

Dr hab. inż. Mirosław Wierzbicki, prof. IMG PAN  
Instytut Mechaniki Górotworu  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków  
wierzbicki@img-pan.krakow.pl

Kraków, 7 stycznia 2016r.

**Recenzja dysertacji doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Oleszko**  
p.t.: *„Odwzorowanie obiektów w przestrzeni trójwymiarowej przy wykorzystaniu metod analizy i przetwarzania obrazów cyfrowych do zastosowań geologiczno-górnictwa”*

**1. Podstawa wykonania recenzji**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa pt. *„Odwzorowanie obiektów w przestrzeni trójwymiarowej przy wykorzystaniu metod analizy i przetwarzania obrazów cyfrowych do zastosowań geologiczno-górnictwa”*. Autorem jest mgr inż. Krzysztof Oleszko ubiegający się o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych przez Radę Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Promotorem przedstawionej pracy jest dr hab. inż. Mariusz Młynarczuk, profesor AGH. Podstawą wykonania niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie nr WGGiOŚ/779/2015 z dnia 4.12.2015r.

**2. Wstęp**

Treść pracy doktorskiej magistra Krzysztofa Oleszko jest zgodna z jej tytułem i obejmuje analizę zagadnień związanych z zastosowaniem nowoczesnych urządzeń pomiarowych oraz narzędzi informatycznych jakimi są metody analizy i przetwarzania obrazu w przestrzeni trójwymiarowej w zastosowaniach inżynierskich, a w szczególności w geologii i górnictwie. Oceniana praca dotyczy istotnego, jakościowego rozszerzenia wspomnianych metod – analizy obrazu w przestrzeni trójwymiarowej. Badania takie (w przestrzeni trójwymiarowej) są coraz częściej opisywane w literaturze światowej, lecz jedynie sporadycznie dotyczą zastosowań geologicznych i górniczych. Górnictwo polskie boryka się z wieloma problemami, a jednymi z głównych, wpływających silnie na ekonomikę, są występujące zagrożenia

naturalne. Zagrożenia te, jak np. zagrożenie temperaturowe, tapaniami czy wyrzutami gazów i skał, wzrastają ze wzrostem głębokości prowadzenia robót górniczych. Wzrost poziomu zagrożenia dla załóg górniczych oraz konieczność zapewnienia bezpiecznych warunków pracy winna skutkować ograniczeniem liczby pracowników zatrudnionych w najbardziej zagrożonych rejonach oraz przy najbardziej niebezpiecznych pracach takich jak urabianie calizny, zabudowa wyrobisk czy rabowanie obudowy. Czynności takie powinny w przyszłości wykonywać maszyny w sposób automatyczny. Jednym z podstawowych wymagań dla takich urządzeń jest rozpoznawanie otoczenia. Próby takie są już podejmowane czego przykładem jest zdalnie sterowany kombajn chodnikowy, którego próba wdrożenia miała miejsce w zagrożonym wyrzutami metanu i skał chodniku D-8 kopalni „Zofiówka”. Projekt ten został jednak odłożony z uwagi na trudności w pozycjonowaniu kombajnu w wyrobisku, co ma oczywisty związek z zagadnieniami odwzorowania przestrzeni 3D. Uważam, że tematyka pracy jest potrzebna, przyszłościowa i ma znaczenie utylitarne nie tylko w zagadnieniach geologiczno-górniczych.

### **3. Zawartość i układ pracy**

Praca doktorska zapisana została na 141 ponumerowanych stronach, zawiera 68 rysunków, 25 tabel i 78 pozycji cytowanej literatury. Spis treści znajduje się na początku rozprawy a spisy tabel oraz rysunków znajdziemy na końcu pracy.

Całość podzielona jest na wstęp oraz pięć rozdziałów z czego rozdział piąty to podsumowanie.

