

Dr hab. inż. Mieczysław Kwaśniak, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Geodezji i Kartografii
Katedra Geodezji Inżynierskiej i Systemów Pomiarowo-Kontrolnych
Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa
Tel. (22) 2347758, e-mail: mieczyslaw.kwasniak@pw.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Darii Filipiak-Kowszyk

pt. „Wyznaczanie przemieszczeń pionowych w małych sieciach geodezyjnych realizowanych w niestabilnych układach odniesienia”

1. Podstawa formalna

Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (pismo nr WGIPB-DZ.6350.1.2016 z dnia 23.04.2019 r.) przekazujące Uchwałę nr 469 Rady Wydziału z dnia 16 kwietnia 2019 roku, w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Filipiak-Kowszyk. Recenzja ma na celu ustalenie, czy rozprawa spełnia wymogi określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma formę monografii i została napisana pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Waldemara Kamińskiego z Politechniki Gdańskiej. Na treść rozprawy składa się 6 logicznie powiązanych ze sobą rozdziałów merytorycznych. Ponadto, praca zawiera: Podsumowanie, Spis literatury, Wykazy tabel, rysunków i schematów, a także Załącznik, w którym w postaci tabel zostały zestawione symulowane wartości przewyższeń w sieci kontrolnej użytej do badań dla wszystkich rozpatrywanych w pracy wariantów badawczych (13 tabel).

Zamieszczona w rozprawie literatura składa się z 91 pozycji, przy czym 64 to pozycje obcojęzyczne (głównie w j. angielskim). Zdecydowana większość tych publikacji ukazała się po roku 2000. Należy też podkreślić, że w tekście rozprawy znajdują się odwołania do wszystkich pozycji literatury – do niektórych wielokrotnie.

Na całość rozprawy składa się 141 ponumerowanych stron, a w tym: 11 rysunków, 1 schemat, 49 zanumerowanych wzorów oraz 111 tabel. Na stronach 127 i 128 przedstawione są streszczenia rozprawy w językach polskim i angielskim.

3. Szczegółowa charakterystyka rozprawy wraz z oceną przedstawionych badań

We **Wstępie** do rozprawy Doktorantka wskazuje na różnorodność przyczyn występowania deformacji obiektów inżynierskich oraz na ważność i aktualność podjętej problematyki badawczej. Na potwierdzenie przywołuje ponad 30 publikacji naukowych, w większości powstających po 2000 roku, w których na różne sposoby badane są różne (głównie teore-

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Dziekanat Wydziału Geodezji i Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa
Wpłynęło dnia 2019-07-01
L.dz. WGIPB-02.6350.1.2016
podpis osoby przyjmującej *[Podpis]*

tyczne) aspekty problematyki wyznaczania przemieszczeń punktów zlokalizowanych na obiektach podlegających deformacjom.

Doktorantka podkreśla też, że w odniesieniu do metod geodezyjnych stosowanych do wyznaczania przemieszczeń punktów badanego obiektu, typowym podejściem jest stosowanie układu odniesienia definiowanego na punktach tzw. zewnętrznej bazy odniesienia. Jednakże mogą zdarzyć się przypadki, w których wymagana stałość wzajemna pozycji punktów bazy odniesienia może nie być spełniona, albo gdy niektóre z punktów bazy uległy całkowitemu zniszczeniu. W takich przypadkach mamy do czynienia z tzw. niestabilnym układem odniesienia. Takim właśnie problemem, tj. wyznaczaniem przemieszczeń pionowych punktów obiektu w przypadku niestabilności zewnętrznego układu odniesienia, Doktorantka zajęła się w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

W rozdziale 1 (Cel i hipoteza pracy) Doktorantka określiła cel główny rozprawy jako: „*opracowanie metody obliczeń umożliwiającej wyznaczanie przemieszczeń pionowych indywidualnych punktów kontrolowanych w sytuacjach, gdy nie można wyznaczyć bazy odniesienia*”. Podjęta problematyka badawcza została więc zawężona do wyznaczania przemieszczeń pionowych przy użyciu metody niwelacji geometrycznej. Dla realizacji postawionego celu Doktorantka przyjęła następującą hipotezę badawczą: „*Można opracować algorytm obliczeń umożliwiający wyznaczenie z pewnymi ograniczeniami, przemieszczeń pionowych indywidualnych punktów kontrolowanych w niestabilnych układach odniesienia.*”

