

Dr hab. inż. Tomasz Lipecki

Kraków, 17 kwietnia 2019 r.

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Kamili Kuzia

pt. „Ocena możliwości wykorzystania laserowego skaningu lotniczego do monitorowania przemieszczeń pionowych terenu na obszarach objętych wpływami eksploatacji górniczej”

1. Podstawy prawne wykonania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo z dnia 12 marca 2018 roku Dziekana Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej – prof. dr. hab. inż. Franciszka Plewy. Na podstawie uchwały Rady Wydziału z dnia 26 lutego 2018 r., powołano mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamili Kuzia, realizowanej pod opieką dr. hab. inż. Violetty Sokoły-Szewioły, prof. P.Śl.

2. Zasadność podjęcia tematu pracy

Deformacje terenu górniczego są efektem szkodliwie wpływającym na infrastrukturę i obiekty poddane wpływom podziemnej eksploatacji górniczej. Od wielu dziesięcioleci próbuje się przewidzieć potencjalny wpływ działalności górniczej, w celu przeciwdziałania skutkom prac eksploatacyjnych. W tym celu stosuje się prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej, realizowane za pomocą różnych podstaw teoretycznych (teoria Knothe'go –Budryka odgrywa w Polsce dominującą rolę). Teorie te oparte są o parametry i relacje wyznaczone w oparciu o wykonywane badania odkształceń powierzchni i górotworu, realizowanych przez badania in situ, m.in. za pomocą pomiarów geodezyjnych.

W teorii K-B parametrami są: współczynnik eksploatacji „a”, opisujący stopień wypełnienia pustki poeksploatacyjnej oraz kąt rozproszenia wpływów głównych „β”. Są one charakterystyczne dla konkretnych warunków geologicznych oraz prowadzonej działalności górniczej w analizowanym obszarze oraz technologii prowadzonej eksploatacji. Od jakości doboru tych parametrów zależy w dużym stopniu poprawność wykonanej prognozy wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię oraz obiekty na niej położone. Wyznaczenie tych parametrów jest więc kluczowe dla predykcji skutków prowadzonej eksploatacji.

Dotychczasowe przyjmowanie wartości α i β dla konkretnego pola górniczego realizowane jest na zasadzie analogii do innych pól położonych w pobliżu (co nie zawsze jest skuteczne) lub w oparciu o niezależne ich wyznaczenie na podstawie wykonywanych pomiarów geodezyjnych, na tzw. liniach obserwacyjnych, przeprowadzonych wzdłuż i poprzek analizowanego pola górniczego. Technologia ta jest obecnie standardowym sposobem dopasowania parametrów teorii K-B do konkretnych warunków górniczo-geologicznych prowadzonej lub projektowanej eksploatacji. Jednak, niezależnie od obliczeń wykonywanych klasycznie lub z wykorzystaniem technik komputerowych, nadal charakteryzują się one dużym stopniem niepewności, generowanym przez nakładanie się ograniczonego rozpoznania geologicznego, wpływu reaktywacji starych zrobów ale również reprezentatywności pomiarów geodezyjnych, realizowanych punktowo w zdefiniowanych liniach obserwacyjnych a rozszerzanych na cały analizowany obszar. Wynika z tego, że powiększenie zakresu zbioru punktów o znanych współrzędnych, w powtarzanych cyklach pomiarowych, jest jak najbardziej wskazane.

Tym samym każdy rodzaj badań, który pozwoli na zwiększenie pewności wyznaczenia parametrów stosowanej teorii K-B wydaje się być uzasadniony i użyteczny. Ten fakt skłonił właśnie Doktorantkę do wykorzystania nowoczesnych metod geodezyjnych (lotniczego skaningu laserowego – ALS) w celu zwiększenia jakości wyznaczenia parametrów teorii a także wyznaczenia przemieszczeń pionowych terenu górniczego. Postawiona przez nią teza: **Metoda ALS rozszerza w sposób istotny możliwości monitoringu przemieszczeń pionowych terenu, a także weryfikacji prognoz obniżenia na obszarach objętych wpływami eksploatacji górniczej jest uzasadniona i oryginalna.**

