

Dr hab. inż. Kazimierz Ćmielewski, prof. UPWr
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
e-mail: kazimierz.cmielewski@upwr.edu.pl



RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr.inż. Marka Kurnatowskiego
pt: „Badanie wpływu zmian parametrów drgań niwelatorów precyzyjnych na
dokładność pomiaru przemieszczeń pionowych obiektów budowlanych”
wykonana pod promotorstwem Pani dr. hab. inż. Marii Mrówczyńskiej, prof. uczelni

1 Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały nr 118 z dnia 15 maja 2023 r. Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie oraz pisma Prorektora ds. nauki prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego z dnia 17 maja 2023 roku.

2 Podstawa prawna sporządzenia recenzji

Recenzję opracowano w dostosowaniu do obowiązujących przepisów Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669), art.14 ust. 1 pkt 1, ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. poz. 261).

3 Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Pracę doktorską zaprezentowano na 222 stronach. Obejmuje ona dziesięć rozdziałów powiązanych ze sobą tworząc logiczną całość. Praca zawiera podsumowanie i właściwie sformułowane wnioski końcowe wynikające z przeprowadzonych prac doświadczalnych i rozważań teoretycznych. Na końcu pracy podano bogatą literaturę 81 pozycji oraz spis 47 tabel, 58 rysunków i 22 załączników na 130 stronach. Ostatnie strony rozprawy zawierają streszczenie pracy w języku polskim i angielskim. Załącznik do rozprawy zawiera 130 stron, w tym dodatkowe tabele, rysunki, grafiki oraz protokoły wzorcowania precyzyjnych łąt niwelacyjnych, tachometru oraz mikrometru.

W rozdziale **1-szym** - we wstępie – przedstawiono specyfikę geodezyjnych pomiarów przemieszczeń pionowych i odkształceń elementów konstrukcji budowlanych oraz urządzeń inżynieryjno-przemysłowych. Podkreślono negatywną rolę drgań dynamicznych na niwelator precyzyjny oraz na repery, a w konsekwencji na wartości przemieszczeń. Środowisko pomiarowe z występującymi drganiami podłoża gruntowego ma decydujące znaczenie dla wiarygodności i dokładności pomiarów, stanowiących podstawę dla oceny stanu bezpieczeństwa monitorowanego obiektu metodą niwelacji precyzyjnej. Doktorant zauważył, że w dostępnej literaturze problematyka wpływu drgań na pomiary niwelacyjne opisana jest w sposób ogólny i brak głębszych analiz zwłaszcza w odniesieniu do niwelacji precyzyjnej. W związku z tym autor sformułował zakres podjętych w rozprawie prac badawczych.

W rozdziale **2-gim** na 3 stronach omówiono cel, tezy i zakres rozprawy. Poruszono problematykę oceny wpływu drgań dynamicznych dla różnych kombinacji, częstotliwości oraz amplitudy na podstawie uzyskanych błędów przemieszczeń pionowych i stopnia ich zgodności z wartościami rzeczywistymi. Autor precyzuje tezy odnośnie zmiennej podatności na drgania dla różnych częstotliwości i dla różnych modeli niwelatorów w zmiennych warunkach drgań dla 3 odpowiednio wybranych niwelatorów: analogowego, libellowego - Ni 004 (Zeiss) analogowego, samopoziomującego - Ni 002 (Zeiss) oraz cyfrowego, samopoziomującego - DiNi 03 (Trimble).

W rozdziale **3-cim** na 11 stronach autor przedstawił przegląd literatury krajowej i zagranicznej związanej tematycznie z teorią drgań, wykonywaniem precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych oraz wpływu drgań na sposób wykonania pomiarów niwelacyjnych i wyniki pomiarów. Rozdział trzeci obejmuje analizę dobrze dobranych 81 pozycji literatury w języku angielskim (38) i polskim (43). Cytowana literatura obejmuje szczegółowe zagadnienia

teoretyczne, badania eksperymentalne wpływu drgań na przemieszczenia pionowe, które mają jednak znaczenia marginalne, za wyjątkiem pozycji autorstwa Schramm [60],[61] oraz [62]. W spisie literatury doktorant podał 2 autorskie, indywidualne publikacje w języku angielskim. Bibliografia jest aktualna, głównie z ostatnich 20 lat co daje świadectwo aktualności tematyki dysertacji.