Dla zweryfikowania tej hipotezy Doktorantka przyjęła i przedstawiła w tym rozdziale również 8 szczegółowych celów badawczych, do których należą: analiza wybranych, znanych metod identyfikacji bazy odniesienia; opracowanie algorytmu wyznaczania przemieszczeń pionowych w niestabilnych układach odniesienia; oszacowanie dokładności wyznaczanych przemieszczeń; weryfikacja opracowanego algorytmu na przykładzie symulowanej sieci testowej; weryfikacja algorytmu na przykładzie rzeczywistej sieci niwelacyjnej; określenie ograniczeń dla zaproponowanej metody obliczeń. Ponieważ do obliczeń używane są współrzędne poziome X,Y punktów kontrolowanych, zaplanowane zostało również zbadanie wpływu precyzji zapisu tych współrzędnych na wartości wyznaczanych przemieszczeń pionowych punktów kontrolowanych. Wyniki badań numerycznych, zgodnych z przyjętymi celami szczegółowymi, zawierają kolejne rozdziały recenzowanej rozprawy.

Uważam, że użyte w tytule rozprawy oraz wielokrotnie w jej treści, sformułowanie „wyznaczanie przemieszczeń w niestabilnych układach odniesienia” jest nieco mylące, ponieważ sugeruje, że to właśnie w takim układzie odniesienia będą wyznaczone przemieszczenia metodą opracowaną przez Doktorantkę. Tymczasem, z treści rozprawy wynika, że (zewnątrzny) niestabilny układ odniesienia jest wtedy odrzucany, a przemieszczenia są wyznaczane względem jednego z punktów kontrolowanych na obiekcie.

W rozdziale 2 (Wprowadzenie) przywołany został znany z literatury podział przemieszczeń na: przemieszczenie punktu i przemieszczenie obiektu jako bryły sztywnej. Przedstawione zostały również krótkie charakterystyki obu tych pojęć. Doktorantka wyjaśniła również użyte w tytule rozprawy pojęcie „sieć mała”, kierując się klasyfikacją sieci do badania przemieszczeń podaną w podręczniku „Niwelacja precyzyjna” pod redakcją A. Hermanowskiego (1971). W rozdziale tym Doktorantka stwierdza również, że z dokonanego przez nią przeglądu literatury wynika, że bardzo rzadko podejmowana jest problematyka wyznaczania przemieszczeń przy założeniu braku stabilności układu odniesienia. Dlatego postanowiła zająć się tym zagadnieniem w swojej rozprawie doktorskiej.

Uważając słusznie, że w tzw. klasycznym podejściu do wyznaczania przemieszczeń kluczową rolę odgrywa etap identyfikacji bazy odniesienia, w dalszym ciągu tego rozdziału Doktorantka wymienia i krótko charakteryzuje wybrane metody weryfikacji wzajemnej stałości punktów potencjalnej bazy odniesienia. Nie precyzuje jednak według jakiego klucza dokonała tego wyboru.

W zakończeniu rozdziału znajduje się konkluzja, że w przeciwieństwie do klasycznego podejścia do wyznaczania przemieszczeń, przedstawiona w rozprawie propozycja algorytmu obliczania przemieszczeń nie zakłada istnienia bazy odniesienia (punktów referencyjnych – określenie przyjęte w całej rozprawie), a wszystkie punkty traktuje jako kontrolowane.

Rozdział 3 (Estymacja przemieszczeń pionowych punktów kontrolowanych) rozpoczyna się od przedstawienia podstaw teoretycznych metody wyrównania swobodnego układu obserwacji wykonanych w sieci kontrolnej, nazywanej przez Doktorantkę siecią względną z racji nie występowania w niej punktów referencyjnych zlokalizowanych poza badanym obiektem. Stwierdza też, że na podstawie wyników wyrównań swobodnych układów obserwacji z pomiaru pierwotnego i aktualnego można obliczyć przemieszczenia punktów, jako różnice współrzędnych wyrównanych. Można również obliczyć macierz kowariancji tych przemieszczeń. W celu potwierdzenia tej tezy, a także zilustrowania sposobu obliczeń, Doktorantka przedstawia wyniki swoich badań numerycznych w tej kwestii.

Dla przykładowej 15-punktowej sieci niwelacyjnej wygenerowała kilka wariantów par układów obserwacji (bez tzw. szumu losowego), różniących się liczbą punktów przemieszczonych (3, 6, 9 i 12), ale o identycznych wartościach przemieszczeń (-0.9mm). Następnie przeprowadziła wyrównania swobodne definiując warunek układu odniesienia na wszystkich 15 punktach sieci. Na podstawie wyników tych wyrównań obliczyła wartości przemieszczeń pionowych punktów oraz ich błędów średnich, a następnie dokonała oceny istotności tych przemieszczeń. Wyniki tych badań przedstawione są w tabelach 3.2-3.4. Z badań tych wynika, że tylko w pierwszym wariancie badawczym (3 punkty przemieszczone) analizowana metoda dała poprawny wynik. W pozostałych wariantach, w których liczba punktów przemieszczonych wynosiła 40%, 60% i 80% wszystkich punktów sieci, metoda ta dała wyniki niepoprawne. Uzyskane wyniki badań Doktorantka podsumowała następującym wnioskiem: *„należy ostrożnie wykorzystywać wyrównanie swobodne w problematyce identyfikacji bazy odniesienia, jak również w wyznaczaniu przemieszczeń”*.

