

## Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Michała Gierlotki

### 1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Wpływ uskoku Kłodnickiego na wartości szczytowe przyspieszenia i prędkości drgań gruntu na powierzchni terenu”. Autorem rozprawy jest mgr Michał Gierlotka, który ubiega się o nadanie jemu stopnia naukowego doktora nauk technicznych przez Radę Naukową Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach. Promotorem przedstawionej pracy jest dr hab. inż. Adam Lurka, prof. GIG.

### 2. Wstęp

Istotnym zagrożeniem naturalnym towarzyszącym eksploatacji kopalin użytecznych w kopalniach podziemnych są liczne zjawiska dynamiczne, obserwowane jako wstrząsy sejsmiczne, z których część generuje skutki w postaci odprężeń lub tąpnięć. Liczby zjawisk ze skutkami nie udało się jak dotąd radykalnie ograniczyć przede wszystkim ze względu na ciągle niedostateczną wiedzę o naturze zjawiska a także ze względu na ograniczone możliwości urządzeń komputerowych w operowaniu dużymi modelami obliczeniowymi górotworu. Dlatego też podstawowym elementem każdej analizy pracy górotworu, naruszonego eksploatacją górniczą, jest określenie na wstępie minimalnego zakresu danych jakie bezwzględnie muszą zostać wprowadzone do modelu, tak by stanowił on obiekt reprezentatywny dla zjawisk rzeczywistych a wyniki obliczeń były zgodne, w zakresie wymaganej dokładności, z danymi pomiarowymi.

Ogólnie można przyjąć, że istnieją dwie podstawowe grupy mierzalnych czynników wpływających na deformacje oraz na stan naprężeń w górotworze będącym otoczeniem eksploatowanego złoża:

- a) parametry eksploatacji górniczej związane z geometrią wyrobisk, pól eksploatacyjnych i ich wzajemnych odniesień oraz technologią likwidacji przestrzeni wybranej itp.
- b) własności masywu skalnego, związane z przestrzenną konfiguracją poszczególnych pakietów skalnych, ich miąższością, wytrzymałością, odkształcalnością, charakterystyką spękań, głębokością eksploatacji i rodzajem oraz gęstością zuskokowania, i in.

Czynniki grupy (b) stanowią naturalne środowisko górnicze, a ich obecność i charakterystyka ma charakter obiektywny i niesterowalny. Ich wpływ na stopień zagrożenia sejsmicznego może mieć też różne natężenie, gdyż jest ono ściśle związane z konkretnym projektem eksploatacji definiującym parametry grupy (a).

Elementem wiążącym formalnie wymienione wyżej grupy parametrów jest właściwy model fizyczny, którego budowa i rodzaj (np. ośrodek ciągły, dyskretny, układy płytowo-belkowe i prętowe, rodzaje połączeń i kontaktów, itp.) determinuje mniej lub bardziej złożony model obliczeniowy wykorzystujący z kolei odpowiedni, o różnym stopniu skomplikowania, aparat matematyczny. Jednym z najważniejszych parametrów modeli dynamicznych górotworu jest prędkość transmisji skutków zakłócenia równowagi w zakresie naprężeń/odkształceń oraz wartości ich amplitud zależnych w oczywisty sposób od odległości od punktu referencyjnego oraz od własności odkształceniowych i tłumiących zaangażowanych materiałów.

