

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. MATEUSZA CWIĘKAŁY

1. PRZEDMIOT RECENZJI

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Analiza przemieszczeń w strefie epicentralnej zjawisk sejsmicznych indukowanych eksploatacją”. Autorem rozprawy jest mgr inż. Mateusz Cwiękała, który ubiega się o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych przez Radę Naukową Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach. Promotorem przedstawionej pracy jest prof. dr hab. inż. Grzegorz Mutkę, prof. GIG.

Recenzja niniejsza została opracowana w odpowiedzi na pismo (znak NOP/205 z dnia 25-07-2022 r.) przesłane w tej sprawie przez Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska .

2. WSTĘP

W sytuacji gdy eksploatacja złóż użytecznych prowadzona jest z roku na rok na coraz większej głębokości, nadal jednym z najpilniejszych zadań do rozwiązania, stanowiących istotne wyzwanie dla efektywnej ekonomicznie i bezpiecznej eksploatacji złoża w obszarze GZW, jest m.in. opracowanie nowych sposobów/systemów oceny zagrożenia geomechanicznego na poziomie wyrobisk, adekwatnego dla nowych warunków geologiczno-górnicznych prowadzenia eksploatacji podziemnej. Warunki te, jak można się spodziewać, będą się charakteryzować większymi wartościami składowych tensora naprężeń pierwotnych, a także mniejszą odkształcalnością i większą wytrzymałością skał otaczających złoża. Oznacza to, że w niedalekiej przyszłości problemy dynamiki górotworu związane z opadami/obwałami stropu a przede wszystkim z indukowaną aktywnością sejsmiczną wokół wybieranego złoża, może się stać jednym z zagadnień, które zadecydują o ekonomice i bezpieczeństwie eksploatacji w nowych obszarach górniczych. W tym aspekcie dużego znaczenia nabiera opracowanie i wdrożenie miarodajnego i niezawodnego sposobu pozwalającego na ocenę tego zagrożenia, przydatnego w procesie wykrywania i kontrolowania dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu poprzez właściwą obserwację, syntezę i interpretację pod kątem wspomnianych wyżej zagrożeń, istniejących warunków geologicznych i górniczych.

Tego rodzaju udoskonalone narzędzie w profilaktyce zawałowej/tąpaniowej stanowiłoby istotne uzupełnieniem aktualnie stosowanych w zakładach górniczych, systemów obserwacji i kwalifikacji skał górotworu w aspekcie zarówno ich zdolności do przenoszenia obciążeń jak i skłonności do generowania zjawisk sejsmicznych o znacznej energii. Ocena oddziaływania tych zjawisk na prowadzoną w pobliżu eksploatację, wobec złożoności samego zjawiska fizycznego, oczywistej niejednorodności górotworu oraz skomplikowanych, zmiennych w

czasie, warunków brzegowych, wymaga trudnej wieloparametrycznej oceny, m.in. w aspekcie zagrożenia tąpniowego, a także pogłębionej analizy dotychczas stosowanych systemów eksploatacji w celu ich możliwego kompleksowego zweryfikowania z punktu widzenia bezpieczeństwa, niezawodności i wydajności procesu urabiania złoża. Wychodząc na przeciw wyżej zasygnalizowanego zapotrzebowania górnictwa podziemnego nie tylko węgla kamiennego ale także innych potencjalnych kopalin, Doktorant zajął się w systematyczny sposób rozpoznaniem specyfiki przemieszczeń górotworu, szczególnie na powierzchni w strefie bliskiej epicentrum, w warunkach przed i w czasie wystąpienia wysokoenergetycznych wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictw, podejmując jednocześnie próbę zdefiniowania i wynikającej z tego możliwości wyznaczenia prekursorów zagrożenia sejsmicznego poprzez wykorzystanie wyników ciągłego monitoringu tych przemieszczeń obszarów na powierzchni zlokalizowanych nad rejonami aktualnie prowadzonych operacji górniczych. Wspomniane obserwacje i pomiary przeprowadzone w rejonie E-E1 KWK ROW Ruch Rydułtowy, które w kolejnych krokach analizy zostały skonfrontowane z parametrami źródeł kolejnych rejestrowanych zjawisk para-sejsmicznych stanowiły podstawową bazę danych, która z założenia miała umożliwić osiągnięcie sprecyzowanego wyżej celu, jakim była identyfikacja nowych prekursorów zagrożenia sejsmicznego. Tym zatem sposobem wg Autora został udokumentowany „związek średnich przemieszczeń w źródle wstrząsów sejsmicznych oraz indeksu energii sejsmicznej, wyznaczonej w krótkich oknach czasowych (30 s) przesuwających się z krokiem jednej doby z występowaniem silnych górniczych wstrząsów sejsmicznych”.