Celami badawczymi, które przedstawiła Doktorantka dla udowodnienia tej tezy są:

- analizy jakościowe metody ALS w oparciu o analizę wyników pomiarów przemieszczeń pionowych terenu górniczego wykonanych za pomocą metody ALS i analizę wyników pomiarów obniżenia uzyskanych przy zastosowaniu niwelacji precyzyjnej;
- ocena dokładności metody ALS w zakresie pomiaru obniżenia terenu górniczego przez porównanie przemieszczeń pionowych pomierzonych metodą ALS z wartościami obniżenia określonymi metodą niwelacji precyzyjnej.

3. Charakterystyka pracy, dyskusja przyjętej metodyki i uzyskanych wyników.

Praca jest zawarta na 121 stronach i podzielona na 7. rozdziałów nakreślających problematykę podjętą w dysertacji (rozdz. 1 i 2), zagadnienia wykorzystania pomiarów skaningu lotniczego (rozdz.3), charakterystykę rejonów badań (rozdz. 4), przeprowadzone analizy jakościowe

i dokładnościowe zastosowanej metody ALS w rejonach GZW (KWK Centrum i KWK Pniówek)- (rozd.5), podstawy teoretyczne prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię oraz zastosowanie ALS do wyznaczenia parametrów teorii (rozd. 6). Dysertację zakończono podsumowaniem oraz wnioskami przedstawionymi w rozdziale 7. Kolejne zanumerowane (niepotrzebnie) części są spisem rysunków, tabel i literatury. W pracy zawarto 83 rysunki, 17 tabel oraz 70 pozycji literatury i 6 odwołań do źródeł internetowych.

W rozdziale 1 i 2 Autorka przedstawiła i uzasadniła celowość postawionej w rozprawie tezy oraz przedstawiła zakres pracy oraz badania i analizy w niej opisane.

Na około 25 stronach części teoretycznej, obejmującej: opis architektury systemu ALS, przedstawienie metodologii opracowania wyników pomiarów (m.in. numeryczne modele terenu oraz numeryczne modele obniżen terenu), jak również teorie prognozowania wpływów eksploatacji górniczej, szczególnie Knothego-Budryka oraz modyfikacje teorii proponowane przez prof. Białka, wykazano w sposób wystarczający znajomość zagadnień wykorzystywanych w prowadzonych analizach. Autorka bardzo obszernie potraktowała przegląd literatury (także spoza Polski), związany z zagadnieniami wpływów eksploatacji górniczej (ponad 30 pozycji) oraz skaningu laserowego (również ponad 30), jednak czuć niedosyt zaprezentowania aktualnych poglądów innych ośrodków akademickich Polski. Doktorantka wykazała jednak przy tym, że zapoznała się również z aktualną wiedzą światową, związaną z nowoczesnymi trendami badań geodezyjnych, co w bardzo dobry sposób wykorzystała do weryfikacji tezy swojej pracy doktorskiej.

Zaletą pomysłu Autorki jest zwiększenie zastosowanie skaningu laserowego z poziomu lotniczego do wyznaczenia aktualnego na czas pomiaru, wielkopowierzchniowego obrazu powierzchni terenu, na którym, w zasadzie bez potrzeby interpolacji, wyznacza się numeryczny model pokrycia terenu, a po odjęciu w procesie filtracji sygnału wieloodbiciowego – numerycznego modelu powierzchni terenu. Umożliwia to, w procesie porównania cykli pomiarowych, wyznaczenie rzeczywistego stanu zmian wysokości analizowanego obszaru z dokładnością do kilku cm. Dzięki temu możliwe jest poznanie kinematyki rozwoju górniczych niecek obniżeniowych a jednocześnie weryfikowanie lokalizacji ich powstawania.