Z jednej strony, jak wynika z praktyki Recenzenta, modelowane numerycznie zakłócenia w postaci odstrzelonego przodka w kopalni miedzi propaguje w sprężystym górotworze z prędkością od 4500 m/s do 6500 m/s, zależnie od azymutu kierunku ruchu względem istniejących wyrobisk oraz od istniejących warunków geologicznych. Z drugiej strony skuteczność propagacji reprezentowana przez stopień zanikania (tłumienia) energii fali sprężystej jest uzależniona od obecności na drodze jej przejścia wielkowymiarowych nieciągłości w postaci uskoków/szczelin oraz inkluzji brekcyjnych, gdzie fala może zostać przynajmniej częściowo odbita i/lub załamana. Zjawisko tego rodzaju związane jest oczywiście z jednoczesnym znaczącym spadkiem energii, któremu z kolei towarzyszy istotna redukcja amplitudy przyspieszeń i prędkości drgań po przejściu przez skrzydła uskoku. Precyzyjna kwantyfikacja stopnia tej redukcji jest wyjątkowo trudna ze względu na istniejące faktycznie niejednorodności górotworu, nieznaną najczęściej parametry odkształceniowe wypełnienia szczelin pomiędzy powierzchniami uskoków, a także ze względu na konieczność przeprowadzenia w tym celu długotrwałych i pracochłonnych obliczeń angażujące skomplikowane modele numeryczne. Wyniki takiego modelowania powinny być obligatoryjnie porównane z pomiarami sejsmicznymi prowadzonymi po obu stronach uskoku.

Z powyższych rozważań wynika, że np. wnioskowanie o współrzędnych ogniska danego wstrząsu indukowanego bezpośrednio na podstawie sejsmogramów uzyskanych ze stacji sejsmicznych zlokalizowanych po obu stronach uskoku może skutkować błędami, których wartości trudno jest nawet oszacować, wobec braku poszerzonych badań w tym temacie. Taka sytuacja z kolei wpłynąć może na wiarygodność prognoz sejsmicznych i częściowej dewaluacji lokalnej profilaktyki tąpaniowej. Należy więc uznać, że Doktorant podejmując pionierskie badania nad wpływem uskoku Kłodnickiego na szczytowe wartości przyspieszenia i prędkości drgań gruntu na powierzchni terenu, wpisuje się w wyżej zasygnalizowane zapotrzebowanie górnictwa podziemnego. Doktorant zajął się zatem systematyczną analizą dostępnych rejestracji indukowanych wstrząsów sejsmicznym, zaistniałych w latach 2006-2017 w otoczeniu kopalni Śląsk w Rudzie Śląskiej, aby wykorzystując metody regresji liniowej oraz wnioskowania statystycznego, wykazać, że obecność uskoku Kłodnickiego ma wpływ na

estymowane szczytowe wartości prędkości i przyspieszenia drgań. W omawianej rozprawie doktorskiej Doktorant postanowił więc udowodnić słuszność postawionej przez siebie tezy, że: *regresyjny model relacji tłumienia drgań uwzględniający przejście fali sejsmicznej przez uskoku różni się istotnie statystycznie od regresyjnego modelu, który nie uwzględnia tego czynnika*”.

Estymacja parametrów relacji tłumienia została dokonana na trzech zbiorach danych sejsmometrycznych:

1. Pierwszy zbiór obejmujący dane sejsmometryczne generowane przez wstrząsy górnicze zaistniałe na skrzydle wiszącym uskoku, rejestrowane na stanowiskach powierzchniowych zlokalizowanych na powierzchni skrzydła zrzuconego.
2. Drugi zbiór obejmujący dane sejsmometryczne wstrząsów zaistniałych i zarejestrowanych na tych samych skrzydłach uskoku, wiszącym lub zrzuconym.
3. Trzeci zbiór obejmujący dwa powyższe zbiory.

Wyznaczone współczynniki relacji tłumienia dla zbiorów 1 i 2 zostały zweryfikowane statystycznym testem Chow'a wykazującym czy różnią się one między sobą w sposób statystycznie istotny.