Doktorant swoje wywody wsparł wynikami szerokich pomiarów geodezyjnych wykorzystujących kampanie ciągłe i okresowe pomiarów prowadzone techniką Globalnych Systemów Nawigacji Satelitarnej (GNSS - Global Navigation Satellite Systems) oraz wykorzystujące metody precyzyjnej niwelacji geodezyjnej.

3. UKŁAD ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Rozprawa składa się z 10 rozdziałów z licznymi podrozdziałami, a także została zaopatrzona w obszerne spisy tabel i rysunków oraz w spis literatury obejmujący 99 pozycji. Zawartość poszczególnych rozdziałów przedstawia się następująco:

ROZDZIAŁ 1 (WSTĘP) zwięźle przedstawia podstawowe pojęcia i definicje związane z sejsmicznością indukowaną eksploatacją górnictw, a także z jej monitoringiem poprzez wykorzystanie stacjonarnej aparatury sejsmicznej wyposażonej w dedykowane specjalistyczne oprogramowanie. Autor przedstawia w rozdziale szereg podstawowych charakterystyk wstrząsów sejsmicznych, związanych przede wszystkim z ich lokalizacją, ogniskiem i energią, uzyskanych na podstawie rejestracji pochodzących z kopalnianej sieci sejsmologicznej ARAMIS WIN oraz aparatury SOS (System Obserwacji Sejsmologicznych)

zainstalowanej w ramach projektu EPOS PL. Wartości numeryczne wspomnianych charakterystyk zapewniło oprogramowanie systemu ARAMIS oraz program MULTILOK współpracujący z systemem SOS.

Istotną objętość rozdziału zajmują zagadnienia przemieszczeń w bliskim i dalekim polu falowym i ich potencjalny związek z trzęsieniami ziemi i wstrząsami indukowanymi eksploatacją górnictw. Przedstawiony przegląd dotychczasowych badań nad związkami deformacji terenu z sejsmicznością indukowaną wskazuje na to, że polegały one w większości na pomiarze odkształceń/przemieszczeń w górotworze podczas prowadzenia eksploatacji (konwergencja wyrobisk i otworów wiertniczych, nachylenie stropów itp.) i wnioskowaniu tylko o narastającym zagrożeniu w przypadku istotnego przyśpieszenia narastania (*in plus* lub *in minus*) wartości mierzonych deformacji. Modele numeryczne i analityczne, ze względu na ich uproszczenia w zapisie warunków geologicznych dzisiaj także nie są w stanie ściśle prognozować czasu zaistnienia zjawiska sejsmicznego. Zaletą takich modeli jest natomiast przede wszystkim zdolność do formułowania pewnych zależności jakościowych pomiędzy określonymi własnościami modelu, np. szeroko pojętymi warunkami geologiczno-górnictwymi, a skłonnościami górotworu do generowania różnorodnych zjawisk dynamicznych.

