

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Szumnego

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Wpływ dokładności inicjowania ładunków MW na charakterystykę generowanych drgań sejsmicznych”. Autorem rozprawy jest mgr inż. Marcin Szumny, który ubiega się o nadanie mu stopnia naukowego doktora nauk technicznych przez Radę Naukową Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Promotorem przedstawionej pracy jest prof. dr hab. inż. Jan Butra.

2. Wstęp

Stosowane w górnictwie podziemnym metody eksploatacji złóż, są swego rodzaju zbiorem różnego rodzaju środków organizacyjnych i technicznych, które pozwalają pozyskać kopalinę w stanie nadającym się do transportu oraz dalszej przeróbki. Można założyć, że stosowane w tym celu metody urabiania złoża oparte na wieloletnim doświadczeniu a także na właściwych obliczeniach numerycznych, są ściśle dopasowane do lokalnych warunków geologiczno-górnictwowych, a w szczególności do rodzaju i własności mechanicznych eksploatowanych skał. Związane są z tym określone kryteria, które w świetle efektywności procesu eksploatacji oraz ekonomiki przedsięwzięcia, wskazują obszary stosowania poszczególnych technologii. Tak więc systemy oparte na zmechanizowanym urabianiu są w znaczącej większości przeznaczone do urabiania skał o niskiej i średniej wytrzymałości takich jak węgiel kamienny, brunatny, sól kamienna, itp. W przypadku natomiast urabiania skał zwięzłych o dużej wytrzymałości i abrazywności, wykorzystanie systemów zmechanizowanych jak na razie traci swoje ekonomiczne uzasadnienie. W takiej sytuacji technika strzałowa pozostaje podstawową metodą eksploatacji złoża w kopalniach podziemnych.

Zanotowany w ostatnich latach znaczący rozwój w zakresie materiałów wybuchowych oraz nowoczesnych systemów inicjowania, pozwala zdefiniować nowe, do tej pory, niedostępne obszary ich wykorzystywania w przemyśle wydobywczym. Przykładem tego postępu jest szerokie zastosowanie materiałów wybuchowych luzem, szczególnie materiałów wybuchowych emulsyjnych produkowanych „in-situ” i pompowanych bezpośrednio do otworów strzałowych, a także nowoczesne zapalniki elektroniczne, które będąc urządzeniami programowalnymi umożliwiają inicjowanie otworów strzałowych z

bardzo dużą dokładnością i w szerokim zakresie opóźnień. Taki poziom precyzji nie był dostępny dla powszechnie jeszcze dzisiaj stosowanych zapalników pirotechnicznych.

Uwolniona energia związana z procesem detonacji zużywa się głównie na fragmentację materiału skalnego, jego przemieszczenie, drgania parasejsmiczne i na powietrzną falę uderzeniową. Wymienione efekty, które są jednocześnie związane ze stratami energetycznymi, uwidaczniają się w masywie skalnym oraz w jego otoczeniu. W takich okolicznościach specjalista dysponujący zapalnikami elektronicznymi, którymi można sterować poprzez precyzyjnie zdefiniowane opóźnienia, może tak projektować roboty strzałowe aby pozwoliły one sterować sekwencją odpalanych przodków w sposób optymalny z punktu widzenia wykorzystania energii detonacji materiałów wybuchowych w istniejących warunkach geologiczno-górnictwa.

W związku z tym Doktorant zakłada, że nowe precyzyjne systemy inicjujące pozwalają na postęp nie tylko w zakresie optymalizacji metryk strzałowych na przodkach ale również w zakresie możliwości sterowania charakterystyką generowanych drgań parasejsmicznych. To z kolei stwarza sposobność do indukowania podobnych i powtarzalnych w czasie efektów sejsmicznych, które mogą mieć istotny wpływ na zmniejszenie zagrożenia związanego z samoistnymi zjawiskami sejsmicznymi poprzez celowe prowokowanie ich wystąpienia w określonym miejscu i czasie. Celem omawianej rozprawy doktorskiej jest więc udowodnienie słuszności postawionej wyżej hipotezy, poprzez zastosowanie odpowiednich do istniejących warunków materiałów wybuchowych, oraz właściwego projektu robót strzałowych z zastosowaniem zapalników elektronicznych.