### **3. Układ rozprawy doktorskiej**

Rozprawa została podzielona na 7 rozdziałów z licznymi podrozdziałami, została też zaopatrzona w spis literatury obejmujący 58 pozycji. Zawartość poszczególnych rozdziałów przedstawia się następująco:

**Rozdział 1 (Wstęp)** zwięźle przedstawia obecną sytuację w zakresie zagrożenia sejsmicznego w kopalniach GZW, a także typy zjawisk sejsmicznych w strefie uskoku Kłodnickiego w aspekcie zasięgu ich odczuwania oraz ich energii. Dzięki temu, że kopalniane stacje sejsmiczne zarządzające rozległymi sieciami pomiarowymi i realizujące monitoring sejsmiczny dostarczają odpowiednią ilość danych sejsmicznych dla opracowywania empirycznych zależności nazywanych relacjami tłumienia drgań, możliwe jest przez to wykonywanie prognoz wpływu drgań na budowle i środowisko powierzchniowe. Autor następnie wyjaśnia co konkretnie oznacza relacja tłumienia, od czego zależy jej postać matematyczna i jaki jest obecny stan wiedzy w tym zakresie. Wskazuje przy tym na uskoki o dużych zrzutach, których obecność w pobliżu rejonów gdzie prowadzona jest eksploatacja, może być jednym z parametrów, którego wpływ nie został dotychczas w równaniach relacji tłumienia dostatecznie zbadany. Dlatego też oceniana rozprawa ma na celu realizację takich badań, których wyniki pozwolą poprawić wiarygodność prognoz poprzez uwzględnienie w modelu relacji tłumienia drgań wpływu przejścia fal sejsmicznych przez uskoku lub ich strefy.

**Rozdział 2 (Cel i teza pracy)** prezentuje cel pracy, którym jest wykorzystanie metod analizy regresji wielokrotnej oraz metod wnioskowania statystycznego do wykazania, że obecność uskoku

Kłodnickiego miała wpływ na estymowane wartości szczytowe prędkości i przyspieszenia drgań. Realizacja tego celu pozwoliła potwierdzić tezę pracy, wg której, regresyjny model relacji tłumienia drgań uwzględniający przejście fali sejsmicznej przez uskok różni się statystycznie istotnie od regresyjnego modelu, który nie uwzględnia tego czynnika.

**Rozdział 3** (Przeгляд wybranych regresyjnych modeli tłumienia drgań sejsmicznych) przedstawia rys historyczny rozwoju regresyjnych modeli relacji tłumienia drgań sejsmicznych służących do estymacji ich szczytowych amplitud prędkości lub przyspieszenia. Większość z tych modeli jest liniowa, a parametr R (odległość od ogniska) oraz M (magnituda) lub E (energia) pojawiają się niemal we wszystkich badanych zależnościach. Rzadziej mamy do czynienia z parametrem gruntu lub odległością do skał podłoża (geologia) oraz z poprawką uwzględniającą amplifikację drgań na powierzchni terenu. Można też w dwóch cytowanych modelach regresyjnych zidentyfikować parametr F (Campbell, 1990) o wartości 0 lub 1 w zależności od rodzaju uskoku (uskok przesuwczy lub odwrócony) oraz parametry  $F_N$ ,  $F_O$ ,  $F_T$  Ambraseys i in., 2005) definiujące typ mechanizmu ogniska (uskok normalny, odwrócony i przesuwczy). Ponieważ wspomniane odniesienia do obecności uskoków dotyczą ognisk wstrząsów, Autor rozprawy słusznie dochodzi do wniosku, że „z przytoczonych wyżej prac wynika, że jednym z elementów, którego dotychczas nie badano w relacjach tłumienia drgań sejsmicznych dla wstrząsów górniczych jest wpływ przejścia fal sejsmicznych przez uskoki”.

**Rozdział 4** (Charakterystyka materiału badawczego) informuje na jakim obszarze górniczym oraz za pomocą jakie aparatury prowadzono rejestracje wstrząsów, których dane sejsmiczne wykorzystano w niniejszej rozprawie dla celów weryfikacji postawionej tezy badawczej. Podano także podstawowe informacje dotyczące sieci stanowisk sejsmologicznych, tj. ich współrzędne czas rejestracji oraz liczbę zarejestrowanych wstrząsów, ogółem 1277 w okresie 2006-2017. Ponadto zaprezentowano podstawowe statystyki energii zarejestrowanych wstrząsów, wartości szczytowych składowych poziomych prędkości i przyspieszenia drgań gruntu na powierzchni a także odległości epicentralnych. Doktorant zwięźle opisał także stratyografię i litologię badanego obszaru, a także jego tektonikę ze szczególnym uwzględnieniem uskoku Kłodnickiego.