Nie w pełni zgadzam się z przedstawionym wnioskiem. Warunki typu „free” stosowane w wyrównaniu swobodnym mogą być i są skutecznie stosowane w tzw. klasycznym podejściu do wyznaczania przemieszczeń zarówno na etapie identyfikacji bazy odniesienia jak i do obliczania tzw. ostatecznych wartości przemieszczeń wszystkich punktów sieci kontrolnej. Przemieszczenia uzyskane przez Doktorantkę mogą z powodzeniem być wykorzystane jako dane do etapu identyfikacji bazy odniesienia. Z racji przyjętego założenia, że wszystkie punkty sieci zlokalizowane są na badanym obiekcie, będzie to tzw. własna baza odniesienia.

Uzyskane przez Doktorantkę wyniki są skutkiem spełnienia przez wektor niewiadomych drugiego warunku wyrównania swobodnego ($\mathbf{X}^T\mathbf{X} = \min.$). W sieci niwelacyjnej warunek układu odniesienia, eliminujący defekt lokalizacyjny sieci, ma postać $\sum X_i = 0$. Oznacza to, że wartości niewiadomych w wyrównaniu liczone są względem pozycji środka ciężkości tej grupy punktów, na której zdefiniowany został warunek układu odniesienia. W przedstawionych badaniach była to średnia z wysokości wszystkich punktów sieci.

Zatem otrzymane przemieszczenia pionowe punktów, obliczone na podstawie tak uzyskanych wyników wyrównań swobodnych dwóch pomiarów, są przemieszczeniami względem (wirtualnego) punktu odniesienia, którym jest środek ciężkości całej sieci, czyli określony zarówno przez punkty nieprzemieszczone jak i przemieszczone. Przykładowo dla wariantu 4 wykonanych badań: $\Delta H_{\Sigma r} = (3 \cdot 0 \text{ mm} - 12 \cdot 0.9 \text{ mm}) / 15 = -0.72 \text{ mm}$. Stąd punkty 1÷12 o zadanej wartości przemieszczenia równej -0.9 mm uzyskały przemieszczenie o wartości równej $-0.9 \text{ mm} - (-0.72 \text{ mm}) = -0.18 \text{ mm}$, natomiast wartość przemieszczenia punktów stałych 13÷15 wyniosła $0 \text{ mm} - (-0.72 \text{ mm}) = +0.72 \text{ mm}$. Przy wartości błędu średniego przemieszczeń równej ok. 0.2 mm to punkty 13÷15 przemieściły się istotnie.

W dalszej części rozdziału 3 Doktorantka analizuje i poddaje badaniom numerycznym, na tych samych wariantach danych przyjętej sieci testowej, kolejne 3 metody obliczania przemieszczeń. Pierwszą z nich jest metoda IWST (Iterative Weighted Similarity Transformation) opracowana w Kanadzie w 1983 roku. Przemieszczenia punktów oraz ich istotność uzyskane po zastosowaniu tej metody zasadniczo nie różnią się od przemieszczeń otrzymanych po zastosowaniu wyrównania swobodnego sieci. Jedynie w wariancie 2 metoda ta wykryła poprawnie punkty przemieszczone, podczas gdy metodą poprzednią uzyskano wynik niepoprawny. Różnicę tę wyjaśnia inny typ warunku, który wiąże w metodzie IWST wyniki wyrównania pomiaru pierwotnego i pomiaru aktualnego. Warunek ten o postaci $\|\Delta \mathbf{H}\|_1 = \min$ powoduje, że dopiero przy ponad 50% punktów identycznie przemieszczonych metoda IWST uznała je błędnie za stałe.

