

Warszawa, dnia 15.02.2016 r.

Prof. nzw. dr hab. inż. Marek Woźniak
Katedra Geodezji Inżynieryjnej i Systemów Pomiarowo-Kontrolnych
Wydział Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

RECENZJA

**Rozprawy doktorskiej mgr inż. Izabeli Wilczyńskiej
nt. „Analiza zastosowań technik geodezyjnych i optoelektronicznych w badaniu stanu
geometrycznego belkowych elementów konstrukcyjnych”**

1. Podstawa formalna

Umowa z dnia 23.12.2015 r. zawarta pomiędzy Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu reprezentowanym przez: Prof. dr hab. inż. Bernarda Kontnego, Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu a dr hab. inż. Markiem Woźniakiem, Prof. nzw. Politechniki Warszawskiej w sprawie wykonania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Izabeli Wilczyńskiej nt. „Analiza zastosowań technik geodezyjnych i optoelektronicznych w badaniu stanu geometrycznego belkowych elementów konstrukcyjnych”

2. Przedmiot i cel rozprawy

Zgodnie z deklaracją autorki, celem pracy było wykonanie analizy dokładności i niezawodności zastosowań technik geodezyjnych oraz urządzeń optoelektronicznych w procesie określania zmian geometrycznych belek konstrukcyjnych.

Cel pracy jest jasny i godny podjęcia dla rozwoju technik pomiarowych na drodze do automatyzacji procesów kontrolnych, zapewniających wzrost bezpieczeństwa obiektów budowlanych.

Postawiona teza dysertacji brzmi: *Techniki optoelektroniczne, a w szczególności urządzenia optoelektroniczne takie jak dioda laserowa, matryca CCD, czujniki MEMS, pozwalają rozszerzyć możliwości technologii i technik geodezyjnych w badaniu stanu geometrii elementów obiektów budowlanych, zwłaszcza belek dźwigarowych.*

Teza jest stwierdzeniem dość oczywistym z zastrzeżeniem podkreślenia znaczenia ostatniej części zdania tj. *zwłaszcza belek dźwigarowych.*

Praca napisana jest na 145 stronach, zawiera 111 pozycji literatury, 29 pozycji odwołań do stron internetowych, jest bogato ilustrowana 140 rysunkami i 27 tabelami oraz dołączone są dwa krótkie załączniki (listingi kodu programów zapisanych dla Visual Basic i Scilab).

3. Główne problemy badawcze – treść merytoryczna

Z uwagi na bardzo złożony charakter zmian w zakresie geometrii konstrukcji budowli, jako całego obiektu autorka skupiła się nad badaniami wybranych elementów konstrukcyjnych, a konkretnie zmian geometrii belek konstrukcyjnych.

Wyczerpująco opisane są właściwości i reakcja belek betonowych, żelbetonowych, stalowych i drewnianych na obciążenia. Szereg uwag jest zbyt drobiazgowych i nieistotnych dla podejmowanego tematu pracy.

W rozdziale 3 doktorantka opisuje charakterystykę metod pomiarowych, dzieląc je na metody geodezyjne, fizyczne i optoelektroniczne. Rozdział ten zawiera również podrozdziały: *przetwarzanie danych* oraz *systemy pomiarowe do wyznaczania deformacji i przemieszczeń*.

W ramach rozważań związanych z przetwarzaniem danych opisany jest Filtr Kalmana oraz techniczne aspekty nowoczesnych rozwiązań transmisji danych ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań do komunikacji w sieciach WPAN. Do swoich dalszych działań doktorantka wybrała komunikację bezprzewodową Xbee. Rozwiązanie takie jest rozwiązaniem nowoczesnym dla tego typu przeznaczeń praktycznych i należy je uznać za rozwiązanie optymalne.

Podrozdział 3.5 *Systemy pomiarowe do wyznaczania deformacji i przemieszczeń* jest pewnym podsumowaniem integracji wyników uzyskiwanych z różnych technik pomiarowych zastosowanych w sposób systemowy w procesie geodezyjnego monitorowania przemieszczeń. Omawia cele i znaczenie pomiarów deformacji, wymagania stawiane tym pomiarom oraz wprowadza czytelnika w zagadnienia monitoringu geodezyjnego. Jest to jednak opracowanie bardzo ogólne.