Kolejną zaletą propozycji prezentowanej w dysertacji jest wykorzystanie masowego zbioru aktualnych danych geoprzestrzennych uzyskanych ze skaningu lotniczego do weryfikacji jak również wyznaczania parametrów teorii Knothego-Budryka, tzn. współczynnika eksploatacji „a” oraz kąta zasięgu wpływów głównych „β”. Proces wyznaczenia tych parametrów został szczegółowo omówiony w części teoretycznej pracy. W rozdziale 6.2.2 następnie zaprezentowano implementację tego rozwiązania z wykorzystaniem oprogramowania do prognozy wpływów eksploatacji górniczej prof. J.Białka. W tym celu przyjęto dwie metody pozyskiwania punktów pomiarowych i ich

wysokości z pomiaru ALS. Pierwszy polegał na odtworzeniu linii pomiarowych, zlokalizowanych centralnie nad prowadzonymi polami eksploatacyjnymi w sposób wirtualny. Drugim sposobem było utworzenie siatek punktów o wymiarach oczek 50 m x 50 m, obejmujących zasięgiem parcele eksploatacyjne, dla których odczytano wysokości punktów „pomiarowych”, reprezentowanych przez pomiary skaningu laserowego. Wykonano analizy i porównania w postaci:

- jakościowej, w oparciu o analizę wyników pomiarów przemieszczeń pionowych terenu górniczego wykonanych za pomocą metody ALS i analizy wyników pomiarów obniżeń uzyskanych przy zastosowaniu klasycznych metod geodezyjnych (niwelacji precyzyjnej);
- oceny dokładności metody ALS w zakresie pomiaru obniżeń terenu górniczego przez porównanie przemieszczeń pionowych pomierzonych metodą ALS z wartościami obniżeń określonymi metodą niwelacji precyzyjnej;
- wyznaczenie parametrów teorii wpływów w oparciu o pomiary przyrostów obniżeń wyznaczonych za pomocą niwelacji precyzyjnej i ALS;
- weryfikacja prognoz obniżeń zastosowanej metody opisu deformacji przez porównanie obniżeń pomierzonych metodą ALS, z wartościami obliczonych obniżeń uzyskanymi przy przyjęciu trzech strategii wyznaczania parametrów teorii wpływów:
 - obniżeniami obliczonymi przy zastosowaniu wartości parametrów przyjmowanych przez kopalnię do prognozowania deformacji terenu górniczego,
 - obniżeniami obliczonymi przy zastosowaniu parametrów wyznaczonych w oparciu o obniżenia pomierzone metodą niwelacji precyzyjnej,
 - obniżeniami obliczonymi przy zastosowaniu parametrów wyznaczonych w oparciu o przemieszczenia pionowe pomierzone metodą ALS.

Na tej podstawie sformułowano wnioski końcowych dotyczące:

- oceny dokładności monitoringu przemieszczeń pionowych terenów górniczych metodą ALS;
- oceny różnic pomiędzy przemieszczeniami pionowymi pomierzonymi metodą ALS, a obniżeniami wyznaczonymi w drodze modelowania numerycznego i wyjaśnienie ich przyczyn.

Zaproponowana metoda wyznaczenia przemieszczeń i weryfikacji parametrów teorii umożliwia zwiększenie obiektywności wykonywanych w ten sposób analiz, z uwagi na zwiększenie pola testowego dla dopasowania parametrów.

W celu weryfikacji postawionej tezy, Doktorantka wykonała szereg wyżej wymienionych analiz. W zależności od obszaru, którym się zajmowała (KWK Centrum, KWK Pniówek) otrzymywała