W czterostronicowym wstępie Doktorant porusza tematykę zastosowania obrazowania trójwymiarowego i jego wyższości nad analizą obrazów w przestrzeni dwuwymiarowej. Autor przedstawia również następujące tezy pracy:

- *Metody przetwarzania i analizy obrazu są pomocne w trójwymiarowym odwzorowaniu powierzchni ścian skalnych, co może być istotne w procesie rozwoju metod mających na celu pełną automatyzację robót górniczych.*

- Wykorzystywane obecnie metody opisu parametrów geometrycznych ziarn oparte na analizie średnic zastępczych, bywają mało dokładne i niewystarczające. Mogą one zostać zastąpione poprzez nowoczesne metody komputerowej analizy i przetwarzania obrazu, które pozwalają na pełne odwzorowanie i pomiar parametrów geometrycznych ziarn w przestrzeni trójwymiarowej.

- Pozytywne rezultaty osiągnięte w trójwymiarowym automatycznym odwzorowaniu materiałów i obiektów skalnych oraz analizie ich parametrów geometrycznych przyczynią się do rozwoju trójwymiarowych metod morfologii matematycznej i analizy obrazu. Rozszerzą również zakres ich stosowania w zagadnieniach związanych z górnictwem i geologią.

Rozdział pierwszy zawiera teoretyczny opis metod zastosowanych w badaniach przedstawionych w kolejnych rozdziałach, a w szczególności takich zagadnień jak binaryzacja, podstawowe przekształcenia morfologiczne oraz podstawowe przekształcenia obrazu. Podrozdział 1.2. dotyczy zagadnień związanych z obrazami trójwymiarowymi. Całość opatrzona jest czytelnymi rysunkami poglądowymi oraz powołaniami na odpowiednio dobrane pozycje literaturowe. Podrozdział 1.3 dotyczy akwizycji danych cyfrowych.

Zasadnicza treść rozprawy, prezentująca autorskie osiągnięcia Doktoranta, zawarta jest w trzech kolejnych rozdziałach.

Rozdział drugi dotyczy pomiarów geometrii ziarn przy użyciu różnych metod oraz urządzeń pomiarowych: profilometru optycznego, mikroskopu konfokalnego oraz mikrotomografu komputerowego. Uzyskane dane przetwarzane oraz analizowane były metodami przetwarzania i analizy obrazów. Rozdział ten jest najobszerniejszy bo zawarty na 78 stronach maszynopisu.

Rozdział trzeci skupia się na zagadnieniach związanych z obrazowaniem i analizą danych trójwymiarowych w skali makro na przykładzie pomiarów ukształtowania ścian skalnych. Opisano w nim metody akwizycji danych pozwalających obrazować powierzchnię ścian skalnych w przestrzeni trójwymiarowej oraz sposób przetwarzania i analizy otrzymanych wyników. Zaprezentowano również praktyczne zastosowanie zaproponowanej metodyki do odwzorowania czoła przodka w warunkach kopalnianych. Przedstawiono

także modyfikację proponowanej metody, wykorzystaną do pomiaru urobku na przenośnikach taśmowych.

W rozdziale czwartym skupiono się na zagadnieniach związanych z obliczeniami równoległymi oraz skracaniem czasu wykonania algorytmów przetwarzania danych w przestrzeni trójwymiarowej. Wybrane procedury zostały dostosowane do wykonania w środowisku równoległym, a następnie przetestowane. Podczas testów mierzono czasy ich wykonania, które następnie porównano i poddano analizie.

Rozdział piąty to krótkie, czterostronicowe podsumowanie wyników.

#### **4. Opinia dotycząca pracy**

Od lat 90-tych ubiegłego wieku zauważyć można znaczny rozwój klasycznych, dwuwymiarowych metod analizy obrazu w badaniach dotyczących zagadnień geologiczno-górnich. Praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Oleszko dotyczy aplikacji tych metod w przestrzeni trójwymiarowej. W tym zakresie znajdujemy w literaturze światowej coraz więcej pozycji, lecz jedynie sporadycznie dotyczą one zastosowań geologicznych i górniczych. Uważam, że do najistotniejszych osiągnięć doktoranta zaliczyć należy udaną próbę wykorzystania metod przetwarzania obrazów, morfologii matematycznej i analizy obrazu do trójwymiarowego odwzorowania i trójwymiarowej analizy obiektów geologicznych. Wykorzystanie takie pozwoliło doktorantowi na odwzorowanie w przestrzeni 3D ścian skalnych, co może znaleźć zastosowanie w kontroli procesów eksploatacji górotworu, także w kopalniach podziemnych.