**Rozdział 5** (Podstawy teoretyczne estymacji parametrów drgań gruntu) omawia na wstępie charakterystykę podstawowych parametrów określających intensywność drgań sejsmicznych na powierzchni terenu, a w szczególności szczytowe wartości wektorów prędkości i przyspieszeń drgań poziomych. Następnie Autor omawia teoretyczne podstawy estymacji szczytowych amplitud prędkości i przyspieszenia drgań wykorzystując metodę regresji wielokrotnej, a także wskazuje na możliwość pojawiania się błędów w ocenie wartości tych parametrów, po czym przedstawia problem wpływu amplifikacji na wielkość amplitud drgań oraz sposoby oceny przedziałów ufności dotyczących wartości tych parametrów.

**Rozdział 6** (Wykorzystanie metod statystycznych do oceny wpływu uskoku Kłodnickiego na estymowane szczytowe amplitudy prędkości i przyspieszenia drgań sejsmicznych) opisuje szczegółowo zaproponowaną metodykę pozwalającą stwierdzić czy istnieje, a jeśli tak, to jaki jest wpływ przejścia fali sejsmicznej przez strefę uskoku Kłodnickiego na relację tłumienia drgań. Autor zaproponował w tym celu następujące po sobie etapy analizy:

- Usunięcie efektu amplifikacji drgań zaszytych w danych pomiarowych.
- Podział zmodyfikowanych danych pomiarowych na 3 grupy: obserwacji z przejściem fali sejsmicznej przez uskoku (zbiór 1), obserwacji bez przejścia przez uskoku (zbiór 2), oraz łącznie wszystkich obserwacji (zbiór 3).
- Dla powyższych zbiorów skonstruowano sześć nowych relacji tłumienia drgań bez efektu amplifikacji.

Na koniec związku wartości współczynników relacji tłumienia drgań dla grupy 1 i grupy 2 zweryfikowano testem statystycznym Chow'a, na podstawie którego Autor wywnioskował, że relacje tłumienia drgań odpowiednio dla przyspieszeń i prędkości są w sposób istotny różne od siebie, co wskazuje na istotny wpływ obecności uskoku Kłodnickiego na rejestrowane i estymowane szczytowe amplitudy przyspieszeń i prędkości drgań.

**Rozdział 7** (Podsumowanie) stanowi zwięzłe podsumowanie wyników wykonanych badań z jednoczesnym wypukleniem istotnych osiągnięć Doktoranta w tym zakresie.

#### **4. Uwagi do pracy**

Po przeczytaniu przedstawionej rozprawy doktorskiej mgr Gierlotki pt. " Wpływ uskoku Kłodnickiego na wartości szczytowe przyspieszenia i prędkości drgań gruntu na powierzchni terenu" Recenzent stwierdza, że mieści ona w sobie interesujące podejście analityczne do bardzo ciekawego problemu wpływu przejścia fali sejsmicznej przez strefę uskoku na jej szczytowe prędkości i przyspieszenia. Doktorant wykorzystując właściwą metodykę i sposób rozwiązania problemu osiągnął postawiony sobie cel. Na tej podstawie można stwierdzić, że teza pracy została pozytywnie zweryfikowana oraz że Doktorant wykazał głęboką znajomość zagadnienia a także posiadał umiejętność stosowania odpowiednich metod statystycznych w praktyce.