Tę część pracy należy uznać za wprowadzenie do tematu pracy. Opracowane jest ono w sposób satysfakcjonujący, choć zawiera wiele nieprecyzyjnych sformułowań i szereg wad edytorskich, które będą przedstawione w dalszej części recenzji.

Rozdział 4 jest początkiem prac eksperymentalnych i metodycznego opracowania wyników obserwacji. Przedmiotem badań są wybrane techniki pomiarowe zaproponowane do monitorowania zmian geometrii belek konstrukcyjnych. Na tej podstawie przeprowadzona jest ocena możliwości ich wykorzystania do wyznaczania wiarygodnych zmian geometrycznych.

Opis pierwszego przeprowadzonego eksperymentu w ramach badania deformacji przykładowych belek konstrukcyjnych mówi o pomiarze zestawem „dioda laserowa+kamera CCD”. Głównym problemem technicznym w tej metodzie jest wyznaczenie tzw. środka energetycznego plamki laserowej na ekranie, obserwowanym za pomocą kamery CCD. Metoda ta była od wielu lat stosowana w kraju przez wielu badaczy (Jaśkowski, Józwiak, Witkowski, Sikorski), a jej szczególna wersja system REX jest opracowana i wdrożona przez firmę Delta.

Opracowując dane pomiarowe podany jest fragment kodu programu do zamiany zdjęcia barwnego na zdjęcie w stopniach szarości, natomiast nie jest jawnie opisany w pracy algorytm wyznaczania środka energetycznego wiązki.

Przy omawianiu tej metody zabrakło mi zwrócenia uwagi na wpływ zmian nachylenia lustra na wyniki pomiarów i sposobów ich eliminowania lub uwzględniania. Autorka bardzo starannie podeszła do statystycznego opracowania danych pomiarowych, kontrolując zgodność uzyskiwanych wyników z wykorzystaniem testu statystycznego F-Snedecora. Przeprowadzone analizy są przeprowadzone wielokrotnie i robią wrażenie kompletnych.

Drugim rozwiązaniem technologicznym poddanych szczegółowym badaniom były czujniki pochylenia, wykonane w technologii MEMS. Zaprezentowane została modelowa, dla przeprowadzanych badań, konfiguracja czujników, mikrokontrolera oraz stacji komputerowej. Zaproponowana została przez doktorantkę wersja rozwiązania zadania z autokalibracją systemu w celu eliminacji błędów systematycznych i w efekcie uzyskiwania wyższych, względnych dokładności pomiaru. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły możliwości uzyskiwania stosunkowo wysokich dokładności wyznaczenia wartości nachyleń, w wybranych punktach lokalizacji czujników. W oparciu o nie doktorantka proponuje ustalać przebieg krzywej opisującej kształt badanej belki. Rozwiązanie to nie jest opisane w sposób algorytmiczny, a autorka ogranicza się do stwierdzenia, że „Znając te kąty oraz odległości

między poszczególnymi czujnikami możemy określić wartość przemieszczenia punktów kontrolowanych". To zbyt mało, aby uznać za wyczerpujące temat.

Mam poza tym poważne wątpliwości, czy krzywą opisującą kształt belki ciąglej można nazywać krzywą łańcuchową.

Rozdział 5 stanowi prezentację i omówienie badań eksperymentalnych przeprowadzonych przez doktorantkę dla dwóch belek żelbetowych. Podczas badań stymulowano, odpowiednim obciążeniem, ugięcia belek w przęśle o wartościach: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 40 i 60 mm. Ugięcia te były kontrolowane czujnikiem przemieszczeń liniowych PTx. W odpowiednich momentach kontrolowano zmiany kształtu belki innymi technikami pomiarowymi jak: niwelacja precyzyjna, skaning laserowy, rejestracje obrazów cyfrowych, metoda laserowa. Dodatkowo rejestrowano wyniki z czujników pochyleń MEMS i pochyłomierza Niwel 210 firmy Leica.