Zakończenie rozdziału Autor poświęca na wyniki najczęściej stosowanych w praktyce satelitarnych technik pomiarowych w badaniach deformacji powierzchni terenu, której zmiany skorelowane z towarzyszącą im sytuacją górnictw pod ziemią, są traktowane jako prawdopodobny predyktor wstrząsu sejsmicznego. Należy tu jednak zachować daleko idącą ostrożność, gdyż jak wykazały badania numeryczne i polowe dotyczące płytkich kopalni węgla w Midwestern (USA) ¹ przeprowadzone przez autora niniejszej recenzji. samo wypiętrzanie/zapadanie powierzchni terenu nad frontem eksploatacyjnym nie jest warunkiem wystarczającym pojawienia się niestateczności górotworu.

W tym świetle, treść rozdziału 2 generalnie wskazuje, że nie została jeszcze opracowana metoda, która w sposób kompleksowy i precyzyjny łączy wykonane pomiary i obserwacje z zagrożeniem tąpnięciami przy założonych rozwiązaniach technologicznych eksploatacji. Wartością dodaną w tym zakresie powinien być zatem wynik ocenianej pracy, której cel w świetle sformułowanej tezy przedstawia rozdział 3.

ROZDZIAŁ 2 (CHARAKTERYSTYKA METOD POMIAROWYCH PRZEMIESZCZENIA W OBRĘBIE POLIGONU BADAWCZEGO) przedstawia zwięźle dwie podstawowe techniki satelitarnego pomiaru przemieszczeń powierzchni terenu, mianowicie:

- Satelitarną interferometrię radarową (InSAR), oraz
- Globalny system nawigacji satelitarnej GNSS, którego wyniki zostały wykorzystane efektywnie przez Autora rozprawy (pomiary kinetyczne czy kinematyczne).

¹ Pytel W.M., Y.P. Chugh. Development of the three-dimensional roof-pillar-floor interaction model for non-linear viscous behaviour of weak floor strata in coal mines. *Proc. 10th Annual Workshop Generic Mineral Technology Center. Mine systems design and ground control.* Moscow, Idaho, USA, November 15-17, 1992

ROZDZIAŁ 3 (CEL I ZAKRES PRACY) przedstawia cele, naukowy i użyteczny, oraz zakres rozprawy, który stanowi swego rodzaju zwięzły opis wykonanych prac badawczych.

Postawionym celem naukowym jest *rozpoznanie charakteru przemieszczeń w strefie epicentralnej przed wystąpieniem silnych wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictwem prowadzoną systemem ścianowym na poligonie badawczym.*

Celem użytecznym rozprawy jest natomiast *wykorzystanie monitorowania przemieszczeń powierzchni nad prowadzoną eksploatacją górnictwem i parametrów źródła sejsmicznego wyznaczanych z rejestracji sejsmologicznych do oceny stanu zagrożenia sejsmicznego warunkach KWK ROW Ruch Rydułtowy.*

Zakres pracy obejmuje zatem:

- część teoretyczną stanowiącą zasadniczo przegląd literatury światowej dotyczącej rozpatrywanego zagadnienia oraz charakterystyk jemu właściwych metod pomiarowych ;
- wyniki rozpoznania geologicznego i bezpośrednich obserwacji warunków geologiczno-górnictwowych w wybranym rejonie badań, w tym morfologii i hydrografii terenu, warunków geologiczno-górnictwowych oraz tektoniki;
- charakterystykę sejsmiczności indukowanej oraz przyczyny zagrożenia tąpnięciami w wybranym rejonie badań;
- wyniki monitoringu sejsmologicznego i pomiarów sejsmiczności przeprowadzonych na poligonie badawczym;
- określenie parametrów źródeł sejsmicznych na podstawie monitoringu sejsmologicznego;
- określenie deformacji powierzchni terenu na obszarze poligonu badawczego, i na koniec
- analiza wyników monitoringu przemieszczeń powierzchni prowadzoną eksploatacją górnictwem i parametrów także źródeł sejsmicznych w aspekcie oceny zagrożenia sejsmicznego .
- opracowanie koncepcji nowatorskiego podejścia do oceny zagrożenia obwałami i opadem skał stropowych w kopalniach LGOM.