Kolejną metodą badaną przez Doktorantkę jest odporne wyrównanie swobodne. Metoda ta różni się od „zwykłego” wyrównania swobodnego tym, że w warunku definiującym układ odniesienia w wyrównaniu wprowadzone zostały wagi współrzędnych punktów, a cała procedura obliczeniowa realizowana jest w trybie iteracyjnym, z modyfikacją wspomnianych wag po każdej iteracji według przyjętej funkcji tłumienia. W badaniach użyte zostały trzy różne funkcje tłumienia (Hubera, Hampela oraz Metody duńskiej) oraz te same 4 warianty danych co w metodach poprzednich. Jak wynika z tabeli 3.6 (str. 24), uzyskane wyniki badań nie różnią się (w sensie istotności przemieszczeń) od wyników metod poprzednich. Dla wariantów 3 i 4 wskazania punktów przemieszczonych nie są poprawne. Dla wszystkich trzech przyjętych funkcji tłumienia wyniki badań są identyczne.

Moim zdaniem wprowadzenie wag współrzędnych punktów dla danych wygenerowanych bez tzw. szumu losowego (błędów prawdziwych) niewiele poprawia sytuację w stosunku do wyników wyrównania swobodnego bez użycia tych wag. Jedynie przy 40% punktów przemieszczonych (wariant 2) wprowadzenie wag spowodowało uzyskanie lepszego wyniku.

Ostatnią metodą, której Doktorantka użyła w swoich badaniach jest metoda M-split estymacji, opracowana w różnych odmianach przez prof. Zbigniewa Wiśniewskiego. W metodzie tej generowane są, przy określonej funkcji celu, konkurencyjne wektory rozwiązań i zależne od nich wektory poprawek do obserwacji. Niestety w rozprawie nie znalazłem wyników badań, a jedynie opierając się na wynikach badań zawartych w publikacji (Zienkiewicz 2014) Doktorantka stwierdziła: *„Jak pokazały rezultaty z obliczeń wykorzystanie Msplit estymacji z uwzględnieniem dwóch konkurencyjnych modeli nie daje oczekiwanych wyników nawet w przypadku przemieszczeń pojedynczych punktów kontrolowanych sieci.”*

Na zakończenie rozdziału 3 Doktorantka przytacza wzory wykorzystywane w ocenie istotności wyznaczanych przemieszczeń, a także przedstawia schemat blokowy realizacji takiej oceny. Chciałbym tu jednak zauważyć, że podane wzory są powszechnie stosowane

w procedurach identyfikacji bazy odniesienia dla przemieszczeń i wówczas ma to sens. Natomiast w kontekście przyjętego przez Doktorantkę założenia, że wszystkie punkty sieci zlokalizowane są na badanym obiekcie i nie ma jednoznacznie określonej potencjalnej bazy odniesienia, test globalny pozwala ocenić z określoną ufnością czy wszystkie punkty obiektu łącznie (a zatem cały obiekt) przemieściły się istotnie czy też nie. Dopiero lokalne testy istotności przemieszczeń dadzą obraz zróżnicowania przemieszczeń punktów wskazujący na ewentualne deformacje obiektu.

Rozdział 4 (Metoda prof. Z. Wiśniewskiego wyznaczania przemieszczeń pionowych) jest moim zdaniem najważniejszym rozdziałem recenzowanej rozprawy. Doktorantka najpierw przedstawia opracowaną przez prof. Wiśniewskiego (1989) metodę obliczania przemieszczeń pionowych na podstawie cyklicznych pomiarów wysokościowych przy założeniu, że żaden z punktów sieci niwelacyjnej nie jest dowiązany do zewnętrznych punktów referencyjnych. Następnie przedstawia własne rozszerzenie tej metody tak, aby bez posiadania zewnętrznych punktów referencyjnych można było obliczyć przemieszczenia pionowe punktów badanego obiektu pomiędzy dwoma dowolnymi pomiarami okresowymi. W ocenianym rozdziale wyprowadzone zostały stosowne wzory oraz zaproponowany został algorytm realizacji proponowanej metody obliczania przemieszczeń.

Należy tu jednak zauważyć, że w metodzie bazowej zostało zastosowane pewne przybliżenie, które w ogólności, tj. w odniesieniu do różnych badanych obiektów, może nie dać wystarczająco dokładnych parametrów wynikowych. Chodzi tu o przyjęcie założenia, że kąty obrotu bryły obiektu są wystarczająco małe, a przez to macierz obrotu można uprościć do postaci podanej we wzorze (4.3) na str. 33. Uważam jednak, że Autorka tak poważnego dzieła naukowego, jakim jest rozprawa doktorska, powinna zaproponować sposób weryfikacji, czy przyjęte uproszczenie nie pogarsza w danym przypadku dokładności obliczanych przemieszczeń. Oczekuję ustosunkowania się Autorki do tej kwestii podczas obrony rozprawy.