Drugi eksperyment pomiarowy z identyczną belką był przeprowadzony w sposób bardzo podobny, przy stymulacji ugięć odpowiednio: 3, 6, 10, 20, 40, 50, 60, 60 i 75 mm. Dodatkowo badano zmiany geometrii belki w stanie jej odciążania.

Doktorantka podjęła trudne zadanie wykonanie szeregu pomiarów z użyciem diametralnie różnych technik pomiarowych w tym samym momencie czasu. Ze względu na używanie różnych znaków (sygnałów) dla różnych metod i technik pomiarowych, warunki porównywalności wyników są obarczone błędem identyfikacji miejsca zmian deformacyjnych badanej belki. Element ten znajduje swój skutek w porównaniu wyników ugięć, uzyskiwanych z różnych metod pomiarowych, nie będąc w zgodzie z faktycznymi dokładnościami tych technik pomiarowych.

Nasuwają się pytania: Czy autorka chciała porównać wyniki ugięć wyznaczonych różnymi metodami? Czy autorka chciała wyznaczyć dokładność poszczególnych metod? Czy też chciała wyznaczyć kształt zdeformowanej belki? Czy chciała porównać wartości ugięć dla poszczególnych egzemplarzy tej samej belki? Brak jednoznacznej odpowiedzi na ten temat.

Efektem podsumowania wyników jest między innymi zestawienie wyników w formie analityczno-graficznej. Wg doktorantki dane pomiarowe uzyskane z pomiarów czujnikami MEMS oraz PTx uśredniono celem porównania z innymi metodami pomiarowymi dotyczących odpowiednich pomiarów na belce żelbetowej nr 1 i nr 2. Jest to niezrozumiałe. Wykresy na rysunkach: 138 i 139 oraz zawartość odpowiednich tabel pozwalają ocenić zgodności wyników pomiaru ugięć belek, uzyskiwanych różnymi metodami pomiarowymi.

Jak już wcześniej wspominałem, punkty kontrolowane nie są tymi samymi znakami, wobec czego występuję nieporównywalność wyników w ramach dokładności identyfikacyjnej wybranego obszaru obiektu. Odrębnym elementem jest również sytuacja, kiedy rozpatrywany obiekt ma cechy braku ciągłości strukturalnej (rysy, pęknięcia itp.).

Wyniki badań mają zapewne dużą wartość informacyjną dla konstruktorów budowlanych i specjalistów od materiałów budowlanych. Dane z przeprowadzonych badań pozwalają zapoznać się z reakcją konstrukcji na działanie odpowiednich sił i korzystać z tej informacji w konstruowaniu nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Dane te pozwalają weryfikować oceny rozważań teoretycznych i są praktycznym sprawdzianem reagowania konstrukcji.

Zastosowane metody są szerokim wachlarzem technik pomiarowych zarówno geodezyjnych jak i niegeodezyjnych, w tym również wykorzystujące nowe osiągnięcia technologiczne z obszaru optoelektroniki do wykonywania badań zmian geometrii konstrukcji.

W dysertacji zaproponowane jest autorskie rozwiązania doktorantki, wykorzystujące urządzenia i technologie optoelektroniczne wspomagające pomiary geodezyjne, jakim są czujniki wykonane w technologii MEMS. Takie pośrednie obserwacje, będące wskazaniem czujników, mogą w wielu przypadkach zastąpić obserwacje bezpośrednie. Pomiary te

wymagają jednak kalibracji układu pomiarowego oraz opracowania algorytmu przetwarzania danych pomierzonych w celu obliczenia parametrów zmian geometrycznych badanego obiektu. Tego ostatniego elementu nie zauważyłem.

Dyskusyjna jest treść tabeli 27, która zapewne ma stanowić zbiór argumentów przy wyborze technologii pomiarowej. Zawarta tutaj wycena kosztów realizacji zadania dla poszczególnych technik pomiarowych jest niepełna, a podawane dokładności w różnych jednostkach potwierdzają zastrzeżenia.

