

dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek, prof. PP
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Politechnika Poznańska

Poznań, 15 września 2020 r.

R e c e n z j a

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Elżbiety Kowalskiej nt.: *Opracowanie metodyki przetwarzania danych z naziemnego skaningu laserowego w pomiarach kontrolnych obiektów inżynierskich*

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie prof. dr. hab. inż. Andrzeja Garbacza, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport na Politechnice Warszawskiej (pismo nr RNDILiT/97/2020 z dnia 13.07.2020 r.) realizujące uchwałę Rady Naukowej Dyscypliny ILiT PW z dnia 07.07.2020 r.

Celem recenzji jest ustalenie, czy rozprawa spełnia wymogi określone w art. 13 ust. 1. 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 z późn. zm.).

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska Marii Elżbiety Kowalskiej nt.: *Opracowanie metodyki przetwarzania danych z naziemnego skaningu laserowego w pomiarach kontrolnych obiektów inżynierskich*, napisana pod kierunkiem dr hab. inż. Doroty Zawieskiej, prof. uczelni jako promotora oraz dr hab. inż. Janiny Zaczek-Peplinskiej – promotora pomocniczego.

Rozprawa dotyczy dość ważkiego problemu jakim jest badanie przemieszczeń obiektów budowlanych lub inżynierskich w oparciu o cykliczne pomiary punktów niesygnalizowanych. Jako metodę pozyskania danych Doktorantka wybrała naziemny skaningu laserowy 3D (TLS), którego główną zaletą w tym zakresie jest pozyskiwanie danych odnoszących się do całej badanej powierzchni. W przypadku pomiarów tachimetrycznych jako cele wybiera się zwykle trwałe, mniej lub bardziej jednoznacznie identyfikowane elementy obiektu – śruby, nity, styk lub krzyżowanie elementów konstrukcyjnych, a w przypadku ścian betonowych chociażby odciski szalunku, albo znaki namalowane farbą. Tymczasem w przypadku skaningu laserowego rozmieszczenie punktów jest losowe i nie ma charakteru powtarzalności. Nawet gęsta chmura punktów nie umożliwia porównywania punkt-do-punktu, a jedynie punkt do aproksymacji powierzchni lub odległość między dwiema aproksymowanymi powierzchniami. W tym kontekście zachodzi oczywisty problem modelowania kształtu powierzchni bardziej skomplikowanych, a nade wszystko – powierzchni chropowatych, względem których można jedynie zastosować

uproszczenie gładką figurą lub byłą. Kolejnym problemem jest modelowanie wektorowego pola przemieszczeń przez kolejne uproszczenie za pomocą wektorów normalnych (wymuszony kierunek pomiaru ruchu badanego fragmentu obiektu). Zatem w przypadku skaningu laserowego niezbędne jest rozwiązanie dwóch kategorii problemów – powtarzalności (zgodności) pomiarów oraz modelowania badanego zjawiska. Tym problemom stawiała czoła Doktorantka. Wynik swoich dociekań zawarła ona w formie metodyki, a właściwie – prezentacji sposobu dojścia do określonej metodyki pozyskiwania i opracowania danych z naziemnego skaningu laserowego. Ostatecznie wynik ten przybrał postać dysertacji naukowej o klasycznej formie technologicznej.

Zaprezentowana przez Autorkę praca doktorska stanowi zwartą publikację składającą się ze 178 ponumerowanych stron i obejmuje 8 rozdziałów merytorycznych i bibliografię. Całość poprzedzona jest streszczeniem (w języku polskim i angielskim), spisem treści i wykazem użytych w pracy skrótów i oznaczeń. Treść merytoryczna zajmuje 161 stron podzielonych na część wprowadzającą, omówienie technologii skaningu laserowego pod kątem jego zastosowań inżynierskich (rozdziały 2 i 3), analizy procesu skanowania (rozdział 4) i opracowania danych (rozdział 5), a w końcu – opisu autorskiej koncepcji metodyki pomiarów kontrolnych (rozdział 6) oraz jej weryfikacji na bazie danych pomiarowych pozyskanych zgodnie z przyjętą metodologią jak również poprzez wykorzystanie danych archiwalnych (rozdział 7). Całość zamyka rozdział 8 – Podsumowanie i wnioski.