zgodności bardziej lub mniej zbieżne do wyników pomiarów geodezyjnych. Wykonała przy tym analizy statystyczne, w których stwierdziła, że zgodność ta dla analizowanego obszaru KWK Centrum szacowana jest na około 0,15m z odchyleniem standardowym różnic wysokości na poziomie $\pm 0,1$ m. Wartości średnich różnic są jednak zawyżone, z uwagi na to, że nie wzięto pod uwagę lokalizacji punktu pomiarowego w stosunku do powierzchni gruntu, dla którego wykonywana była analiza ALS. Ponadto ALS ma szeroką wiązkę odbicia lasera, co dla skanowania z np. 8 pkt/m² może dawać zafałszowane wyniki w stosunku do wysokości punktu geodezyjnego oraz gruntu w jego bezpośredniej bliskości. Oznacza to jednak, że rzeczywiste różnice i dokładności są jeszcze bardziej optymistyczne, co tym bardziej było widoczne w obszarze KWK Pniówek. Tam niektóre linie pomiarowe były markowane punktami w asfalcie dróg dojazdowych, co w sposób naturalny umożliwiło łatwiejszą identyfikację tej samej powierzchni do prowadzenia analiz. Średnie dokładności tam uzyskane charakteryzowane są na podobnym, choć dokładniejszym poziomie jak w KWK Centrum, jednak wykazują lepsze zgodności co do profilu wysokości punktów z obydwu metod pomiarów. Szkoda, że Doktorantka nie przedstawiła tych szczegółowych statystyk, opisanych w rozdziale 5.2, w postaci rozkładów na tle mapy. Można by wtedy powiązać dodatkowo rozkład różnic z lokalizacją w stosunku do profilu niecki.

W rozdziale 6 zaprezentowano możliwości wykorzystania ALS do wyznaczenia parametrów teorii Knothege-Budryka. Uzyskane wartości $tg\beta$ są różne w stosunku do pomiarów geodezyjnych (KWK Centrum), co może być związane z przyjęciem współczynnika eksploatacji „a” w sposób arbitralny, równy 1. Prawdopodobnie wynikało to z próby zmniejszenia wpływu reaktywacji wpływu starych zrobów i eksploatacji sąsiednich na wartość obniżenia maksymalnego, który w metodzie porównawczej (pomiar geodezyjny) generował wartość $a=(1,06 \text{ do } 1,36)$ – Tab.15. Sądzę, że należało w tej analizie nie ograniczać sztucznie tej wartości, co pozwoliłoby stwierdzić rzeczywistą jakość wpasowania danych ALS w algorytm wyznaczający parametry teorii. W podobny sposób dokonano wyznaczenia parametrów teorii dla obszaru KWK Pniówek, jednak nie dało się tam dokonać porównania z parametrami wyznaczonymi z pomiarów geodezyjnych, co Doktorantka uzasadniła w sposób racjonalny jako obarczone zbyt dużymi błędami, i z uwagą na lokalizację linii w stosunku do krawędzi parcel eksploatacyjnych. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych analiz (Tab.17) dla poszczególnych partii pokładów są ze sobą zbieżne dla obydwu przyjętych metod (linie pomiarowe i siatki punktów), ze średnią wartością rozrzutu wyznaczonego parametru „a” równym $\pm 0,1$. Nie ma podobnej zbieżności dla parametru „ $tg\beta$ ”, którego rozrzuty dla tych samych partii złoża osiągają wartości od (0,25 do 1,4). Doktorantka zauważa słusznie, że wpływ na te rozbieżności może mieć dobór wielkości siatki punktów, które mogą uzyskiwać wpływy od sąsiadujących partii złoża. Ostatecznie przyjęła do weryfikacji z prognozą tylko wybrane parametry, charakteryzujące się

najwyższymi wskaźnikami korelacji. Porównanie prognozy opartej o parametry teorii z ALS ze standardowymi prognozami kopalń wskazują na rozbieżności, co jednak przemawia za indywidualnym przyjmowaniem parametrów dla poszczególnych partii złoża. Potwierdza to porównanie z parametrami uzyskanymi na podstawie pomiarów geodezyjnych, gdzie profile niecek oraz izokatabazy wskazują na większą zgodność prognostyczną. Ostateczną weryfikację uzyskano z porównania prognoz opartych o ALS z nieckami rzeczywistymi z niwelacji precyzyjnej oraz z pomiaru ALS. Widoczne rozbieżności można wytłumaczyć kształtowaniem się rzeczywistej niecki dynamicznej w stosunku do wyznaczonej w prognozie niecki ostatecznej, w stanie ustalonym. Tym samym widoczne jest, że w prowadzonych analizach dobrze byłoby uwzględnić współczynnik czasu, który pozwoliłby na lepsze dopasowanie konkretnych stanów prognozowanych niecek do stanu uchwyconego pomiarami geodezyjnymi (niwelacji i ALS), jak również asymetrię niecek z uwagi na pochylenie pokładów. Niemniej jednak wnioski wysnute przez Doktorantkę wskazują na przyczyny stwierdzonych rozbieżności a także pozwalają na przygotowanie sugestii co do właściwego toku postępowania przy prowadzonych analizach z wykorzystaniem ALS.