Kierunek badań podjęty w pracy jest bardzo rozwojowy dla geodezji inżynierskiej na drodze tworzenia systemów pomiarowych do badania kształtu oraz do monitorowania przemieszczeń obiektów inżynierskich.

Nowe instrumenty pomiarowe, mikroczujniki, sensory i systemy łączności bezprzewodowej tworzą materię, z której mogą być budowane automatyczne systemy kontrolne dla obiektów czy ich elementów, w celu monitorowania zachodzących zmian i tworzą klimat zapewnienia wzrost bezpieczeństwa budowli oraz ich otoczenia. W tym kierunku podąża doktorantka ze swoją pasją i zaangażowaniem w rozwiązywanie problemów technicznych w pomiarach z obszaru geodezji inżyniersko-przemysłowej.

4. Ocena merytoryczna i uwagi szczegółowe

Celem przedłożonej pracy doktorskiej było wykonanie analizy dokładności i niezawodności zastosowań różnych technik geodezyjnych oraz urządzeń optoelektronicznych do wyznaczania zmian geometrycznych belek konstrukcyjnych. Cel ten jest realizowany konsekwentnie w poszczególnych rozdziałach pracy.

Również postawiona teza dysertacji jest sformułowana jasno i potwierdzana w poszczególnych rozważaniach teoretycznych oraz eksperymentach realizowanych w praktyce na konkretnych obiektach. Stosowane są przy tym kolejne zestawy pomiarowe, które mają potwierdzać słuszność przyjętej tezy pracy.

Wprowadzenie do pracy (rozdział 1, 2 i 3) jest w znacznej mierze poprawne, jakkolwiek wiele elementów jest zbyt drobiazgowo potraktowanych. Omawianie po 60 latach zasad emisji lasera, czy też opisu filtru Kalmana uważam za zbędne.

Uwagi szczegółowe do tej części pracy:

- Podział metod geodezyjnych zaprezentowany w podrozdziale 3.1. został zupełnie inaczej omawiany w dalszej części tekstu,
- W pomiarach przemieszczeń nie stosuje się wskazywania punktu kontrolowanego diodą laserową. *Podczas pomiarów odkształceń i przemieszczeń elementów konstrukcyjnych racjonalne jest wykorzystanie wcięcia kąowego z uwagi na brak konieczności bezpośredniego kontaktu z punktem mierzonym, który może być wskazany diodą laserową lub być wcześniej zasygnalizowany tarczą lub znakiem,*
- Tabela 1, 2, 4 – numerowanie rysunków w tabeli jest wielokrotnym liczeniem ilustracji,
- Tabela 2. Niwelator DL101c jest zastąpiony obrazem niwelatora DL 502. Poza tym istotą wysokiej dokładności pomiaru są m. in. łąty inwarowe i dokładność zastosowanego kompensatora w niwelatorze, a nie elektroniczny odczyt. Dokładność niwelacji podawana, jako średni błąd podwójnej niwelacji na 1 km jest nieadekwatna do sytuacji,
- *Dokładność fotogrametrii cyfrowej jest zdeterminowana przez liczbę pikseli przypadających na cal (dpi). (Zbyt duży skrót myślowy). W przypadku fotogrametrii*

inżynierskiej szczególnie ważna jest rozdzielczość kątowa, będąca funkcją stałej kamery i wymiaru piksela, która kształtuje się na poziomie 1" [10]. Jest wiele tzw. stałych kamery, a tu zapewne chodzi o odległość obrazową c_k . Opisująca sytuacja wymagałaby wymiaru piksela na poziomie kilku dziesiątych μm , czyli na poziomie poniżej wartości długości fali światła widzialnego,