Dokonując analizy zaproponowanego 6-krokowego algorytmu obliczania przemieszczeń pionowych, zwracam uwagę na deklarację już w jego pierwszym kroku, punktu stanowiącego początek lokalnego układu współrzędnych (dalej w skrócie PUW). Doktorantka pisze: „W układzie tym będą wyznaczane przemieszczenia pionowe pojedynczych punktów kontrolowanych.” Moim zdaniem, punkt ten stanowi tzw. własną dla obiektu minimalną bazę odniesienia dla wyznaczanych przemieszczeń, czyli nie zewnętrzny, ale wewnętrzny punkt referencyjny.

W rozdziale 5 (Badania praktyczne metody na danych symulowanych), zawierającym 4 podrozdziały, przedstawione zostały wyniki badań numerycznych opracowanego algorytmu obliczania przemieszczeń pionowych punktów na badanym obiekcie. Do badań tych Doktorantka wykorzystwała tę samą co w poprzednich rozdziałach 15-punktową niwelacyjną sieć kontrolną z układem 35 obserwacji. W celu dokładnego zbadania i zobrazowania własności opracowanej metody użytych zostało łącznie 52 różne opcje zasymulowanych przemieszczeń punktów sieci kontrolnej, z uziemienniem zarówno liczby punktów przemieszczonych jak i wartości oraz znaków przemieszczeń.

Analizując przedstawione wyniki tych badań, a w szczególności tabele zawierające wyznaczone przemieszczenia punktów kontrolowanych dla wszystkich opcji badawczych, dostrzegłem istotną niekonsekwencję przy obliczaniu przemieszczeń. Otóż dla wszystkich punktów sieci kontrolnej przemieszczenia obliczane są według wzoru (4.29) ze str. 41. Dla

punktu stanowiącego początek przyjętego układu współrzędnych (PUW), posiadającego zerowe współrzędne X, Y, obliczone przemieszczenie jest równe zero. Wartości tych przemieszczeń są zgodne z wynikami obliczeń tradycyjnych, np. opartych na różnicach obserwacji, przy tzw. elementarnym układzie odniesienia zdefiniowanym na punkcie PUW. Natomiast Doktorantka oblicza jeszcze raz przemieszczenie tego punktu według wzoru podanego na str. 50 pod tabelą 5.7 i tą wartością zastępuje przemieszczenie zerowe. Uważam, że ta korekta jest zbędna, ponieważ przemieszczenia pozostałych punktów liczone są przy założeniu stałości punktu PUW.

Dodatkowym elementem badań, których wynik przedstawiony jest w rozdziale 5.3.1, jest zmiana punktu stanowiącego PUW w przypadku, gdy dla tego punktu różnica odstępów $r^A - r^P$ od płaszczyzn optymalnych wyznaczonych dla pomiarów pierwotnego i aktualnego, jest duża. W takim przypadku Doktorantka proponuje zmianę punktu PUW na taki, dla którego wspomniana różnica odstępów jest niewielka i jednocześnie punkt ten leży na brzegu sieci kontrolnej. Zmiana punktu PUW wiąże się z koniecznością przetransformowania współrzędnych poziomych X, Y wszystkich punktów do nowego układu współrzędnych, a następnie powtórzenia obliczeń kątów obrotu dla płaszczyzn optymalnych w obu pomiarach okresowych oraz obliczenia na nowo odstępów od płaszczyzn optymalnych.

Moim zdaniem proponowana zmiana punktu PUW nie jest konieczna, ale jej efektem jest obliczenie przemieszczeń pionowych wszystkich punktów sieci kontrolnej względem punktu o możliwie najmniejszym przemieszczeniu pozornym, obliczonym jedynie na podstawie odstępów od płaszczyzn optymalnych. Uzasadnieniem dla użycia przeze mnie określenia „przemieszczenie pozorne” jest przyjęte w publikacji źródłowej prof. Z. Wiśniewskiego założenie, że różnicę wysokości dwóch punktów zastępuje różnicą odstępów od płaszczyzn optymalnych (zob. str. 34, wiersze 6-7 rozprawy). Wynika stąd, że w ogólności niezerowa różnica wysokości pomiędzy płaszczyznami optymalnymi w punkcie PUW jest pominięta, tj. zastąpiona zerem.

W podrozdziale 5.3.2 Doktorantka analizuje przypadek szczególny, w którym wszystkie punkty sieci przemieściły się identycznie (te same znaki i wartości przemieszczeń). Wniosek z tego badania jest dla mnie zaskakujący, ponieważ Doktorantka stwierdza, że opracowana metoda nie daje możliwości oceny przemieszczenia. Chyba chodzi tu o wyznaczenie symulowanej („rzeczywistej”) wartości przemieszczenia, bo po zastosowaniu zaproponowanego algorytmu obliczeniowego otrzymuje się przemieszczenia zerowe dla wszystkich punktów sieci. Są to przemieszczenia względne, tj. względem punktu PUW. Doktorantka proponuje, aby w takim przypadku zastosować do badań najbardziej precyzyjną metodę wyznaczania przemieszczeń względnych, tj. niwelację hydrostatyczną. Ale przecież pomiary zostały już wykonane – czy należy z nich zrezygnować ?