Niezależnie od generalnie wysokiej oceny pracy, Recenzent zgłasza do dyskusji kilka uwag ogólnego charakteru, mających na celu przede wszystkim wskazanie niektórych, możliwych dróg udoskonalenia w przyszłości obecnej formy i zakresu rozprawy doktorskiej. Uwagi te są następujące:

1. Recenzenta niepokoją pewne fragmenty pracy, które podsumowują aktywność naukową Doktoranta w celu udowodnienia tezy przywołanej w rozdziale 2 recenzji. Można bowiem

przypuszczać, że rys. 27-36 zostały wykonane, choć z tekstu pracy to nie wynika, z wykorzystaniem relacji tłumienia uzyskanych na podstawie liniowej metody regresji wielokrotnej (równania 6.2.2-6.2.3, 6.2.1.1-6.2.1.2, 6.2.2.1-6.2.2.2), jednakże zauważyć można tutaj brak zgodności pomiędzy wartościami odczytanymi z rysunków i wartościami uzyskanymi ze wspomnianych wyżej zależności matematycznych. Prawdopodobnie użyto do skonstruowania wykresów innych zależności.

2. Jak wiadomo test Chowa służy do wykrywania zmian strukturalnych w dużych próbach i polega na podzieleniu całej próby (zbiór 3) na dwie pod-próby (zbiory 1 i 2) i na sprawdzeniu czy parametry modeli regresji uzyskane na podstawie zbioru 1 i zbioru 2 mają identyczne wartości (hipoteza zerowa). W omawianej rozprawie stwierdzono (tab. 32), że wartość statystyki F jest względnie wysoka natomiast wartość  $p$  testu Chowa jest względnie mała, co sugeruje, że hipotezę zerową należy odrzucić na rzecz hipotezy alternatywnej, a to z kolei mogłoby stanowić jest potwierdzeniem tezy rozprawy doktorskiej mgr Michała Gierlotki. Pojawia się tu jednak niepewność czy odrzucenie hipotezy zerowej na rzecz hipotezy alternatywnej nie było spowodowane użyciem nieodpowiedniej, bo liniowej postaci modelu regresji.
3. Ponieważ Doktorant wykazał istotny wpływ obecności uskoków na prędkości i przyśpieszenia fali sejsmicznej przechodzącej przez te struktury geologiczne, interesująca byłaby też ocena istotności zmian wskutek wspomnianego procesu w zakresie wartości innych jej parametrów np. mierzonej częstotliwości drgań.

## 5. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr Michała Gierlotki, poruszając ważny temat wpływu przejścia fali sejsmicznej przez strefy uskokowe na jej parametry i pośrednio na stan zagrożenia tąpniowego i zawałami w podziemnych kopalniach węgla w GZW, stanowi oryginalny wkład Doktoranta w rozwój wiedzy górniczej. Szczególnie wartościowa jest uzyskana samodzielnie przez Doktoranta baza danych z przeprowadzonych analiz statystycznych i związane z nimi rezultaty potwierdzające postawioną tezę dysertacji. Opiniowana rozprawa ma zarówno walory poznawcze, gdyż formułuje nowe metody badania zachowania się górotworu w warunkach rzeczywistego obciążenia sejsmicznego, jak i charakter użytkowy, ponieważ wyniki przedstawionych rozważań mogą być już teraz przydatne przy wyborze bardziej bezpiecznych sposobów prowadzenia eksploatacji w podziemnych kopalniach węgla, a w przyszłości także w podziemnych zakładach górniczych eksploatujących innego rodzaju kopaliny. Należy stwierdzić, że Doktorant wykazał się podczas swojej pracy bardzo dobrą znajomością aparatu matematycznego, opanowaniem warsztatu badawczego oraz zdolnościami do samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych. Stwierdzam zatem, że oceniana dysertacja odpowiada wymogom stawianym w Ustawie z dn. 14.03.2003 r., o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz.

U. Nr 65, poz. 595), co daje mi z kolei podstawę dla sformułowania wniosku do Rady Naukowej Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach, o dopuszczenie mgr Michała Gierlotkę do jej publicznej obrony.



Wrocław, 15-05-2022 r.