- Tabela 3 i jej treść jest nieadekwatna do tematu zadania. Kamera DSC 200 High Speed, podobnie jak kamera CCD Videk Megaplus ma matrycę 1,4 Mp. Zdaję sobie sprawę, że tabela ta nie jest efektem pracy doktorantki, ale jednak jest zaakceptowana przez nią. Nie jest uwzględniona w tym przypadku optyka i jej błędy oraz inne źródła błędów geometrycznych matrycy, determinujące ostateczną dokładność pomiarową,
- Rys. 19 jest niepoprawny merytorycznie,
- Strona 31 - Niezrozumiały jest tekst wymieniony produkt skaningu laserowego w postaci - ortoobraz tworzony na podstawie informacji o intensywności odbicia plamki lasera, pomierzone punkty zamienia się na piksele o określonej wielkości terenu,
- Strona 31- Wątpliwa jest prawdziwość stwierdzenia, że *Naziemny skaningu laserowy może być wykorzystywany do monitoringu deformacji obiektów powierzchniowych, nałożenie na siebie wyników pomiarów z dwóch epok pomiarowych powoduje powstanie prążków interferometrycznych, które wskazują na zmiany, które zaszły na obiekcie między pomiarami,*
- Skrót myślowy - *Do pomiarów przemieszczeń i odkształceń można z powodzeniem wykorzystywać metody względne, ponieważ nie interesują nas współrzędne punktów, a jedynie zmiany ich położenia w czasie,*
- Skrót myślowy - *Do badań obiektów wydłużonych stosuje się między innymi metody: sieci liniowych bądź kątowo-liniowych....*
- Strona 34 - Uwaga zbędna i nieprawdziwa - *Dokładność metody stałej prostej wynosi 0,5 mm.....,*
- Nie znam takich instrumentów - *Inklinometry naddźwiękowe,*
- Strona 45 *Na wahadło proste (matematyczne) składa się ciężarek o zaniedbywalnej masie m zawieszony na nieważkiej nici o długości l . Co tu jest zaniedbywalne?,*
- Strona 46 *Aby wytłumić wahania drutu obciążnik umieszczony jest w oleju z dużą wartością trocin. Coś nie tak z tymi trocinami,*
- Strona 46 *Wahadło rewersyjne działa na zasadzie odwróconego wahadła prostego, punkt zamocowania drutu położony jest poniżej zapory, w litej skale. A może wahadło odwrotne?,*
- Strona 47 Zbyt skomplikowane, nie rozumiem. Co to jest kątowe przemieszczenie drutu?
Na podstawie czasu pomierzonego pomiędzy impulsem powstałym na skutek odbicia wiązki laserowej od pierwszego detektora znaczników a momentem wygenerowania impulsu elektrycznego w wyniku oświetlenia detektora odbiorczego przez wiązkę laserową odbitą od drutu wahadła oraz czasu pomierzonego pomiędzy impulsem wygenerowanym przez detektory znaczników można określić kąt między linią wytyczoną przez oś obrotu lustra i oś drutu a osią odniesienia, a tym samym wyznaczyć kątowe przemieszczenie drutu względem osi odniesienia [57],
- Strona 68 – *Coś nie tak z jednostkami - Natomiast czas trwania jednego pomiaru okresowego nie powinien być dłuższy niż 0.3 Mp, przy czym określa się go wraz z pomiarem układu odniesienia oraz identyfikacją punktów stałych.*

Rozdział 3 jest niejednorodny. Zaczyna się od omawiania różnych metod pomiarowych, a kończy przetwarzaniem danych, z filtrem Kalmana i transmisją danych oraz

systemami pomiarowymi do wyznaczania deformacji i przemieszczeń. Należałoby także zauważyć pewne niezręczności przy używaniu terminów: przemieszczenie, deformacja, odkształcenie.