W wykazie publikacji wyszczególniono 71 pozycji literatury oraz trzy strony internetowe powoływane w tekście. Bibliografia przedstawia szerokie spektrum publikacji odnoszących się do zagadnień poruszanych w pracy i obejmuje głównie pozycje zagraniczne, a także cztery publikacje autorstwa lub współautorstwa obu promoterek oraz cztery wspólne z promotorką pomocniczą, nota bene specjalistką w sprawach skaningu laserowego dla potrzeb pomiarów inżynierskich.

Zgodnie z tytułem dysertacji stanowi ona opis czynności badawczych ukierunkowanych na opracowanie konkretnej metodyki pomiarowej, a także prezentację wyników praktycznych pomiarów wykonanych w celu weryfikacji ustalonej technologii. Pod tym względem stanowi interesujący materiał metodyczny, wiarygodny dzięki licznym testom i opracowaniom danych.

Przedmiotem rozprawy jak i badań stanowiących jej podstawę jest wykorzystanie techniki naziemnego skaningu laserowego do pomiarów przemieszczeń obiektów budowlanych, głównie betonowych. W celu ukierunkowania czytelnika na przyjęte podejście do skaningu laserowego autorka dokonała szczegółowego opisu techniki laserowej jako takiej, a następnie czynników, które muszą być uwzględniane w celu uzyskania wiarygodnych i możliwie pełnych danych pomiarowych. W szczególności zwrócono uwagę na wpływ na wyniki skanowania następujących czynników:

- parametrów technicznych skanera,
- kąta i odległości skanowania,
- właściwości fizycznych obiektu,
- wpływu warunków atmosferycznych i wody.

W nawiązaniu do tych uwarunkowań podano ogólne zasady pozyskiwania i przetwarzania danych skanerowych, a także ich implementację do pomiarów diagnostycznych budowli. Efektem jest propozycja metodyki zapisana w postaci schematu pozyskiwania i przetwarzania danych (rysunek 6.1) oraz schematu analizy danych (rysunek 6.3). Oba schematy stanowią czytelne, jednoznacznie przedstawione wytyczne dla ewentualnych wykonawców pomiarów przemieszczeń metodą skaningu laserowego.

Interesujący i ważny jest także opis prac weryfikacyjnych w dwóch istotnych ujęciach:

- rejestracji i analizy danych zgodnie z wytycznymi zawartymi w opisie metodyki,
- analizy danych zarejestrowanych wcześniej (archiwalnych) niezgodnie z metodyką.

Efekt jest zbiór wyników ilustrujący korzyści wynikające z zastosowania danej metodyki.

Omawianą pracę kończy rozdział zawierający stosunkowo rozbudowane podsumowanie i wnioski. Autorka zaznaczyła w nim istotność pięciu najważniejszych czynników wpływających na jakość danych z naziemnego skanowania laserowego. Są one zgodne z wyszczególnieniem z poprzedniej strony niniejszej recenzji. Nota bene czynniki te przedstawiono również w czterech (a nie w pięciu) punktach. W oparciu o powyższe wyszczególnienie zaakcentowano potrzebę uwzględnienia trzech podstawowych kryteriów ograniczania chmur punktów w celu zapewnienia ich odpowiedniej jakości. Są to: kąt padania poszczególnych grup promieni, odległość skanowania i gęstość chmury punktów. Na pozostałe problemy w warunkach placu budowy wykonawca pomiarów nie ma niestety wpływu. Może je tylko uwzględnić podczas opracowania danych.

Podsumowując swą pracę Autorka podkreśliła potrzebę prowadzenia dalszych badań nad korekcją danych ze względu na kąt padania i odległość skanowania, jako głównych czynników mogących wpłynąć na poprawę dokładności pomiarów przemieszczeń. Zauważyła jednak, że nie jest to zadanie proste, mimo, że zauważa się istotne osiągnięcia z zakresu kalibracji skanerów.

W opinii recenzenta układ pracy jest zrozumiały i odzwierciedla przebieg prowadzonych badań ukierunkowanych na opracowanie metody, testy i ocenę skuteczności pomiarów zmian kształtu obiektów budowlanych.