W podrozdziale 5.4 analizie poddany został wpływ „precyzji zapisu” czyli dokładności współrzędnych poziomych X,Y na dokładność wyznaczenia przemieszczeń pionowych punktów proponowaną metodą. Z analizy tej wynika, że przy zaokrągleniu współrzędnych X,Y do 0.1m uzyskuje się przemieszczenia pionowe punktów różne o kilka setnych milimetra od przemieszczeń obliczonych przy użyciu współrzędnych zaokrąglonych do 0.01m. Chciałbym tu zauważyć, że powyższy wniosek odnosi się do jednej, użytej w rozprawie, sieci niwelacyjnej o określonych parametrach.

W podsumowaniu całego rozdziału 5 zwracam uwagę, że we wszystkich wariantach badawczych użyta była tylko jedna sieć kontrolna. Ponadto użyte w badaniach wszystkie

warianty układów obserwacji były utworzone jedynie z uwzględnieniem założonych przemieszczeń ustalonych punktów sieci kontrolnej. Nie były one obciążone tzw. szumem losowym, czyli błędami przypadkowymi „pomiaru”. Takie podejście pozwala łatwiej potwierdzić poprawność merytoryczną opracowanej metody, ale nie pozwala na oszacowanie jej praktycznej skuteczności.

Zaproponowana przez Doktorantkę metoda obliczania przemieszczeń została również poddana weryfikacji na danych rzeczywistych, pochodzących z pomiarów wykonanych na obiekcie, którym była hala należąca do MOSTOSTAL GDAŃSK S. A. położona w Gdańsku przy ulicy Marynarki Polskiej. Wyniki tych badań zostały przedstawione w **rozdziale 6 (Badania praktyczne metody na danych rzeczywistych)**. Korzystając z obserwacji wykonanych metodą niwelacji precyzyjnej w ramach dwóch pomiarów okresowych oraz ze współrzędnych poziomych X,Y punktów kontrolowanych, Doktorantka obliczyła w 3 wariantach przemieszczenia pionowe punktów kontrolowanych, tj. I - klasycznie z punktem A1 jako referencyjnym; II - przy zastosowaniu zasady wyrównania swobodnego oraz III - metodą opracowaną przez Doktorantkę. Wartości przemieszczeń obliczonych w wariantach I i III są zgodne, co potwierdza poprawność opracowanej metody obliczania względnych przemieszczeń pionowych. Zgodność wyników w tych wariantach czyni zastosowane podejścia konkurencyjnymi. Na korzyść metody klasycznej przemawiają prostsze obliczenia, ale metoda Doktorantki daje jako wynik pośredni ocenę istotności przemieszczenia obiektu jako całości. Przemieszczenia obliczone w wariantcie II różnią się od poprzednich o stałą wartość 0.4mm. Natomiast porównując błędy średnie obliczonych przemieszczeń, w każdym wariantcie ich wartości dla danego punktu są inne. Najmniejsze błędy średnie posiadają przemieszczenia obliczone w wariantcie II (na podstawie wyrównań swobodnych), a największe w wariantcie III (proponowana metoda). Istotnie zaniżoną dokładność wyznaczanych przemieszczeń pionowych metodą zaproponowaną przez Doktorantkę należy uznać za mankament metody, ponieważ ma to wpływ na ocenę istotności obliczonych przemieszczeń.

Ustosunkowując się do wniosków zawartych w **Podsumowaniu końcowym** rozprawy potwierdzam, że główny cel rozprawy został zrealizowany oraz że opracowana metoda pozwala na poprawne obliczenie przemieszczeń względnych punktów kontrolowanych na badanym obiekcie. Zatem, postawiona hipoteza badawcza została pozytywnie zweryfikowana. Ponadto, wyznaczone w rozdziale 1 cele szczegółowe pozwoliły dokładniej zbadać właściwości opracowanej metody. Z badań Doktorantki wynika również, że poprawność obliczenia przemieszczeń opracowaną przez Nią metodą nie zależy od liczby faktycznie przemieszczonych punktów sieci kontrolnej. Rzeczywiście, nawet w przypadku gdy wszystkie punkty sieci kontrolnej będą w rzeczywistości przemieszczone, to opracowana metoda umożliwia poprawne obliczenie ich przemieszczeń względnych, tj. względem punktu PUW będącego początkiem przyjętego układu współrzędnych X,Y. Uważam jednak, że w podsumowaniu końcowym rozprawy powinno znaleźć się zastrzeżenie, że przedstawiane wnioski oparte są na badaniach przy użyciu tylko jednej sieci kontrolnej, która ma swoją wielkość, określony kształt i konkretny układ powiązań punktów obserwacji.