Ważnym wynikiem pracy doktoranta jest też zaproponowanie metodyki odwzorowania w przestrzeni trójwymiarowej ziarn skalnych, w tym zaproponowanie algorytmu trójwymiarowej rekonstrukcji ich fragmentów bazującego na metodach przekształcania obrazu.

Ciągły rozwój sprzętu komputerowego oraz metod informatycznych w połączeniu z rozwojem metod trójwymiarowej akwizycji obrazów, zapewne doprowadzi z czasem do sytuacji, w której analiza trójwymiarowych zobrazowań struktur geologicznych stanie się równie powszechna jak w obecnym czasie analiza klasycznych obrazów 2D. Badania opisane

w ocenianej pracy są istotnym i ciekawym przyczynkiem do rozwoju metod automatycznej analizy obrazu w takim właśnie kierunku.

Zauważyć należy, że wyniki częściowe prac opisanych w desertacji publikowane były w czasopismach recenzowanych, a najważniejsza praca ukazała się w prestiżowym czasopiśmie Engineering Geology znajdującym się na liście Journal Citation Reports (IF=1.744). Doktorant jest głównym autorem tej publikacji.

## **5. Uwagi i pytania dotyczące dysertacji**

Uważam, że strona 1. jest najslabszą w całej pracy. Zawiera ona ogólniki jak np. „klasyczne metody pomiarowe” czy „nowoczesne metody pomiarowe” nie definiując jakie metody autor ma na myśli a wnioski, które wyciąga są dosyć dyskusyjne, jak np.: *„Oczywistym jest, że nowoczesne metody pomiarowe nie zawsze są tanie i łatwe w użyciu. Nie może więc zbyt dziwić fakt, że rozwój w tym kierunku nie zawsze jest zadowalający.”* Związek przyczynowo-skutkowy tych dwóch stwierdzeń nie jest dla mnie przekonujący.

Na szczęście, zarówno dla Autora jaki i Czytelników, pozostała część pracy jest zdecydowanie lepsza

Moje uwagi i zastrzeżenia są następujące:

- ✓ Brakuje mi streszczeń w języku polskim i angielskim.
- ✓ Proszę Doktoranta o wyjaśnienie jaka jest różnica pomiędzy obrazowaniem a akwizycją, gdyż w pracy nie zdefiniowano tych pojęć.
- ✓ Objętość rzeczywistą ziarn (str. 49) mierzono za pomocą piknometru celem porównania wyniku z tym, jaki został uzyskany metodami cyfrowymi. Brakuje mi informacji na temat szczegółów zastosowanej metody oraz niepewności pomiarowej urządzenia (piknometru). Wynik pomiaru wielkości fizycznej bez podania wartości niepewności czyli parametru charakteryzującego rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej, nie jest pełnym wynikiem. W takiej sytuacji nie możemy ocenić, czy przy zastosowaniu różnych metod uzyskujemy zbieżne czy różne wyniki.