3. Ocena pracy pod względem merytorycznym

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Marii Kowalskiej podejmuje tematykę trudną i nowatorską o tyle, że odnosi się do zadań wymagających najwyższych dokładności opracowania. Jak już wspomniano na wstępie, wybór metody bazującej na losowym rozkładzie punktów ogranicza możliwości analizy do określonych modeli (uproszczeń). Jednocześnie metoda naziemnego skaningu laserowego jest już na tyle dojrzała, że może zachęcać do podejmowania nowych wyzwań. Tym bardziej, że współczesne budownictwo obfituje w problemy niemożliwe lub trudne do rozwiązania z użyciem trwałej sygnalizacji punktów. Takimi obiektami z pewnością są ściany szczelinowe, do których dostęp możliwy jest sukcesywnie wraz z pogłębianiem wykopu. Ponadto wokół tychże ścian powstają rusztowania i podpory związane z technologią budowy. W końcu, ściany szczelinowe mają szorstką powierzchnię, często są zabrudzone i mokre, co tym bardziej utrudnia ich badanie. Tymczasem skutek nierównomiernego postępu robót

budowlanych, a także obciążenia zewnętrznego, może nastąpić pęknięcie lub uskok powierzchni ściany w dowolnym jej miejscu, a więc niemal niemożliwym do wcześniejszego oznakowania. Dopiero skanowanie całej powierzchni może pomóc do zidentyfikowania i pomiaru takich imperfekcji, podobnie zresztą jak wybrzuszeń czy ugięć ściany jako całości.

Na te problemy zwróciła uwagę Autorka, co zmotywowało ją do próby zastosowania jedynej wydaje się, racjonalnej metody pomiaru, w oparciu o skaniny laserowe całego obiektu. Już na wstępie sformułowała Ona takie obawy jak trudności z dostępem do obiektu w trakcie prowadzonych prac budowlanych, jak utrudniona widoczność, a także ograniczenia techniczne skanowania. Ostatecznie Autorka uznała, że niezbędne jest „*opracowanie odpowiedniej metodyki pozyskiwania i przetwarzania danych*” laserowych, co znała jako cel rozprawy.

Natomiast jako tezę podała, że „*wykorzystanie technologii naziemnego skaningu laserowego w pomiarach kontrolnych obiektów inżynierskich, wymaga opracowania odpowiedniej metodyki pozyskiwania i przetwarzania danych TLS obejmującej projektowanie sieci stanowisk instrumentu z uwzględnieniem wpływu czynników geometrycznych oraz właściwości fizycznych mierzonej powierzchni, a także wykorzystanie dobranych do zadania algorytmów przetwarzania i porównywania chmur punktów.*” I dalej, że „*właściwy sposób analizy wyników pomiarów kontrolnych umożliwia uzyskanie wiarygodnych informacji o zachodzących na obiekcie zmianach geometrycznych*”.

Podczas zapoznawania się z powyższymi treściami rodzą się w czytelniku mniej lub bardziej poważne wątpliwości, które można sformułować następująco:

1. Nawiązując do geodezyjnych metod monitoringu strukturalnego Autorka z pewnością nieświadomie pomieła rangę tachimetrii elektronicznej jako chyba wciąż najpopularniejszej metody pomiarowej 3D; a w ograniczonym zakresie zastosowań – również niwelacji, która od wielu lat jest podstawową techniką pomiaru przemieszczeń pionowych. Nawet wspomnienie fotogrametrii jest zdaniem recenzenta zbyt ogólnie. W odróżnieniu bowiem od skaningu, na seriach zdjęć można wybierać do analizy konkretne detale obiektu, co nie jest możliwe w przypadku skanowania. W końcu stosunkowo duża uwaga skupiona na technikach GNSS wydaje się nadmierna względem potencjalnych możliwości ich zastosowania na placu budowy obiektów kubaturowych, w szczególności – ich części podziemnych.