Słusznym jest stwierdzenie Doktorantki zawarte w Podsumowaniu, że znane z literatury metody identyfikacji bazy odniesienia nie zawsze dają zadowalające rezultaty. Faktycznie, badając stałość wzajemną punktów bazy potencjalnej tymi metodami możemy mieć do czynienia z tzw. błędami identyfikacji I, II oraz I+II rodzaju. Wówczas przemieszczenia bezwzględne punktów obliczone w niezniekształcającym układzie odniesienia będą obciążone

błędem stałym, ale już przemieszczenia wzajemne obliczone na ich podstawie będą wolne od tego błędu.

4. Dostrzeżone drobne błędy i uwagi o charakterze redakcyjnym

W recenzowanej rozprawie znalazłem wiele miejsc, w których Doktorantka nie ustrzegła się błędów językowych, edytorskich, a nawet merytorycznych. Również niektóre określenia czy sformułowania są mało precyzyjne (np. str. 8 dół). Poniżej zestawiam tylko najważniejsze z nich:

Str. 11: cytat: „...kryterium zupełne będące złożeniem kryteriów cząstkowych dla wszystkich analizowanych par punktów (PRÓSZYŃSKI, KWAŚNIAK 2006)”. Nie jest to stwierdzenie prawdziwe, ponieważ kryterium zupełne dotyczy tylko punktów ustalonej bazy odniesienia, a nie wszystkich analizowanych par punktów.

Str. 11, 28, 29: cytat: „metoda oparta na globalnym teście przystawiania ... polegającym na sprawdzeniu hipotezy zerowej i alternatywnej dla grupy punktów ...”. W tego typu testach statystycznych testowana jest hipoteza zerowa – nie ma potrzeby testowania również hipotezy alternatywnej.

Str. 12: cytat: „Brak bazy odniesienia powoduje, że przemieszczenia punktów kontrolowanych nie będą mogły być wyznaczone w oparciu o punkty referencyjne.”. Chyba chodzi tu o zewnętrzną bazę odniesienia. Bez jakiegokolwiek bazy odniesienia (choćby minimalnej) nie można zdefiniować układu odniesienia, a więc nie można obliczyć przemieszczeń punktów.

Str. 13 cytat: „W rozwiązaniu nie przyjęto istnienia punktów referencyjnych zatem wszystkie punkty traktuje się jako punkty kontrolowane.”. Rozumiem, że nie wskazuje się zewnętrznych punktów referencyjnych, ale punkt taki istnieje i jest nim punkt obiektu nazwany PUW. Ruch jest pojęciem względnym i może być opisany tylko w przyjętym układzie odniesienia. Bez punktu odniesienia, poprzez który powiązane są pozycje punktów sieci z dwóch pomiarów nie jest możliwe wyznaczenie przemieszczeń punktów czy też innych parametrów ruchu.

Str. 15: podane w jednym zdaniu wzory $\mathbf{V} = \mathbf{A}d\mathbf{X} + \mathbf{L}$ oraz $\mathbf{L} = \mathbf{L}_{ob} - \mathbf{L}_0$ nie pasują do siebie. Wychodząc z postaci $\mathbf{L}_{ob} + \mathbf{V} = \mathbf{A}d\mathbf{X} + \mathbf{L}_0$ nie otrzymuje się tych wzorów łącznie.

Str. 21 wzór (3.3): jeżeli $\hat{\mathbf{d}}$ jest wektorem przemieszczeń wszystkich punktów sieci, to w warunku minimum dotyczącym tylko punktów referencyjnych powinien być użyty nieco inny symbol. Ponadto macierz \mathbf{H} nie jest objaśniona.

Str. 23: cytat: „M-estymacja należy do grupy metod odpornych na błędy grube, które w nawiązaniu do obliczeń geodezyjnych mogą być utożsamiane z obserwacjami odstającymi, ...”. Błędem grubego nie można utożsamiać z obserwacją odstającą.

Str. 33 wzór (4.4): po lewej stronie znaków równości przydałby się indeks górny „0”.

Str. 36 pod wzorem (4.8): nieprecyzyjne objaśnienie macierzy \mathbf{P}_r . Jak ona jest ustalana ?