Rozdział 4 zawiera szczegółowe analizy dwóch metod pomiarowych: metody laserowej i metody z wykorzystaniem czujników pochyleń MEMS. Pierwsza z metod dotyczy opisu szeregu rozwiązań dla metody niwelacji z wykorzystaniem wiązki laserowej odczytywanej w prosty i mniej prosty sposób. Trudno dopatrzeć się zalet tej metody w stosunku do znacznie dokładniejszej i dającej się automatyzować niwelacji geometrycznej. Bardzo złożona geometrycznie jest metoda z wykorzystaniem wielu lusterek płaskich. Jest w niej wymagane wiele założeń trudnych do faktycznej kontroli podczas prowadzenia pomiarów i dlatego metodę tę uważam za niejednoznaczną. Zastosowanie zaś automatyzacji procesu wyznaczania środka energetycznego wiązki jest pewnym osiągnięciem twórcy systemu. Brak jest jednak informacji, kto tym twórcą jest. Czy doktorantka? Jeśli tak to, dlaczego brak jest algorytmu wyznaczania współrzędnych „centrum” plamki. Brakuje też informacji jednoznacznej - czy badana jest pozycja bezpośrednio na matrycy, czy badana jest pozycja na ekranie? Metoda ta jest znana i powszechnie stosowana przez wielu autorów od wielu lat.

Dla metody tej, w wielu wariantach jej realizacji, doktorantka przeprowadziła szereg badań i wyznaczyła praktyczne wartości możliwych do uzyskania dokładności wyznaczania wartości ugięć belek w warunkach laboratoryjnych. Przeprowadzenie testów i analiza statystyczna wyników świadczy o dobrym przygotowaniu doktorantki w zakresie realizacji eksperymentów badawczych.

W opisie drugiej metody przedstawiona jest ogólna koncepcja metody wyznaczania ugięć belki z wykorzystaniem 5 czujników MEMS odpowiednio zlokalizowanych na badanej belce. Aby uzyskiwać wyższe dokładności wskazań pochyleń konieczne jest przeprowadzenie badań kalibrujących czujnik. W tym celu doktorantka wykorzystuje tachimetr TCA2003, jako urządzenie wzorcowe i przeprowadza szereg obserwacji dla czujnika MEMS o symbolu BMA180. Badanie to pozwala jej wyznaczyć parametry macierzy transformacji, jako wynik procesu kalibracji oraz dokonać oceny dokładności działania urządzenia w warunkach laboratoryjnych. Pomysł i sposób przeprowadzenia badań jest oryginalny i korzystający z urządzenia o dokładnościach, mogących być uznawane za wzorcowe. Przeprowadzone badania oraz wykonana analiza dokładności uzyskanych wyników jest poprawna i stanowi element własnej pracy doktorantki. Świadczy ona o dobrym przygotowaniu teoretycznym i praktycznym.

Rozdział 5 dotyczy badań eksperymentalnych, przeprowadzonych dla dwóch belek żelbetowych. Badania dotyczyły wyznaczenia ugięć z wykorzystaniem różnych metod. Badania podzielona na badania belki nr 1 i nr 2.

Dla belki nr 1 wykonano szereg pomiarów jej ugięć różnymi metodami.

Uwagi szczegółowe

- Ad. 5.2.1. Metoda pomiaru jest wyjątkowo krótko i nieprecyzyjnie opisana, zapewne licząc na wcześniejsze objaśnienia w rozdziale 4.
- Ad. 5.2.2. Doktorantka zastosowała do badania cech geometrycznych belki własne rozwiązania technologiczne bazujące na wskazaniach czujników pochyleń zrealizowanych w technologii MEMS. Doktorantka słusznie poddała opracowaniu potok wyników z urządzenia filtracji przy użyciu Filtru Kalmana. Pozwoliło to na „uśrednienie” wskazań chwilowych i uzyskiwanie wartości najprawdopodobniejszych dla odpowiednich momentów czasowych, stanów obciążenia.
- Ad. 5.2.3. Do wyznaczania ugięć doktorantka zastosowała również inne narzędzie pomiarowe w postaci czujnika przemieszczeń liniowych PTX. Przedstawienie jednak

jego błędu pomiarowego w formie 0,1% – 0,5% nie pozwala ocenić jego bezwzględnej wartości.

Jak się dalej przekonujemy eksperyment ten nie ma odniesienia do pozostałych, gdyż trwał zaledwie 5 sekund. Niejasno jest omówiona sprawa odciażania belki.