W rozdziale **4-tym** na 26 stronach opisano uwarunkowania dotyczące charakterystyki terenu oraz sieci badawczej, stanowiska badawczego, specjalnego znaku pomiarowego własnej konstrukcji, umożliwiającego weryfikację pomierzonych przemieszczeń oraz ich prognozowaną wartość symulacji. Po każdym cyklu lub epoce pomiarowej dla osnowy pomiarowej wyznaczono przemieszczenia, korzystając z wyrównania ścisłego metodą najmniejszych kwadratów. Szczegółowo opisano charakterystyki drgań, ich częstotliwości i amplitudy oraz określone zakresy rezonansów mogących wystąpić podczas procesu pomiarowego. Przedstawiono również generator drgań mocowany na jednej z nóg statywu pozwalający na ustawianie dowolnie ustalanych częstotliwości podczas obserwacji symulowanych. Mimośrodowo mocowane na osi silnika masy ciężarków wynosiły 4g, 8g i 12g.

W rozdziale **5-tym** zawierającym 27 stron przedstawiono metodykę prac pomiarowych. Na wstępie autor szczegółowo przedstawił wpływ wszystkich czynników instrumentalnych i środowiskowych na obserwacje niwelacyjne wskazując przy tym na możliwość eliminacji wpływu innych czynników niż drgania. Autor szczegółowo przedstawił zasady precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych oraz metody eliminacji wpływów zewnętrznych i wewnętrznych czynników oddziałujących negatywnie na wyznaczone wartości przemieszczeń. Do najniebezpieczniejszych zaliczyć należy refrakcję pionową, której wartość jest wprost proporcjonalna do odległości do łąty „w przód” i „wstecz”. We wszystkich pomiarach przewyższeń uwzględniono wyznaczoną ze wzoru poprawkę na refrakcję. Dla eliminacji zjawiska nierównomiernego osiadania stanowisk łąt i niwelatora wykonywano dwukrotny pomiar w przeciwnych kierunkach oraz o różnych porach dnia. Celem minimalizacji wpływu zjawiska quasiorizontu, zmiennego w różnych warunkach otoczenia środowiska pomiarowego, ustalano czas adaptacji termicznej niwelatora. Błąd zera łąty eliminowano skutecznie przez stosowanie tylko jednej łąty precyzyjnej. Do wyników pomiarów wprowadzano zawsze bardzo istotną poprawkę termiczną do łąty. Podczas badań stosowano stałą wysokość nóg statywu i instrumentu. Z uwagi na istotny wpływ wiatru, pomiary wykonywano wyłącznie w bezwietrznych porach dnia. Szczególną uwagę poświęcono odpowiedniemu, stałemu oświetleniu łąty. Nieodpowiednie oświetlenie łąty skutkuje bowiem spadkiem dokładności pomiaru dla

niwelatora cyfrowego. Do badań testowych wpływu drgań na wyniki przewyższenia, zastosowano 3 niwelatory precyzyjne o różnych charakterystykach technicznych: analogowe Ni 002 (Zeiss), Ni 004 (Zeiss) i kodowy DiNi 03 (Trimble). Na rysunkach i zdjęciach przedstawiono szczegółowo ich konstrukcję, sposób działania i sampoziomowania.

W rozdziale **6-tym** posiadającym 22 strony ujęto sposób realizacji obliczeń w celu wyznaczenia przemieszczeń reperów kontrolowanych oraz problem stałości reperów odniesienia. Autor podkreśla, że błędy średnie pomierzonych przewyższeń nie są jedyną miarą poprawności wyników, gdyż istotne są również odchyłki prawdziwej wartości przewyższenia, które zostały wyznaczone i zestawione w tabelach. W tabelach zestawiono również zakresy częstotliwości dla których pomiar nie był możliwy. Dotyczy to w szczególności przedziału częstotliwości 18 – 22 Hz. Również zakres 24-30 Hz dla instrumentu Ni 002 powodował, że obraz łąty nie był stabilny. Graniczną częstotliwością dla wszystkich 3 niwelatorów była wartość 44 Hz. Powyżej tej częstotliwości drgań, pomiary okazały się niemożliwe. Wyniki badań – wartości błędów średnich dla rozpatrywanych przewyższeń obciążonych drganiami zestawiono w licznych tabelach dla różnych kombinacji obserwacji z różnymi obciążeniami ciężarków. Przemieszczenia pionowe wyrównywano metodą wyrównania ścisłego na podstawie dwóch epok, według opracowanych algorytmów procesu wyrównawczego.