Str. 64 wiersze 2÷4: podany komentarz jest nieporozumieniem. Ocena istotności przemieszczeń dla wszystkich punktów jest wykonywana dla przyjętego poziomu ufności. Zmiana tego poziomu dla jednego punktu w celu uzyskania pożądanej oceny jest niedopuszczalna. Ruch ten rzutuje również na przedstawione na tej stronie wnioski z obliczeń.

Str. 82 wiersze 3÷5: użyte sformułowanie „wyznaczanie przemieszczeń w niestabilnych układach odniesienia” jest nieprecyzyjne. Uważam, że opracowaną metodę można zastosować

do obliczania przemieszczeń względnych niezależnie od stanu zewnętrznego układu odniesienia. Sformułowanie to jest wielokrotnie powtarzane w recenzowanej pracy.

Str. 99: zarówno w tabeli 6.1 jak i w treści rozdziału 6 brak jest informacji o dokładności zestawionych obserwacji. Czy w obliczeniach traktowane były jako jednakowo dokładne ?

Str. 111 wiersze 2÷4: nie zgadzam się z treścią zdania. Zmiana punktu PUW, będącego początkiem układu współrzędnych X,Y powoduje tylko, że względem innego punktu obliczone są przemieszczenia względne pozostałych punktów obiektu.

W powyższym wykazie nie zostały ujęte literówki oraz drobne potknięcia interpunkcyjne. Przed ewentualną publikacją rozprawy w całości lub w części zalecam usunięcie wymienionych wyżej błędów, a także wnikliwe prześledzenie treści rozprawy i skorygowanie innych, nie wymienionych wyżej usterek.

5. Ogólna ocena przedstawionego osiągnięcia naukowego

Na wstępie, chciałbym podkreślić, że temat podjęty przez Doktorantkę jest ważny zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Istniejące w praktyce geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń problemy ze skutecznością metod identyfikacji bazy odniesienia mogą przyczyniać się do błędnej interpretacji wyznaczanych przemieszczeń bezwzględnych, a to z kolei ma związek z oceną bezpieczeństwa badanych obiektów. W praktyce zdarzają się też przypadki tzw. niestabilności układu odniesienia, a wówczas przydatne są sprawdzone i efektywne metody wyznaczania przemieszczeń względnych. Opracowania takiej metody podjęła się Autorka recenzowanej rozprawy, zakładając brak możliwości zdefiniowania zewnętrznego układu odniesienia. W tym celu zaadaptowała istniejącą już metodę, dokonując przy tym jej istotnej modyfikacji.

Od pracy doktorskiej wymagany jest również istotny wkład nowości naukowej. Jest nią niewątpliwie próba ulepszenia istniejącej metody bądź przystosowania jej do realizacji nowego celu. Oryginalność opracowanej metody polega na odwróceniu klasycznej kolejności obliczania przemieszczeń, tj. obliczenie w pierwszej kolejności parametrów przemieszczenia się bryły obiektu, a następnie obliczenie przemieszczeń punktów kontrolowanych na obiekcie, z użyciem wspomnianych parametrów.

Doktorantka wykazała się również ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej geodezja i kartografia, prezentując w pierwszych rozdziałach rozprawy wiele różnych aspektów związanych z problematyką geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń oraz rachunku wyrównawczego. Wykazała się również bardzo dobrym rozeznanieniem w literaturze, powołując się w rozprawie na wiele publikacji naukowych krajowych i zagranicznych.

Analiza treści recenzowanej rozprawy wskazuje również na umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych przez jej Autorkę. Poprzez dobrane w zaplanowany sposób warianty danych, Doktorantka poddaje szczegółowym badaniom zarówno metody znane jak i metodę przedstawioną jako osiągnięcie naukowe. W ten sposób, tj. za pomocą badań numerycznych z użyciem danych symulowanych, rozpoznawane są i ilustrowane szczególne własności badanych metod obliczania przemieszczeń.

6. Wniosek końcowy

Uwzględniając przedstawione w niniejszej recenzji szczegółowe omówienie oraz ocenę ogólną rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Filipiak-Kowszyk uważam, że jest Ona dobrze przygotowanym naukowcem, specjalizującym się w zakresie opracowania wyników pomia-

rów geodezyjnych. Pozytywna ocena merytoryczna rozprawy upoważnia mnie do stwierdzenia, że Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie geodezja i kartografia oraz posiadała umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że Kandydatka spełnia wymogi określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789).

Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Darii Filipiak-Kowszyk do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

dr hab. inż. Mieczysław Kwaśniak, prof. uczelni

Warszawa, dnia 18.06.2019 r.