- Ad 5.2.4. Metoda najbardziej precyzyjnego pomiaru ugięć, umożliwiająca w tych warunkach uzyskiwanie dokładności na poziomie setnych części milimetra, została chyba niedoceniona.
- Ad 5.2.5. Skanowanie laserowe może być metodą wyznaczania przemieszczeń, ale jest on nieporównywalnie mniej dokładny od pozostałych metod. Technika ta pozwala jednak uzyskiwać współrzędne XYZ powierzchni obiektu. Jak słusznie zauważyła doktorantka oprócz kierunkowych pionowych ugięć belki, możliwe jest wyznaczenie jej wyboczeń.
Niezrozumiałe są pewne określenia jak np.: „Skaner umieszczony został prostopadle do płaszczyzny pionowej belki żelbetowej” oraz „Po odciażeniu przemieszczenia zarówno pionowe jak i poziome ustąpiły, jednak belka uległa nieodwracalnemu zniszczeniu tracąc możliwość przenoszenia obciążeń”
- Od tego miejsca w pracy wystąpiła desynchronizacja numeracji rysunków, trwająca aż do końca tekstu.
- Ad. 5.2.6. Przy omawianiu pomiaru inklinometrem Nivel 210 firmy Leica brakuje opisu lokalizacji urządzenia i przewidywanych interpretacji wyników pomiaru oraz ich przetwarzania na wartości przemieszczeń pionowych.

W dalszej części prac eksperymentalnych przeprowadzono serię pomiarów dla belki żelbetowej nr 2. W tym przypadku wykorzystano nieco odmienne metody pomiaru lub ich zmodyfikowane wersje. Można to uznać za zaletę lub poszerzenie podejścia do danej metody poprzez zastosowanie innego wariantu technicznego rozwiązania zadania.

Uwagi szczegółowe:

- Ad. 5.3.1 Hasło „Metoda z wykorzystaniem lasera” chyba jest zbyt ogólne? Bardzo sucho opisano eksperyment pomiarowy. Brak rysunku i wykazanych relacji geometrycznych pomiędzy zmianami ugięcia belki a zmianami położenia plamki laserowej na ekranie projekcyjnym. Nie wiem, co ma znaczyć stwierdzenie, że „zależność pomiędzy odległością na tarczy a przemieszczeniem na czujniku PTx jest skomplikowana”. Błędy w numeracji rysunków.
- Ad. 5.3.2 Opisany jest kolejny eksperyment pomiarowy z wykorzystaniem czujników MEMS. Podjęto decyzję o nadążnym filtrowaniu wyników obserwacji przy użyciu filtru Kalmana, przyjmując a priori parametry wartości kowariancji szumu i pomiaru. Autorka nie podaje algorytmu na uzyskanie wartości przemieszczeń pionowych w środkowej części badanej belki zamieszczonych na rys. 123. Odnoszę wrażenie, że należałoby zmienić znak wartości przemieszczeń pionowych.
- Ad. 5.3.3 Przeprowadzony eksperyment z wykorzystaniem indukcyjnych czujników liniowych jest opisany nieprecyzyjnie. Dokładność podawania wyników do 0.01 μm jest przesadzona.
- Ad. 5.3.5 Brakuje opisu przebiegu pomiaru. Można się tylko domyślać, co do sposobu jego realizacji.
- Ad. 5.3.6. Nazwa „bezlustrowa” jest niefortunna. Należałoby użyć słowa bezreflektorowa.
Ten eksperyment zasługuje na uwagę, gdyż pozwala zarejestrować wiele punktów w różnych obszarach belki, zarówno górnej, środkowej, jak i dolnej. Pionowe profile pozwalają na ocenę podobieństwa reakcji różnych obszarów belki. To jest

jednocześnie pierwszy eksperyment pozwalający również zarejestrować zmiany na punktach podparcia i wysnucie ciekawych wniosków dotyczących reakcji obiektu.

Niestety zabrakło tego, na co czekałem. Zaprezentowano tylko przemieszczenia pionowe punktu nr 8 (nie wiem gdzie on został zlokalizowany) i to ze złym znakiem.