3. Układ rozprawy doktorskiej

Rozprawa została podzielona na 9 rozdziałów z licznymi podrozdziałami, została też zaopatrzona w spis treści, rysunków i tabel, 3 załączniki oraz w spis literatury obejmujący 73 pozycje. Zawartość poszczególnych rozdziałów przedstawia się następująco:

Rozdział 1 (Wstęp) zwięźle przedstawia historyczny rozwój techniki strzałowej w aspekcie użytkowania nowych materiałów wybuchowych i systemów inicjowania w praktyce urabiania złóż kopalin zwięzłych i mało odkształcalnych. Doktorant dostrzega ten przyspieszający w ostatnich latach postęp, którego przejawem jest bardzo szerokie wykorzystywanie materiałów wybuchowych luzem, szczególnie emulsyjnych przygotowywanych na dole i pompowanych bezpośrednio do otworów strzałowych. Podobnie się ma sytuacja z systemami inicjacji, w których obszarze postęp realizuje się poprzez coraz częstsze zastosowanie programowalnych zapalników elektronicznych o dokładności jaka jest niedostępna dla powszechnie stosowanych jeszcze dzisiaj

zapalników pirotechnicznych. Precyzja czasowa detonacji a także szeroki zakres opóźnień zapalników elektronicznych już dzisiaj pozwala zdefiniować obszary ich nowatorskiego zastosowania, a wartością dodaną w tym zakresie powinien być też wynik ocenianej pracy, której cel przedstawiono w rozdziale 2.

Rozdział 2 (Cel i zakres pracy) przedstawiając cel oraz zakres rozprawy, stanowi swego rodzaju zwięzły opis wykonanych prac badawczych. Praca obejmuje zatem analizę drgań parasejsmicznych wygenerowanych w różnych typach robót podziemnych z zastosowaniem zapalników elektronicznych. Doktorant uważa, że sztucznie preparowane drgania o pożądanej charakterystyce częstotliwościowej mogą stanowić nową szansę dla skuteczności profilaktyki tąpniowej, gdyż osiągnięta wysoka dokładność oraz powtarzalność sekwencji opóźnień może pozwolić na wywoływanie zjawisk sejsmicznych w określonym miejscu i czasie. Innymi słowy, zwiększenie amplitudy drgań oraz wygenerowanie ich właściwej charakterystyki częstotliwościowej może mieć pozytywny wpływ na skuteczność prowokowania wysokoenergetycznych wstrząsów robotami strzałowymi przy zachowaniu ich podstawowego celu, jakim jest urabianie złoża. Stąd też wynika cel przedłożonej rozprawy doktorskiej, który sprowadza się do wykazania, że generowanie fal parasejsmicznych o zbliżonych i powtarzalnych charakterystykach częstotliwościowych, przy zastosowaniu współczesnych systemów inicjacji elektronicznej, jest wysoce prawdopodobne.

Rozdział 3 (Roboty strzałowe w górnictwie podziemnym) składa się z czterech podrozdziałów, które informują szerzej o następujących rodzajach podziemnych robót strzałowych:

- ❖ strzelania eksploatacyjne i przygotowawcze,
- ❖ strzelania konturowe
- ❖ strzelania odprężające i urabiająco-odprężające,
- ❖ strzelania wstrząsowe.

Rozdział 4 (Systemy inicjacji stosowane w górnictwie podziemnym) omawia różnego rodzaju zapalniki ze szczególnym uwzględnieniem możliwości precyzyjnego ustawienia ich opóźnień. Doktorant zauważa tutaj, że uzyskanie powtarzalnej sekwencji czasowej w przypadku zapalników nieelektrycznych jest w praktyce niemożliwe. Dodatkową trudnością jest nieznaną wartość średniej opóźnień, a tym samym określenie rzeczywistych interwałów czasowych między otworami strzałowymi. Systemami inicjacji pozbawionymi wyżej wymienionych wad są systemy inicjacji oparte na zapalnikach elektronicznych, których dokładność opóźnień jest kilka rzędów wyższa od tradycyjnych zapalników elektrycznych bądź nieelektrycznych.