2. We wprowadzeniu do sformułowania celu Autorka określiła, że będzie zajmowała się zastosowaniem „*naziemnego skaningu laserowego w pomiarach kontrolnych obiektów inżynierskich*”. Sformułowanie to powtórzyła w samym opisie celu jako „*opracowanie kompleksowej procedury ... na potrzeby analiz związanych z okresowymi pomiarami kontrolnymi obiektów inżynierskich*” a ostatecznie również w sformułowaniu tezy. W opinii recenzenta określenia te są nieprecyzyjne w dwóch miejscach, a wymagają od osoby zajmującej się geodezją inżynierską ścisłości i jednoznaczności sformułowań. Po pierwsze pod pojęciem „*pomiary kontrolne*” w budownictwie rozumiem kontrolowanie metodami geodezyjnymi poprawności wykonania poszczególnych obiektów lub etapów budowy co do zgodności z projektem, opisem geometrycznym oraz/lub zadanym zakresem robót, natomiast ocena stanu

technicznego obiektu – zarówno istniejącego jak i nowo powstającego to „pomiaru diagnostyczne”. To drugie sformułowanie odnosi się również do pomiarów przemieszczeń i popularnego obecnie monitoringu. Druga uwaga dotyczy określenia obiektu jako „inżynierskiego”, w budownictwie przyjmuje się ogólną nazwę obiekt budowlany (Ustawa prawo budowlane, art 1. i 3.)¹ natomiast obiekty inżynierskie² kojarzone są z budownictwem drogowym i obejmują mosty, tunele, przepusty i konstrukcje oporowe, a zatem – w kontekście ocenianej rozprawy poprawne jest określanie kubaturowych obiektów murowanych jako obiekty „budowlane”.

3. Sformułowanie tezy pracy ma nazbyt szeroki charakter, odnoszący się do różnych technik pomiarowych i mogłoby z powodzeniem być powszechnie stosowane w podręcznikach do jakichkolwiek pomiarów diagnostycznych. Zastępując bowiem słowa o skaningu nazwami „niwelacja”, „tachimetria” czy „GNSS” uzyskalibyśmy jak najbardziej poprawne sformułowania – każda bowiem z tych technik wymaga opracowania metodyki pomiarów i obliczeń, uwzględniającej wpływ zakłócających czynników instrumentalnych i zewnętrznych.

Problematyczne jest także samo podejście do tak sformułowanej tezy, ponieważ celem pracy naukowej jest jej dowiedzenie. Tymczasem trudno sobie wyobrazić dowodzenie potrzeby „przyjęcia odpowiedniej metodyki” pomiarów lub obliczeń, jako że przyjęcie metodyki nieodpowiedniej jest sprzeczne ze sztuką geodezyjną, a i nie tylko. Uwaga ta odnosi się także do kolejnych elementów tezy, takich jak projektowanie rozmieszczenia stanowisk, uwzględniania wpływu czynników zakłócających pomiar, a w przypadku pomiaru do powierzchni niesygnalizowanej – również cech teje powierzchni.

4. Ocena realizacji celów pracy

Podstawą oceny merytorycznej poprawności rozprawy naukowej jest stwierdzenie zgodności wniosków z zawartymi na wstępie celami badań. W tym zakresie zachodzi kolejny dylemat, gdyż w rozdziale 8. *Podsumowanie i wnioski*, te ostatnie nie są jednoznacznie zaakcentowane. Przyjmując dopiero do oceny treść całego rozdziału 8 można zgodnie potwierdzić, że cel w swojej wyjściowej treści został osiągnięty. Jak już wspomniano, szczególnie korzystne są schematy blokowe pozyskiwania i przetwarzania danych oraz ich analizy. Trzeba uznać, że treść tych schematów jest efektem konsekwentnego prowadzenia różnych prac badawczych i analitycznych, które dostarczyły mocnych argumentów do określenia kryteriów co do dokładności opracowania, doboru sprzętu, rozmieszczenia i orientacji stanowisk oraz dalszych czynności opisanych w metodyce.

Większą trudność stanowi wskazanie dowodu na tezę pracy, ponieważ – jak już wspomniano – całokształt działań opisywanych w pracy jest poprawnym podejściem inżynierskim do danego zadania pomiarowego, a ewentualne odstępstwa zagrażałyby ogólnej wiarygodności uzyskanych wyników.

¹ Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r, Dz.U. z r. 1994 Nr 89 z późn.zm.

² Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dn. 30 maja 2000 r §1 p.2. (Dz.U. z 2000 r Nr 63) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.