Wprawdzie Autor nie sformułował werbalnie tezy swojej rozprawy, jednakże można domniemywać, że zgodnie z zamieszczoną wyżej koncepcją realizacji badań, Autor uważa, że możliwe jest na podstawie oceny warunków geologiczno-górnictwowych i technicznych w rejonach prowadzonej eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego, wyselekcjonować najważniejsze czynniki oraz parametry decydujące o poziomie zagrożenia sejsmicznego, i na podstawie tej wiedzy opracować bardziej niż dotychczas miarodajny wskaźnik tego zagrożenia.

ROZDZIAŁ 4 (CHARAKTERYSTYKA REJONU BADAŃ) składa się z trzech podrozdziałów, które informują szerzej o morfologii i hydrografii terenu, o warunkach geologiczno-górnictwowych w poligonie badawczym - rejonie E-E1 w pokładzie 703/1-2, oraz o tektonice tamże.

ROZDZIAŁ 5 (CHARAKTERYSTYKA SEJSMICZNOŚCI INDUKOWANEJ ORAZ ZAGROŻENIA TĄPANIAMI KWK ROW RUCH RYDUŁTOWY W REJONIE E-E1) na przykładzie pięciu ścian eksploatacyjnych, wskazuje, że utrzymywanie się wysokiego poziomu aktywności sejsmicznej w miejscowej kopalni wynika z występowania wysokich wartości naprężeń statycznych w zwięzłych utworach geologicznych, szczególnie w strefach oddziaływania krawędzi, resztek, uskoków oraz w sąsiedztwie zaburzeń geologicznych. (Fragmenty rozdziału 5 poświęcone analizie aktywności sejsmicznej (str. 54), oraz przyczynom zagrożenia sejsmicznego (str. 56), zasługują na osobne podrozdziały 5.2 i 5.3).

ROZDZIAŁ 6 (MONITORING SEJSMOLOGICZNY I POMIARY SEJSMICZNOŚCI W KWK ROW RUCH RYDUŁTOWY NA POLIGONIE BADAWCZYM W ŚCIANIE WYDOBYWCZEJ VIII-E-E1) składa się z trzech podrozdziałów:

- Ocena stanu zagrożenia sejsmicznego w czasie eksploatacji ściany węglowej VIII-E-E1 według kryteriów stosownych przez kopalnię - jak pokazują wyniki sejsmologicznej obserwacji i interpretacji podczas wybierania złoża ścianą VIII-E-E1, wykonana ocena stanu zagrożenia nie zawsze podaje informację zgodną ze stanem rzeczywistym. Autor słusznie wskazuje tu na konieczność opracowania nowej metody oceny, pozwalającej na uzyskanie oceny wyprzedzającej wskazującej na zdecydowany wzrost zagrożenia przed silnym wstrząsem sejsmicznym.

- Analiza sejsmiczności podczas eksploatacji pokładu węgla ścianą VIII-E-E1 z uwzględnieniem parametrów źródła sejsmicznego i mechanizmów ognisk wstrząsów - na podstawie analizy aktywności sejsmicznej w rozpatrywanym rejonie oraz wykorzystując wykładniczy model prędkościowy fali sejsmicznej, wyróżniono aż pięć „okresów” eksploatacji o wyraźnie zróżnicowanej aktywności. Na podstawie rozkładu lokalizacji pionowej ognisk wstrząsów zauważono dwie istotne okoliczności wpływające na zdecydowanie na wzmożony rozwój sejsmiczności:

- położenie frontu eksploatacji względem wyżej leżących krawędzi i otaczających filarów, oraz
- obecność uskoków oraz wpływ poziomych naprężeń tektonicznych.

- Analiza mechanizmów wstrząsów - na podstawie analizy wstrząsów zaistniałych w różnych okresach potwierdzono, że charakteryzują się one znacznie różniącymi się scenariuszami.