Rozdział 5 (Drgania parasejsmiczne) przedstawia rodzaje fal składające się na fale parasejsmiczną oraz czynniki wpływające na jej charakterystykę.

Rozdział 6 (Metody analizy drgań sejsmicznych) zwięźle opisuje sposoby analizy rejestrowanego sygnału w dziedzinie czasu oraz częstotliwości jego poszczególnych składowych. Jak stwierdza Autor, przejście z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości realizowane jest najczęściej przy zastosowaniu dyskretnej transformacji Fouriera (Discrete Fourier Transform - DFT), której odmianą algorytmiczną jest szybka transformacja Fouriera (Fast Fourier Transform - FFT) generująca widmo sygnału.

Doktorant informuje, że w swojej rozprawie wykorzystał analizę czasowo-częstotliwościową z wykorzystaniem krótko-czasowej transformacji Fouriera (Short-Time Fourier Transform - STFT), która umożliwia prezentację rozkładu poszczególnych częstotliwości w czasie. Metoda ta polega na wycinaniu kolejnych odcinków sygnału za pomocą funkcji okna i obliczaniu ich transformat Fouriera. Analiza tego typu znajduje zastosowanie w ocenie efektu strzelań grupowych gdyż nie bazuje wyłącznie na wartościach maksymalnych czy dominujących, ale pozwala w sposób graficzny przedstawić dystrybucję energii sygnału sejsmicznego w odniesieniu do czasu i częstotliwości drgań cząstek ośrodka skalnego.

Rozdział 7 (Analiza drgań parasejsmicznych generowanych strzelaniem przodków) mieści w sobie opis pewnego testu przeprowadzonego w kopalni Rudna, obejmującego odpalenie 2 przodków inicjowanych zapalnikami elektronicznymi wg określonego grupowo schematu wykorzystującego pięć różnych opóźnień. W analizie opartej na algorytmach FFT oraz STFT wykorzystano zapisy sejsmometrów zlokalizowanych w 6 stacjach pomiarowych w odległości do ok. 1100 m od miejsca wykonywania prób. Przedstawione w rozdziale rysunki i tabele wskazują wyraźnie na fakt, że na wynikowych widmach częstotliwościowych najsilniej zaznaczają swoją obecność składowe drgań o ustawionej przez zastosowane opóźnienia częstotliwości. Założyć zatem można, że istnieje możliwość sterowania charakterystyką częstotliwościową sygnału wygenerowanego w wyniku prac strzałowych wykonywanych z dokładną inicjacją poszczególnych ładunków MW w różnych interwałach czasowych.

Doktorant jednakże zwraca uwagę na potrzebę zachowania maximum ostrożności we wnioskowaniu gdyż rzeczywisty proces propagacji fali sejsmicznej w górotworze ma bardzo skomplikowany charakter, głównie ze względu na niejednorodność ośrodka skalnego, jak również na występowanie dodatkowych zaburzeń związanych bezpośrednio z eksploatacją tj. chodniki, zroby, podsadzka. Wszystkie te parametry mają wpływ na działanie filtrujące masywu skalnego a tym samym na tłumieniu pewnych zakresów częstotliwości. W celu weryfikacji zamieszczonego wyżej założenia, w dalszej części pracy analizie zostały poddane drgania po odpaleniu przodków zarejestrowane podczas drążenia pewnego tunelu.

Rozdział 8 (Analiza drgań parasejsmicznych generowanych strzelaniem w tunelu)

zawiera opis procedury badawczej obejmującej trzy strzelania, do których realizacji zostały wykorzystane zapalniki elektroniczne. Strzelania zostały wykonane podczas drażenia tunelu na obszarze silnie zurbanizowanym a ich celem była analiza wpływu robót strzałowych na otoczenie w zakresie generowanych drgań parasejsmicznych. Układ pomiarowy stanowiły 4 geofony trójskładowe od T1 do T4 zamontowane na obudowie betonowej w tunelu zlokalizowanym w bliskiej odległości od miejsca prowadzenia prac, oraz 2 geofony jednoosiowe V1 i V2 (składowa pionowa drgań) zlokalizowane na fundamentach budynku.