W rozdziale **7-mym** na 95 stronach zaprezentowano szczegółowo analizy związane z obliczeniem przemieszczeń oraz ich błędów dla wykorzystywanych w pracach eksperymentalnych niwelatorów. Rozdział ten zawiera zestawienia tabelaryczne oraz wykresy ułatwiające prowadzenie analiz wyznaczonych przemieszczeń wraz z ich błędami. Kombinacje ustalonych warunków oraz rezultatów pomiarowych w wyniku badań testowych, dostarczyły bardzo dużą liczbę wyników. Zmiana parametrów drgań, skutkuje również zmianą parametrów dokładnościowych. Obliczenia i wyrównania ostatecznych przemieszczeń, wykonywano dla wszystkich 3 niwelatorów oraz epok pomiarowych. Wszystkie wyniki poszczególnych badań dla różnych kombinacji parametrów drgań przedstawiono na licznych kolorowych wykresach (ryc.7.1 do 7.9, ryc.7.10 do 7.18 oraz ryc.7.19 do 7.38). Wszystkie badane modele niwelatorów charakteryzują się podatnością na drgania dynamiczne. Doktorant stwierdza, że dokładności wyników pomiarów uzyskane jako średnia z trzech ustawień nóg statywu są znacznie wyższe niż w przypadku jakiegokolwiek ustawienia nóg i osiągają wartości w zakresie nieprzekraczającym 0,14 mm dla drgań 42 Hz oraz 0,21 mm dla 34 Hz niezależnie od epoki pomiarowej i analizowanego reperu sieci badawczej. Są to wartości przemieszczeń spełniające wymogi

praktycznych pomiarów niwelacyjnych w zadaniach inżyniersko-pomiarowych oraz instrukcji geodezyjnych.

W rozdziale **8-ym** który zawiera 10 stron autor zawarł propozycję praktycznych wytycznych do prac niwelacyjnych które wynikają bezpośrednio z przeprowadzonych prac doświadczalnych i analiz otrzymanych wyników pomiarów. Przedmiotem analiz jest wskazanie wpływu źródła drgań na pomiary niwelacyjne oraz wskazanie możliwości eliminacji wpływu drgań na mierzone przewyższenia przez zastosowanie dwóch mimośrodowych stanowisk niwelatora. Podano również kilka przykładów (3) redukcji wpływu kierunkowości drgań na pomiar przewyższenia. Ponadto autor zaproponował dobór odpowiedniego instrumentu w zależności od częstotliwości drgań oraz zastosowanie sprzętu tłumiącego drgania (podkładki pod nogi statywu, wysokość statywu). W rozdziale ósmym przedstawiono propozycje wytycznych dla prac niwelacyjnych w kontekście uzyskanych rezultatów badań dotyczących głównie niwelatora cyfrowego. Badania wykazały, że częstotliwości drgań 0-16 Hz oraz 24-32 Hz są stosunkowo bezpieczne dla precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych i nie jest konieczne stosowanie redukcji wpływu drgań na wyniki obserwacji. Na rysunkach 8.5 i 8.6 przedstawiono przejrzyste przykłady redukcji wpływu kierunkowości drgań na wartości wyznaczanych przewyższeń. Autor proponuje podział sieci badawczej na 2 rzędy, gdzie repery 1-go rzędu pomierzone będą w strefie wolnej od drgań, natomiast sieć 2-go rzędu z reperami wykazującymi drgania wyrównywana będzie osobno i zostanie dowiązana do sieci 1-go rzędu.

W rozdziale **9-tym** – w podsumowaniu autor sformułował osiem poprawnych wniosków wynikających z przeprowadzonych prac. Dotyczą one podatności modeli niwelatorów na drgania które mają wpływ na średni błąd wyznaczenia przemieszczenia pojedynczego reperu. Zarówno wartość amplitudy jak i częstotliwość drgań mają wpływ na dokładność pomiarów niwelacyjnych. Autor zauważył również, że kierunek drgań względem położenia osi celowej ma istotne znaczenie w kontekście wpływu drgań na wyniki pomiarów. Na końcu rozdziału przedstawiono propozycje przyszłych badań, gdyż dysertacja pomimo swojej obszerności oraz wielokierunkowego spektrum wykonanych pomiarów testowych wpływu drgań na podłoże gruntowe i niwelator, zarówno w strefie zewnętrznej na stałość łąt, jak również wewnętrznej na sam instrument i statyw, nie wyczerpuje istotnego problemu negatywnego wpływu ośrodka pomiarowego na wyniki geodezyjnych pomiarów przemieszczeń urządzeń inżyniersko-przemysłowych oraz obiektów budowlanych.

