS time is the element that integrates other devices which the system is composed of. These devices are: inductive sensors, precise code leveler, inclinometers and robotic tachymeter. The module of control and data acquisition together with teleinformatic devices integrate the whole system. The bridges are the engineering structures which could move and deform in very complicated ways with high dynamics, so we have used GPS receivers with the acquisition capabilities below 10 Hz. This paper presents the general idea of such a system as well as the results of field test made at regular (Siekierkowski) and temporary bridge crossings. The results have proved that the applied system is able to monitor in quasi-real time bridges with accuracies sufficient for fast identifications of potential threads.*

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Beshor R., Kijewski-Correa T., Kochly M., Kareem A.: *Full-scale monitoring of wind induced response of tall buildings*. Proceedings of the 4th Word conference on structural control and monitoring, 2006.
2. Bond J., Chrzanowski A., Kim D.: *Bringing GPS into harsh environments for fully automated deformation monitoring*. Springer-Verlac, 2007.
3. Breuer P. Chmielewski T., Górsi P., Konopka E.: *The Stuttgart TV Tower – displacement of the top caused by the effects of Sun and wind*. Engineering Structures, 2008, pp. 2771-2781.
4. Cazzaniga N.E., Pinto L., Bettinali F., Frigerio A.: *Structural monitoring with GPS and accelerometers the chimney of the power plant in Piacenza*. Proceedings of the 12th

- FIG symposium on deformations measurements Baden, Austria, 22-23 May 2006.
5. Chmielewski T., Breuer P., Górsi P., Konopka E.: *Monitoring of tall Spender structures by GPS measurements*. Wind and Structures, 2009, pp. 401-412.
  6. Cosser E.: *Bridge deflection monitoring and frequency identification with single frequency GPS receiver*. Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy, University of Nottingham, 2003.
  7. Chrzanowski A, Wilkins F.: *Accuracy evaluation of geodetic monitoring of deformations in large open pit mines*. Proceedings of the 12th FIG symposium on deformations measurements Baden, Austria, 22-23 May 2006.
  8. Figurski M., Gałuszkiewicz M., Wrona M.: *A bridge deflection monitoring with GPS*. Artificial Satellites, Journal of Planetary Geodesy, Vol. 42 No. 4, 2007, pp. 229-238.
  9. Helz R. L.: *Monitoring Ground Deformations from Space*. US Geological Survey Fact Sheet, 2005-773-227/11054.
  10. Hide C., Blake S., Meng X., Roberts G., Moore T., Pack D.: *An investigation in the use of GPS and INS sensors for structural health monitoring*. Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy, University of Nottingham, 2005.
  11. Landau H., Vollath U., Chen X.: *Virtual Reference Stations Versus Broadcast Solutions in Network RTK – Advantages and Limitations*. 2003.
  12. Meng X., Roberts G., Dodson A.: *Detecting bridge deformations with GPS and triaxial accelerometers*, Engineering Structures, Vol. 29, 2007, pp. 3178-3184.
  13. Nickitopoulou A., Protosalti K., Stiros S.: *Monitoring dynamic and quasi-static deformations of large flexible engineering structures with GPS: Accuracy, limitations and promises*. Engineering Structures Vol. 28, 2006, pp. 1471-1482.
  14. Olaszek P., Łagoda M.: *Badania w trakcie budowy i odbioru mostu siekierkowskiego w Warszawie*. II Sympozjum Badania i diagnostyka mostów, Opole, 2003
  15. Tamura Y.: *Wind Induced Damage to Buildings and Disaster Risk Reduction*. Proceedings of the APCWE-VII, Taipei, Taiwan, 2009.
  16. Wrona M.: *GNSS Application for Structural Monitoring Systems, Recent Advantages in research on environmental effects on buildings and people*. Polish Association for Wind Engineering, 2010, pp. 463-472.

**Autorzy: dr inż. Marcin SZOŁUCHA, ppłk dr inż. Adam BARTNICKI, dr inż. Janusz BOGUSZ, mgr inż. Grzegorz NYKIEL, inż. Piotr SZYMAŃSKI, mgr inż. Maciej WRONA – Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego.**