Niektóre stwierdzenia Autorki są jednak dyskusyjne, choćby na stronie 102, gdzie pisze ona, że *„wyznaczono poprawne parametry z pomiarów ALS gdyż obniżenia prognozowane praktycznie pokrywają się z obniżeniami zaobserwowanymi. Sytuacja taka występuje nad każdą partią i niezależnie od tego czy przyjęto parametry wyznaczone na podstawie linii obserwacyjnych czy też siatce punktów.”*

Parametry nie są wyznaczone tak samo, o czym wspomniano powyżej, z tego też względu jakość dopasowania wskazuje raczej na to, że mimo rozbieżności w wyznaczeniu parametrów uzyskano wysoką zgodność wyników i prognoz opartych o ALS. Uważam, że jest to doskonałe pole badawcze do rozwinięcia w dalszej pracy naukowej Doktorantki. Niemniej jednak uważam, że przeprowadzona rozległa i wielowątkowa analiza w tym rozdziale ma charakter badawczy i świadczy o właściwym przygotowaniu Doktorantki do pracy naukowej.

Rozdział 7 jest poświęcony podsumowaniu wyników badań oraz przedstawieniu wniosków. Należy podkreślić, że Doktorantka przedstawiając wszelkie analizy udowodniła przydatność ALS w ocenie możliwości wykorzystania do monitorowania przemieszczeń pionowych terenu górniczego oraz wykazała, że można (przy dodatkowych założeniach) wykorzystać dane LIDAR do wyznaczenia parametrów teorii Knothego-Budryka oraz obliczeń prognostycznych wpływów eksploatacji górniczej.

Praca napisana jest w sposób przejrzysty, z odpowiednim podziałem na część teoretyczną i badawczą. Odczuwa się niedosyt połączenia prezentowanych informacji graficznych z tłem map sytuacyjnych, jednak nie ma to istotnego wpływu na czytelność dysertacji. W pracy zdarzają się tylko nieliczne błędy edytorskie, nie obniżające jakości dysertacji.

4. Pytania

1. W jaki sposób można wytłumaczyć skok parametru „tgβ” w obszarze KWK Pniówek z uwagi na występowanie grubego nadkładu ilów? Gdzie jest on widoczny w przeprowadzonych analizach?
2. W jaki sposób współczynnik czasu wpływa na prognozowanie kształtu niecki obniżeniowej? W jaki sposób możemy go wyznaczyć?

5. Wnioski końcowe

Podsumowując wykonany powyżej opis pracy doktorskiej mgr inż. Kamili Kuzia pt. „Ocena możliwości wykorzystania laserowego skaningu lotniczego do monitorowania przemieszczeń pionowych terenu na obszarach objętych wpływami eksploatacji górniczej” stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z art.13 pkt.3 ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz 595 z późn. zm. i Dz.U. z dnia 28 kwietnia 2017, poz 859). Autorka przedstawiła w dysertacji oryginalne rozwiązanie autorskie związane z wykorzystaniem pomiarów lotniczego skaningu laserowego (ALS) do oceny przemieszczeń pionowych oraz wykorzystania ALS do prognozowania deformacji powierzchni na terenach górniczych. Rozprawa doktorska wykazała również ogólną wiedzę Doktorantki w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska. Mgr inż. Kamila Kuzia dowiodła również umiejętności samodzielnego wykonywania prac naukowych od momentu ich projektowania aż po przetworzenie i opracowanie danych. Z tego względu wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Kamili Kuzia do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

← Tomasz Lipiecki