4 Ocena samodzielności rozwiązań problemu naukowego

Na podstawie wielostronnej oceny teoretycznych i doświadczalnych rezultatów badań przedstawionych w rozprawie pana mgr inż. Marka Kurnatowskiego wyrażam opinię, że doktorant rozwiązał w pełnym zakresie postawione w tezach pracy aktualne zagadnienie naukowo-badawcze obejmujące wpływ drgań lub/oraz wibracji na wyniki precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych wykonywanych w różnych warunkach lokalnego środowiska pomiarowego, narażonych na negatywne oddziaływania statyczne i dynamiczne. W każdym razie, nie ma wątpliwości, że zrealizowane badania, wpisują się w jeden z ważniejszych nurtów metodyki badań wpływu ośrodka pomiarowego na szeroko rozumiane pomiary niwelacyjne. W ocenie recenzenta doktorant rozwiązał samodzielnie sformułowany na wstępie oraz w tytule pracy, aktualny i interdyscyplinarny problem badawczy w oparciu o gruntowną wiedzę teoretyczną i specjalistyczną z dziedzin instrumentoznawstwa geodezyjnego, metodyki pomiarów, teorii drgań dynamicznych, rachunku wyrównawczego i innych zagadnień technicznych. Na podstawie wyselekcjonowanej zagranicznej i krajowej literatury przedmiotu, opracował nowatorskie, oryginalne koncepcje i metody badawcze dla ustalenia wpływu drgań dynamicznych, jak również ich eliminowania w trakcie procesu pomiarowego. Realizując wszystkie postawione cele i zadania badawcze, doktorant uzyskał potwierdzenie tez naukowych dysertacji. Jego osiągnięcia badawcze stanowią istotny wkład do rozpatrywanej dziedziny nauki. Istotnym elementem warsztatu naukowego doktoranta, z perspektywy organizacji i planów badawczych omawianej pracy, okazała się wysoka wiedza interdyscyplinarna oraz umiejętność korzystania z technik obliczeniowo-wyrównawczych i ocen statystycznych. Zakres pracy, dotyczący badań teoretycznych, testowych oraz doświadczalnych odpowiada z nadmiarem wymaganiom stawianym formalnie i zwyczajowo rozprawom doktorskim w dyscyplinie nauk technicznych. Badania eksperymentalne wykonane zostały rzetelnie i solidnie, a uzyskane rezultaty udokumentowane zostały w każdym przypadku wyczerpująco. Klarowne i wyczerpujące opisy badań oraz graficzna prezentacja rezultatów pomiarów, wpływały w każdym przypadku na przejrzystość treści poszczególnych rozdziałów rozprawy. Umiejętność wszechstronnej analizy rezultatów badań i ich krytycznej oceny, logicznego i trafnego wnioskowania, świadczą o wysokim poziomie naukowym i warsztacie badawczym doktoranta. Na podkreślenie zasługuje przejrzysty sposób opisu metod i toku prowadzenia eksperymentów zgodnie z ustalonym planem badań oraz prezentacji wyników obserwacji grafik i rysunków.