Poszczególne strzelania zostały opisane poprzez odpowiednią metrykę strzałową, w których poszczególne otwory były odpalane kolejno z założonymi opóźnieniami odpowiadające częstotliwościom 6.7, 25, 50 i 200 Hz (przodek 1), 6.7, 33.3, 50 i 200 Hz (przodek 2) oraz 6.7, 10, 33.3 i 200 Hz (przodek 3).

Spektrogramy, otrzymane w wyniku analizy STFT, potwierdzają, że zakres częstotliwości, w których zjawisko nakładania się drgań indukowanych robotami strzałowymi jest największe wynosi od ok. 20 do 50 Hz. Odpowiada to interwałom czasowych odpowiednio od 50 oraz 20 ms. Najlepsze rezultaty miały miejsce dla interwałów czasowych o wartości 30 i 40 ms, co odpowiadało częstotliwościom dominującym odpowiednio 33 oraz 25 Hz oraz ich harmonicznym. Zakres ten pokrywa się z grubsza z wartościami określonymi w wyniku badań modelowych uzyskanych dla warunków kopalń LGOM.

Rozdział 9 (Podsumowanie) stanowi zwięzłe podsumowanie wyników wykonanych badań z jednoczesnym uwypukleniem istotnych osiągnięć Doktoranta zakresie oceny możliwości wykorzystania systemów inicjacji elektronicznej do intencyjnego i powtarzalnego kształtowania charakterystyki częstotliwościowej generowanego sygnału sejsmicznego.

Biorąc pod uwagę zamieszczone w rozprawie spostrzeżenia uzyskane na podstawie analizy rejestrowanych sejsmogramów można wnioskować, że istnieje realna możliwość generowania powtarzalnego sygnału sejsmicznego o pożądanej charakterystyce częstotliwościowej, szczególnie w zakresie od 25 do 50 Hz. Cel rozprawy został więc osiągnięty. Zjawisko to, w połączeniu ze wskazaniem częstotliwości drgań pożądanych, z punktu widzenia efektywności profilaktyki tąpniowej, może zostać wykorzystane w praktyce.

Autor także zwraca uwagę na możliwość sekwencyjnego strzelania otworów torpedujących w kopalniach węgla kamiennego i generowanie fal parasejsmicznych o określonej charakterystyce częstotliwościowej, odpowiedniej z punktu widzenia skuteczności profilaktyki tąpniowej również w podziemnym górnictwie węglowym. Co więcej, wydaje się, że zjawisko to można również szerzej wykorzystać w robotach podziemnych do ochrony obiektów infrastruktury podziemnej przed szkodliwym

działaniem drgań, poprzez kształtowanie jej charakterystyki częstotliwościowej mającej najmniejszy wpływ na obiekt chroniony.

4. Uwagi do pracy

Po przeczytaniu przedstawionej rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Marcina Szumnego pt. "Wpływ dokładności inicjowania ładunków MW na charakterystykę generowanych drgań sejsmicznych" Recenzent stwierdza, że jest ona kompletna i stanowi nowe oraz interesujące podejście do oceny możliwości implementacji nowatorskiego sposobu prowokowania zjawisk parasejsmicznych w ramach profilaktyki tąpaniowej w kopalniach podziemnych. Doktorant wykorzystując właściwą metodykę i sposób rozwiązania problemu osiągnął postawiony sobie cel, który zrealizował głównie poprzez właściwie zaprojektowane badania dołowe i stosowną analizę uzyskanych wyników. Na tej podstawie można stwierdzić, że Doktorant wykazał też głęboką znajomość zagadnienia oraz posiadał umiejętność stosowania odpowiednich metod analitycznych w praktyce.