Ocena szczegółowa poszczególnych fragmentów pracy:

Rozdział 2:

Omówienie technologii skanowania laserowego zostało przedstawione bardzo drobiazgowo, dzięki czemu nawet nieobeznany czytelnik może łatwo i ze zrozumieniem posiadać podstawową wiedzę o tej dziedzinie pomiarów i problemach związanych z ich wykonywaniem. Można poddać dyskusji zasadność tak pogłębionego opisu, ale z uwagi na wciąż niedowartościowaną technikę skanowania warta jest ona tak szczegółowej prezentacji. Również niezmiernie cenne jest wskazanie zależności efektów skanowania od charakterystyki samego obiektu jak i celu pomiarów. Przy okazji niejako Autorka uporządkowała rozumienie pojęć „przemieszczenie”, „odkształcenie”, a także proponowanego pojęcia „deformacji nieciągłej”. Można zadać pytanie, czy poprawne jest określenie „pomiarów okresowych” jako „monitoring”, a także uzależnienie „przemieszczenia” od „interwału czasu”, w którym ono nastąpiło. Są to jednak elementy dyskusji akademickiej i nie mają wpływu na jakość ocenianego tekstu. Nie umniejszają też opisu jako cennego, uporządkowanego źródła wiedzy o naziemnym skaningu laserowym.

Na szczególną uwagę zasługuje też rysunek 2.10 oraz towarzyszący mu opis, które porządkują sprawy pozyskiwania i opracowania danych laserowych do badania stanu technicznego obiektów. Należy uznać wysoką jakość i użyteczność treści tegoż rozdziału z punktu widzenia praktyki inżynierskiej.

Rozdział 3:

Rozdział stanowi przegląd zastosowań TLS w zastosowaniach inżynierskich i jest cennym uzupełnieniem do wcześniejszego przeglądu metod i uwarunkowań. W ramach uwagi można by zasygnalizować potrzebę stosowania poprawnego nazewnictwa w odniesieniu do brył, które występują w opisie: zamiast „cylinder” powinno się stosować nazwę „walec”.

Rozdział 4:

Rozdział poświęcony jest analizie różnych czynników wpływających na jakość skanowania. Autorka zawarła w nim liczne testy mające na celu dostarczenie danych liczbowych do klasyfikacji chmur punktów w funkcji poszczególnych czynników zakłócających. Wydaje się, że testy pierwszy i drugi prowadzą do oczywistych wniosków, a wyniki liczbowe można by uzyskać na podstawie prostych zależności trygonometrycznych. Również wnioski z drugiego testu są oczywiste, bo czym może skutkować obserwacja kostki o określonych rozmiarach, obracanej względem głównej osi celowej (?) – oczywiście spadkiem liczby zarejestrowanych punktów, lukami między szeregami punktów oraz innym odzwierciedleniem chropowatości powierzchni. Takie też są wnioski Autorki sformułowane wobec wyników testu. Są one zresztą zgodne z opisywanymi w literaturze wynikami badań pomiarów bezlustrowych tachimetrem. Dobrze, że Autorka zrobiła krok dalej wydzielając klasy punktów o różnej jakości z powodu kąta rejestracji, choć i w tym zakresie można się zastanawiać, czy skokowe zmiany granic klas są odpowiednim podejściem do klasyfikacji zmiennej ciągłej. Jeśli idzie o odległości do obiektu, to wydaje się, że dla skanera o zasięgu setek metrów zmiany odległości skanowania od kilku do kilkunastu metrów nie powinny skutkować tak znaczącym spadkiem dokładności pomiaru.

Kolejna grupa testów dotyczyła wpływu właściwości fizycznych obiektu na jakość pomiaru i w tym względzie również koresponduje do opisywanych w literaturze badań dotyczących trybu bezlustrowego pomiarów dalmierzowych. Niemniej uzyskane wnioski są interesujące i mają charakter uniwersalny. Swoją drogą rodzi się pytanie, dlaczego przy deklarowanej precyzji 1-milimetrowej błędy pomiaru do różnych tarcz wykazały się rozrzutem o 1 rząd większym? Kolejną wątpliwość budzi stwierdzenie (z dołu strony 78), że uzyskane wyniki (dla odległości 17 m) są pięciokrotnie mniejsze od parametrów podanych przez producenta – zgodnie z tym twierdzeniem precyzja instrumentu powinna przekraczać 50 mm na tak krótką odległość. Zdaniem recenzenta te wątpliwości Autorka powinna wyjaśnić podczas publicznej obrony. Tymczasem test odległości do sześciokątnych próbek betonowych wykazał różnice nie przekraczające 0,1 mm (średnia) przy odchyleniu standardowym $\pm 1,4$ mm (wyjątkowo 1,8 mm).