A szkoda, bo zapewne wnioski mogłyby być bardzo ciekawe. Z jednej strony byłaby to kontrola dokładności samej metody, z drugiej zaś badanie zmian w płaszczyźnie pionowej w kierunku podłużnym i poprzecznym. Możliwe byłoby także porównanie z wynikami, uzyskanymi ze skaningu laserowego.

- Ad. 5.3.7 Pomiar zautomatyzowany dający możliwości, obiektywnego i bez wysiłku obserwatora, pozyskiwania precyzyjnych danych pomiarowych jest opisany bardzo lakonicznie i bez prezentowania kompletu wyników. Pominięto wykresy zmian punktów na podporach, które to były uznane za ruchome w poprzednich badaniach. Myślę, że doktorantka zbyt wiele uwagi poświęciła metodzie pomiaru, mniej wykorzystaniu wyników. Komentarz doktorantki, że „wyniki pomiarów kontrolnych świadczą o stałości układu odniesienia” to zbyt mało, aby uznać to za metodę identyfikacji stałości bazy odniesienia.
- Ad. 5.3.8 Badanie belki nr 2 techniką skaningu laserowego z wykorzystaniem kul pomiarowych należy uznać za bardzo dobre rozwiązanie, gdyż właśnie ten kształt jest najlepszym „celownikiem”.
- W podsumowaniu w tabelach 25 i 26 błędnie podane są znaki przemieszczeń.

Zabrakło mi w pracy podjęcia dyskusji na temat niezawodności poszczególnych technik pomiarowych. Powtarzanie wyznaczania ugięć różnymi metodami zwiększa niezawodność wyznaczenia badanej wielkości, ale chodzi mi o analizę niezawodności w obrębie danej metody pomiarowej.

Uwagi edytorskie:

W pracy występuje sporo błędów interpunkcyjnych, literówek, przekreśleń słów i wad terminologicznych oraz błędów numeracji rysunków. Konieczne jest uwzględnienie tych poprawek przed publikacją pracy.

Innym problemem, wymagającym jednak ustosunkowania się autorki pracy jest występowanie w recenzowanej pracy doktorskiej, bez odnoszenia się do źródła, wiele elementów, w tym rysunków i tabel, z publikacji zespołu autorów z 2014 roku nt. „Geodezyjne monitorowanie elementów obiektów budowlanych na przykładzie pomiaru ugięcia belki żelbetowej”. Dotyczy to: Rys. 77 – rys.1, Rys. 79a –rys.2, Rys. 78 – rys.3, Rys. 81 – rys.11, Rys. 99 – rys.6, Rys. 100 – rys.7, Rys.107 – rys. 9, Tabela 14- tabela 2, Tabela 16 –tabela 1, Tabela 25 – tabela 3.

Wniosek końcowy

Na podstawie wnikliwej analizy przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej, pomimo szeregu uwag, wysoko oceniam wkład doktorantki w rozwój metod pomiarowych z zakresu monitorowania zmian deformacyjnych konstrukcji. Badania prowadzone przez doktorantkę, w tym indywidualne i zespołowe, wnoszą istotne wartości poznawcze i aplikacyjne w zakresie metodologii prowadzenia pomiarów monitorujących zmiany geometryczne konstrukcji. Wzbogacenie zbioru technik pomiarowych poprzez wdrażanie nowych rozwiązań technologicznych jest cennym wkładem doktorantki w rozwój metod pomiarowych geodezji inżynierskiej. Stwierdzam, że mgr inż. Izabela Wilczyńska wykazała

się umiejętnością samodzielnej pracy naukowej, zarówno w sferze projektowania eksperymentu jak i wyciągania wniosków.

Oceniana rozprawa doktorska mieści się w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia. Recenzowana praca spełnia warunki dla rozpraw doktorskich określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 ze zmianą w Dz. U. z 2005 r. nr 164 poz. 1365).

Wnoszę, zatem o dopuszczenie pracy doktorskiej przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu do publicznej obrony.

Marcel Winiński

Warszawa, dnia 15.02.2016 r.