5 Ocena merytoryczna rozprawy, tezy naukowej i jej oryginalności

Doktorant podjął ambitny, ale zarazem trudny interdyscyplinarny temat rozprawy doktorskiej z zakresu wpływu ośrodka pomiarowego na dokładność wyznaczania przemieszczeń reperów osnowy i punktów badawczych sieci niwelacyjnej, którego kampania pomiarowa trwała 3 lata. Na pomiary niwelacyjne wykonywane na obszarach przemysłowych, zurbanizowanych oraz wzdłuż tras komunikacyjnych oddziałuje wpływ drgań podłoża gruntowego, przy czym dotyczy to albo łaty, albo instrumentu lub łączne - łaty i niwelatora. Problematyka ta, za wyjątkiem sporadycznych publikacji i jednej rozprawy doktorskiej, nie doczekała się satysfakcjonującego rozwiązania. Ta właśnie tematyka, obejmująca kompleksowe badanie naukowe, stanowi temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Kurnatowskiego. Doktorant dla udowodnienia jasno postawionych tez dysertacji, opracował logiczny plan teoretycznego i doświadczalnego badania wpływu generowanych wibracji i drgań niwelatora na dokładność wyznaczania przemieszczeń pionowych, dla różnych kombinacji częstotliwości i amplitudy dla danej konfiguracji usytuowania reperów badawczych oraz stwierdzenia możliwości wyznaczania przemieszczeń w warunkach występowania drgań. Na podkreślenie zasługuje optymalny dobór metod pomiarowych, aparatu wyrównawczego oraz narzędzi statystycznych dla oceny i analizy danych pomiarowych. W efekcie uzyskuje najprawdopodobniejsze wartości przemieszczeń spełniające wymagania norm geodezyjnych. W zakończeniu dysertacji autor formułuje wytyczne do precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych na podstawie szeroko rozumianych wyników badań doświadczalnych, dotyczących w szczególności zastosowania niwelatorów cyfrowych. Na szczegółowych rysunkach przedstawiono autorską metodykę eliminacji wpływu błędu nachylenia quasihoryzontu na pojedyncze wyznaczenia przewyższenia, eliminację wpływu drgań na przewyższenia za pomocą zastosowania dwóch mimośrodowych stanowisk instrumentu oraz redukcję wpływu kierunkowości rozchodzących się drgań na pomiary przewyższenia. Recenzent pragnie podkreślić, że niewłaściwy wybór stanowiska niwelatora lub łaty w lokalnej strefie oddziaływania drgań podczas kolejnych epok pomiarowych, ma fundamentalne znaczenie w zagadnieniach badań deformacji podłoża gruntowego oraz budowli. Wybór optymalnego stanowiska instrumentu i łaty należy każdorazowo weryfikować w zależności od lokalizacji aktualnie występujących drgań o różnych, a zmieniających się w czasie i przestrzeni parametrach. Wysoce jednorodna tematyka badawcza obejmuje niezwykle ważną poznawczo i aplikacyjnie problematykę identyfikacji, ocenę efektów oraz możliwości eliminacji negatywnego oddziaływania środowiska pomiarowego na wyniki pomiarów niwelacyjnych. W opinii recenzenta, zastosowanie w praktyce geodezyjnej uwag i propozycji płynących z wniosków

końcowych, przyczyni się niewątpliwie do eliminacji zjawiska drgań podłoża gruntowego na pomiary oraz podniesienia dokładności precyzyjnych obserwacji przemieszczeń. Nie mam wątpliwości, że rozprawa zasługuje na wysoką ocenę merytoryczną i edytorską.

6 Uwagi krytyczne do tekstu rozprawy

Pomimo poprawnego układu i struktury pracy można w niej dostrzec nieliczne błędy natury redakcyjnej, np. są to pojedyncze błędy stylistyczne. Nie mają one jednak żadnego wpływu na ogólną pozytywną ocenę rozprawy.

Pytania do doktoranta

6.1 Czy doktorant rozważał możliwość minimalizacji zjawiska drgań instrumentu przez nałożenie na głowicę niwelatora samopoziomującego odpowiednio dobranego ciężarka tłumiącego?

6.2 Czy wzór na wpływ refrakcji pionowej [5.1. – strona 49] jest uniwersalny, zarówno dla pomiarów niwelacyjnych w pomieszczeniach zamkniętych, jak również dla otwartej przestrzeni ośrodka pomiarowego?

6.3 Czy doktorant rozważał wpływ rodzaju materiału z jakiego wykonano statyw na przenoszenie drgań podczas wykonywanych obserwacji instrumentem niwelacyjnym?

7 Wniosek końcowy

Reasumując szczegółowe oceny pracy doktorskiej stwierdzam, że przedmiotowa rozprawa Pana mgr inż. Marka Kurnatowskiego pt.: *Badanie wpływu zmian parametrów drgań niwelatorów precyzyjnych na dokładność pomiaru przemieszczeń pionowych obiektów budowlanych*”, stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego oraz spełnia wszystkie wymogi w rozumieniu art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.).

Przedkładam Wysokiemu Senatowi Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie niniejszą recenzję z wnioskiem o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

Równocześnie proponuję rozważenie wyróżnienia dysertacji.

Wrocław, 21lipiec 2023 r.



Kazimierz Ćmielewski