- ✓ Zdaję sobie sprawę, że pomiary opisane w rozdziale drugim są pomiarami wstępnymi ale badania oparte na trzech ziarnach to niewiele, nawet jeśli weźmiemy pod uwagę, że każde ziarno było skanowane kilka razy.
- ✓ Na stronie 77 Autor opisuje wyznaczanie długości boków prostopadłościanów dających objętość identyczną z objętością danego ziarna. Autor pisze: *„...wyznaczono zestaw wszystkich możliwych (w pewnym zakresie) kombinacji długości, szerokości oraz wysokości prostopadłościanów dających objętość identyczną z objętością danego ziarna.”* Takich kombinacji wymiarów jest nieskończona ilość. Co oznacza w tej sytuacji zwrot *„wszystkich możliwych (w pewnym zakresie)”*?
- ✓ Autor stwierdza, że prostopadłościan lepiej dopasowuje się swym kształtem do analizowanych ziarn...w porównaniu z kulą. Bez prowadzenia pomiarów można wysnuć wniosek, że wielościan o liczbie ścianek większej od sześciu jeszcze lepiej dopasuje się kształtem do brył rzeczywistych a przy zmierzaniu liczbą ścianek do nieskończoności, kształt wielościanu będzie zmierzał do kształtu rzeczywistego. Biorąc pod uwagę, że kula opisana jest jednym wymiarem a prostopadłościan trzema, wniosek jakościowy Autora wydaje się być dosyć oczywisty. Wydaje się, że bardziej interesujące byłyby wnioski ilościowe, pokazujące różnice w dopasowaniach poszczególnymi metodami, lecz niestety, w dysertacji jest tylko jeden przykład.

Inne drobne uwagi i pytania przedstawiam poniżej.

- ✓ Strona 30 akapit drugi: Autor powołuje pracę Pirarda (2012) dla przybliżenia czytelnikowi *„metod i urządzeń trójwymiarowych odwzorowań”*. Nie dowiadujemy się jednak jakie konkretnie metody i narzędzia opisuje Pirard a znajdziemy wyłącznie informacje dotyczące mniej ważnych aspektów jak koszty i trudności związane z pełnym odwzorowaniem trójwymiarowym obiektów.
- ✓ Co to jest *„płaska linia laserowa”*? – takie określenie pada na str. 104.
- ✓ Wszystkie pozycje zestawione w spisie literatury zostały zacytowane prawidłowo w treści rozprawy. W pracy znalazłem również cytowania prac: *Lambert, J. H., 1760* oraz *Bouguer, P., 1729*. Cytowanie pracy w moim rozumieniu wynika ze wcześniejszego się z nią zapoznania przez Autora. W związku z tym mam pytanie: Czy Doktorant zna łacinę, język francuski?

Na zakończenie zamieszczam kilka drobniejszych uwag typu korektorskiego:

- ✓ W całym tekście nie usunięto tzw. „sierot”.
- ✓ Str. 44: Jest: „*Oslabianie wiązki podczas przejścia* materiał opisywane”..-brakuje słowa „przez”.
- ✓ Nazwy kopalń powinny być w cudzysłowie np.: „*Budryk*”, a bywa zapisane różnie.
- ✓ Str. 31: Jest: „*W pracy Niederöst et al. (Niederöst, et al., 2003)*”, winno być: *W pracy Niederöst et al. (2003)*.
- ✓ Str. 36: Jest: „*10 x 10 $\mu$ m*” a powinno być *10 $\mu$ m x 10 $\mu$ m*.
- ✓ Str. 74: Jest: „*Skibay*”, winno być *Skiby*.
- ✓ Str. 107: Jest „*litów*”, winno być *litrów*.

Mimo przedstawionych wyżej ważnych czy drobnych uwag uważam, że przedstawiona mi do recenzji dysertacja jest dobrze zredagowana, napisana poprawną polszczyzną i z bardzo nielicznymi błędami. Na słowa uznania zasługuje również dobre wrażenie estetyczne pracy oraz czytelne i dobrze opisane rysunki i tablice. Najważniejsze jest jednak, że praca, moim zdaniem, jest pracą wartościową z punktu widzenia naukowego.

## 6. Wnioski końcowe

Po analizie przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Krzysztofa Oleszko stwierdzam, że jej tematyka mieści się w obszarze dyscypliny naukowej: Górnictwo i Geologia Inżynierska w jakiej stopień doktora nadaje Rada Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. Dysertacja ta stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz umiejętność prowadzenia pracy naukowej. W związku z powyższym **stwierdzam, że opiniowana rozprawa odpowiada wymogom stawianym w Ustawie z dn. 14.03.2003r., o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65, poz. 595) i składam wniosek do Rady Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Oleszko do jej publicznej obrony.**

Kraków, 7.01.2016. 