Kolejny sygnalizowany problem, który poddano badaniu to chropowatość powierzchni. Mimo zwrócenia na niego uwagi, a także uzyskanych rozrzutów w zakresie ± 20 mm Autorka nie podjęła się rozwiązania tego problemu, zwracając tylko uwagę na wpływ tego błędu na dobór kryteriów filtrowania danych. Zdaniem Recenzenta, większy problem wynika z użycia procedury pomiaru odległości M3C2, która zakłada płaszczyznowość, a więc i gładkość, powierzchni odniesienia.

Rozdział 5:

Opis pomiarów kontrolnych odnosi się w zasadzie do jednego obiektu i dwóch pomiarów. Oczywiście jest, że trudno jest znaleźć fizyczne obiekty w ograniczonym czasowo procesie prowadzącym do opracowania dysertacji doktorskiej, jednak trzeba mieć na względzie, że część wniosków z tych badań ma charakter jednostkowy i nie pozwala na sformułowanie szerszej zakrojonych wniosków. W omawianym przypadku widoczny jest wpływ warunków otoczenia na pomiary, tj. małej głębi skanowania i występowania licznych przeszkód. W efekcie niezbędne było założenie kilku stanowisk i skanowanie w niekorzystnym układzie geometrycznym sieci. Pewnym ograniczeniem technicznym było także korzystanie z gotowych, nielicznych możliwych narzędzi do opracowania danych. Jest to sytuacja niekorzystna z punktu widzenia opracowywania metodyki, która w swoich założeniach powinna być możliwie uniwersalna. Większe znaczenie, co jest widoczne w przebiegu badań, było wskazywanie sposobów oceny skuteczności doboru określonych parametrów, czy zakresów pomiarowych. Niemniej zastanawia tak znaczny rozrzut wyników zestawiony w tabeli 5.5 i na kolejnych wykresach – należy się zastanowić, czy nie jest to efekt zbyt naiwnego podejścia do doboru parametrów dla danej metody filtrowania.

W pomiarach odstępstw badano wielkości błędów odległości dwóch powierzchni w oparciu o (m.in.) metodę C2C, która w oczywisty sposób zależy od gęstości chmur. Metoda ta wydaje się uzasadniona do stosowania tylko w przypadku, gdy gęstość punktów (odległości między nimi) o rząd wielkości przekracza oczekiwaną wielkość przesunięcia. Istotne w tym badaniu jest spostrzeżenie, że w tego typu analizach niezbędne jest aproksymowanie powierzchni przed przystąpieniem do pomiaru odległości między nimi – jedynie metoda M3C2 wydaje się być odpowiednia do tego typu porównań, co zresztą stwierdzono w dalszej części opisywanej

analizy, choć jej treść jest niekiedy niezrozumiała. Rodzi się zatem kolejne pytanie dla Autorki, co miała na myśli formułując następującą sentencję: *„Dlatego użytkownik musi określić maksymalną liczbę sąsiadów połączonych w każdym węźle (im więcej sąsiadów, tym dokładniej, ale także więcej pamięci i czasu będzie potrzebnych). W ten sposób otrzymano (?) nowe wartości normalnych, które wykorzystano w algorytmie M3C2 i otrzymano 98% zgodność teoretycznej i wyznaczanej odległości. Uzyskany wynik cechował się lepszą zgodnością niż ten bazujący na normalnych wyznaczonych algorytmem M3C2 (?)”*. Znakiem zapytania w nawiasach zaznaczyłem niezrozumiałe miejsca.