Inne uwagi dotyczące rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Szumnego, także dokumentują znaczące i oryginalne osiągnięcia badawcze Doktoranta:

1. W recenzowanej dysertacji przedstawiono nową koncepcję systemów inicjacji elektronicznej do intencyjnego i powtarzalnego kształtowania charakterystyki częstotliwościowej generowanego techniką strzałową sygnału parasejsmicznego. Wg tej koncepcji, odpowiednio ustawione opóźnienia inicjacji poszczególnych otworów strzałowych mogą powiązać ją z profilaktyką tąpaniową poprzez bardziej skuteczne niż dotychczas prowokowanie wystąpienie wstrząsów sejsmicznych.
2. Zaproponowana w rozprawie metoda może już teraz być wykorzystana do bieżącej oceny i redukcji zagrożenia sejsmicznego w kopalniach rud miedzi, do których to warunków powinna zostać dopasowana pod względem częstotliwościowym i amplitudowym.
3. Rozprawa doktorska jest prawie bez zarzutu pod względem edytorskim, a drobne błędy literowe są nieliczne i nie wpływają na jej ogólną ocenę. Recenzent sugeruje jednak sprawdzić czy wszystkie cytowane źródła mają swoje odniesienia w spisie literatury i odwrotnie.

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:

4. Wielu specjalistów uważa, że wartość ppv jest parametrem, który najlepiej reprezentuje zagrożenie wyrobisk podziemnych i ich infrastruktury ze strony zjawisk

dynamicznych. Inni z kolei twierdzą, że stopień możliwych uszkodzeń górotworu zjawiskami dynamicznymi zależy od generowanych przyspieszeń ściśle przecież związanymi z inercją zaangażowanych deformacyjnie mas skalnych. Jakie jest zdanie Doktoranta w tym zakresie i czy Doktorant planuje kontynuować temat prowadząc badania dołowe obejmujące jednocześnie wpływ prędkości i przyspieszeń na wartość generowanych sił/naprężeń lub odkształceń w górotworze?

5. Autor zrealizował szereg analiz widmowych sejsmogramów uzyskując rozkłady częstotliwościowe prędkości drgań górotworu w odpowiedzi na odpalenie ładunków MW w otworach strzałowych. Interesujące byłoby także przedstawienie tego rodzaju analizy ale dokonane w celu określenia chwilowej mocy rejestrowanych drgań, co pozwoliłoby zidentyfikować pasma częstotliwości, w których energia drgań (w domyśle: odkształcenia) jest największa.
6. Ponieważ górotwór jako generalnie struktura ciągła posiada nieskończoną liczbę stopni swobody i w związku z tym taką samą liczbę częstości drgań własnych, pojawia się problem wokół jakiej częstości drgań chcemy uzyskać wzmocnienie rezonansowe i czy jest to możliwe. Można przypuszczać, że w tym celu należałoby na podstawie sejsmogramów skonstruować przyspieszeniowe spektra odpowiedzi, teoretycznie mające jednak odmienny kształt w różnych lokalizacjach. Lokalizacje te będą siłą rzeczy bliskie powierzchni stropu/ociosów i przez to nie będą właściwe dla miejsc znajdujących się głęboko w stropie zasadniczym, czyli tam gdzie najczęściej można zidentyfikować ogniska wstrząsów, które właśnie chcemy prowokować. Czy Doktorant ma swój przepis na dobór wartości opóźnień, które będą najbardziej efektywne w zakresie prowokowania wstrząsów.

5. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Szumnego, poruszając ważny temat redukcji zagrożenia sejsmicznego, poprzez generowanie powtarzalnego sygnału sejsmicznego o pożądanej charakterystyce częstotliwościowej, stanowi jego oryginalny wkład w rozwój wiedzy górniczej. Wyjątkowo wartościowa i oryginalna jest uzyskana samodzielnie przez Doktoranta baza danych z przeprowadzonych badań dołowych 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 dynamicznego obciążenia, jak i charakter użytkowy, ponieważ wyniki przedstawionych rozważań mogą być już teraz przydatne przy wyborze bardziej bezpiecznych sposobów prowadzenia eksploatacji w podziemnych kopalniach rud miedzi,

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 Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, o dopuszczenie mgr inż. Marcina Szumnego do jej publicznej obrony.



Wrocław, 16-04-2019 r.