Na koniec tego rozdziału zwrócono uwagę na często w niniejszej pracy stosowaną skalę barwną (klasyczną, typową dla map topograficznych) do wizualizacji różnych rozbieżności. Zaznaczono (w opisie) to, co i czytelnikowi utrudnia interpretację przedstawianych wyników. Głównym czynnikiem jest dobór zakresu skali barwnej w sposób, który w wykorzystanym oprogramowaniu wydaje się zautomatyzowany, jednak jeśli odnosi się do dwóch wersji danego zjawiska o różnych zakresach wartości, to ta proporcja staje się trudna do zauważenia. Prowadzi to do sytuacji, kiedy trudno rozróżnić zagadnienia o rzędzie centymetrów (albo stopni) od takich, gdzie różnice nie przekraczają 1-2 mm. Zastosowaną w pracy skalę barwną opracowano na potrzeby map topograficznych, w których dla poziomu morza przyjęto kolor zielony, dla szczytów gór – intensywnie czerwony, a dla dna mórz – odcienie niebieskiego. W tym ujęciu tak zdefiniowana skala barwna odnosi się do standardowych wyobrażeń o przestrzeni topograficznej. Na potrzeby wizualizacji inżynierskiej korzystanie z takiej skali wydaje się nieergonomiczne. W ocenianej pracy Autorka sama zauważyła, że bardziej czytelna jest wizualizacja w postaci wykresu, jeśli idzie o wybrane przekroje, natomiast dla powierzchni – zdaniem recenzenta – bardziej czytelny mógłby być rysunek warstwiczny.

Problem skali wydaje się mieć w pracy charakter globalny, gdyż rozpatrując różne czynniki niejednokrotnie Doktorantka analizuje błędy mniejsze od 1 mm, podczas gdy za poprawne przyjmuje wyjściowe błędy skanowania przekraczające 10 mm. W całości pracy nie dostrzega się globalnej oceny dokładności uwzględniającej wszystkie rozpatrywane czynniki. Dobrym sposobem jest zastosowanie analizy wrażliwości, w której efekcie można by zwracać większą uwagę na te czynniki, które mają największy wpływ na docelową dokładność opracowania.

Rozdział 6:

Konsekwencją wcześniejszych analiz jest zaprezentowana w rozdziale 6 autorska koncepcja metodyki przetwarzania danych TLS w pomiarach obiektów budowlanych. Poza wspomnianym już zastrzeżeniem (lub raczej wątpliwością) co do poprawności użycia zwrotu „pomiar kontrolny” w odniesieniu do pomiarów przemieszczeń (wykonywanych zwykle na potrzeby diagnostyczne), należy jeszcze raz pochwalić Autorkę za bardzo drobiazgowo i celne sformułowanie wszelkich stwierdzonych uwarunkowań w przedstawionych na rysunkach 6.1 i 6.3 elementach metodyki rejestracji i interpretacji skanów badanego obiektu. W efekcie dowolny wykonawca podobnych pomiarów będzie mógł dobrać parametry pracy pod kątem danego obiektu i oczekiwanych wielkości przemieszczenia.

Należy też zwrócić uwagę na ważny aspekt wrażliwości aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów (co autorka wielokrotnie stosowała w swoich badaniach) na wystąpienie błędów grubych. W skaningu są to nieodfiltrowane punkty, niekiedy bardzo trudne do zidentyfikowania, ale powszechnie w geodezji i w budownictwie występują różnego rodzaju nieciągłości, a nawet duże lokalne błędy o charakterze systematycznym lub przypadkowym, które wykluczają użycie takiego podejścia do aproksymacji. Niezbędne jest bardzo uważne podejście do tego typu rozwiązań, przede wszystkim wsparte analizą danych (obserwacji) odstających.

Rozdział 7:

Autorka szczegółowo opisała tu prace na dwóch typach obiektów – nowo powstającym oraz istniejącym i od pewnego czasu obserwowanym. Głównym celem było pokazanie w jaki sposób korzystać z zaproponowanej metodyki, a także na ile da się ją użyć względem danych skaningowych pozyskanych wcześniej bez jej uwzględnienia. Oczywistym wnioskiem jest większa efektywność prac wykonywanych w całości w oparciu o tę metodykę. Jednocześnie Autorka ponownie zaakcentowała spostrzeżenie, że na obiekcie testowym panowały bardzo niekorzystne warunki. Jednym z takich utrudnień – zdaniem Recenzenta kluczowym – była złe warunki geometryczne wobec obiektów, które można by przyjąć jako odniesienie. W efekcie końcowa ilustracja przemieszczeń może być skutkiem błędnej orientacji stanowisk w obu porównywanych cyklach, czego w praktyce nie można wykluczyć przy braku analizy stałości punktów odniesienia.

Drugi obiekt testowy został przez Doktorantkę potraktowany nieco pobieżnie, a jego przytoczenie miało na celu ukazanie komplikacji wynikających z niezastosowania podanej metodyki. Pod tym względem ta pobieżna prezentacja spełniła swoje zadanie.

Rozdział 8:

Na temat treści rozdziału 8 były już wcześniej formułowane uwagi. Należy zaznaczyć, że brak jednoznacznie wypunktowanych wniosków utrudnia ocenę, na ile zostały osiągnięte cele pracy i udowodniona teza. Doczytać się tego można analizując treść tegoż rozdziału w całości.

5. Ocena strony redakcyjnej

Oceniana rozprawa została wydana drukiem w przyjętym na Politechnice Warszawskiej standardzie. Druk nie posiada strony redakcyjnej, ani ISBN, zatem należy go uznać jako rękopis. Z tego też względu z pewnością nie był przedmiotem obróbki redakcyjnej. Jest to praktycznie dostrzegalne w (nielicznych) przypadkach występowania błędów składniowych. Widoczne jest jednak staranie Autorki o formę końcową i estetykę tekstu, gdyż jego układ, wielkość i rozmieszczenie rysunków oraz tabel są poprawne, czytelne i uporządkowane. W zasadzie wszystkie rysunki są czytelne, za wyjątkiem rysunku 7.10, który jest znacznym pomniejszeniem oryginału. Rysunki w skalach barwnych są wydrukowane w wysokiej jakości, co stwarza pozytywne wrażenie. Jedyne można mieć trudności w ocenie wielkości danego zjawiska w przypadku znacznego zróżnicowania zakresu skal (wartości).

W odniesieniu do jakości tekstu należy docenić, że Autorka bardzo starannie respektowała autokorektę stosowaną przez edytor tekstu. Jednak takie zaufanie automatowi może skutkować zmianą znaczenia poszczególnych wyrazów, a w konsekwencji całych zdań. Przykładem mogą być następujące cytaty z treści pracy:

str. 70 – dwa wektory a i b są liniowo nieżelazne...

str. 77 – zwiera się ona w przedziale...

str. 96 – wpływu odległości skanowania na jakość...

Poza tymi nielicznymi wyjątkami praca jest napisana czytelnym, zrozumiałym językiem, zatem może być polecana jako przewodnik dla wykonawców robót geodezyjnych, studentów a nawet osób nie związanych zawodowo z geodezją.

6. Ocena końcowa

Podsumowując niniejszą recenzję trzeba stwierdzić, że w celu realizacji tematu badawczego mgr inż. Maria Elżbieta Kowalska poprawnie zaplanowała eksperyment badawczy, poprzedzając go pogłębioną analizą literatury oraz badań eksperymentalnych, wskutek czego stworzyła podstawy teoretyczne dla określonej metodyki pomiarów i interpretacji ich wyników. Solidnie zostały wykonane poszczególne zadania cząstkowe przyjętej procedury badawczej, co doprowadziło do uzyskania sprawnego rozwiązania technologicznego w postaci szczegółowo opisaney i sprawdzonej metodyki.

Niezależnie od zamieszczonych tu uwag i komentarzy stwierdzam, że Autorka wykazała się w rozprawie dużą znajomością warsztatu badawczego, rzetelnością i właściwym poziomem naukowym. Należy podkreślić fakt, że przedłożona mi do recenzji praca ma charakter badań o charakterze aplikacyjnym, a więc użytecznym dla szerokiego grona geodetów zajmujących się pomiarami diagnostycznymi budowli i konstrukcji.

Udowodnienie tezy rozprawy w brzmieniu podanym przez Autorkę wydaje się oczywiste w całościowym kontekście publikacji. Tym samym został osiągnięty cel pracy, którym było opracowanie kompleksowej procedury pozyskiwania i przetwarzania chmury punktów (TLS) na potrzeby analiz związanych z okresowymi pomiarami kontrolnymi obiektów budowlanych.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Marii Elżbiety Kowalskiej „Opracowanie metodyki przetwarzania danych z naziemnego skaningu laserowego w pomiarach kontrolnych obiektów inżynierskich” przygotowana pod opieką promotora dr hab. inż. Doroty Zawieska, prof. PW i promotora pomocniczego dr hab. inż. Janiny Zaczek-Peplinskiej, spełnia warunki określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony

dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek, prof. PP

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