ROZDZIAŁ 7 (PARAMETRY ŹRÓDŁA SEJSMICZNEGO WYZNACZONE Z MONITORINGU SEJSMOLOGICZNEGO ŚCIANY EKSPLOATACYJNEJ VIII-E-E1) - prezentuje dwie kolejne instrukcje obejmujące „Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tąpniętami w Kopalniach Węgla Kamiennego”, z których Autor wybrał do dalszej analizy cztery kryterialne parametry związane ze źródłem sejsmicznym: całkowitą energię sejsmiczną E_c , średnie przemieszczenie w źródle skalarny moment sejsmiczny M_o oraz indeks energii E_i .

ROZDZIAŁ 8 (DEFORMACJE POWIERZCHNI W OBSZARZE POLIGONU BADAWCZEGO) - jest mega-rozdziałem zajmującym aż 56 stron rozprawy z 57 rysunkami, a ze względu na swoją

treść zamieszczoną w 6 podrozdziałach można go ocenić jako *opus magnum* Doktoranta. Przedstawiono w nim wszystkie wyniki monitoringu geodezyjnego zrealizowanego na poligonie badawczym techniką GNSS jak również wyniki pomiarów niwelacji precyzyjnej na wyznaczonym profilu, które to wyniki skorelowano z aktywnością sejsmiczną obserwowaną w czasie biegu ściany VIII-E-E1. Dodatkowo wykonano prognozę deformacji terenu wykorzystując klasyczną teorię Knothego-Budryka konfrontując następnie jej wyniki z pomiarami rzeczywistymi.

ROZDZIAŁ 9 (ANALIZA WYNIKÓW MONITOROWANIA PRZEMIESZCZEŃ POWIERZCHNI NAD PROWADZONĄ EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ I PARAMETRÓW ŹRÓDŁA SEJSMICZNEGO W ASPEKTCIE OCENY ZAGROŻENIA SEJSMICZNEGO) – odnosi się przede wszystkim do kwestii czy zamierzone cele dysertacji sformułowane w rozdziale 3 zostały zrealizowane i czy wyniki działalności naukowej Doktoranta stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy w ramach dyscypliny naukowej, którą on sam reprezentuje. Świadczą o tym wymienione przez mgr Mateusza Cwiękałę jego obserwacje i konkluzje, m.in. te zamieszczone poniżej:

- wyniki interpretacji okresowych pomiarów przemieszczeń pionowych pozwoliły stwierdzić, że najwyższa aktywność sejsmiczna z reguły zlokalizowana była wzdłuż profili wypiętrzeń powierzchni o największej wartości gradientu ich przyrostu;
- stwierdzono, że przed najsilniejszymi wstrząsami rejestrowano znaczne wypiętrzenia powierzchni terenu, które następnie zanikało aż do osiągnięcia poziomu pomierzonego przed zaistniałym wstrząsem indukowanym. Uzasadniona jest więc traktowanie tego zjawiska jako pewną miarę zagrożenia tąpniowego;
- wykazano, że dla sejsmiczności związanej z uwalnianiem napreżeń w strefach uskokowych najlepszym prekursorem jest parametr indeksu energii.

Wyniki badań i analiz przeprowadzonych przez Doktoranta potwierdzają także zrealizowanie celu użytecznego pracy, tzn. wykazanie realnych możliwości wykorzystania nowych prekursorów geodezyjnych i sejsmologicznych dla celów oceny stanu zagrożenia sejsmicznego w trakcie prowadzenia podziemnej eksploatacji pokładów węgla kamiennego.

ROZDZIAŁ 10 (PODSUMOWANIE) - stanowi zwięzłe podsumowanie wyników wykonanych badań z jednoczesnym uwypukleniem istotnych osiągnięć Doktoranta w tym zakresie.

4. UWAGI DO PRACY

Po zapoznaniu się z przedstawioną rozprawą doktorską mgr inż. Mateusza Cwiękały pt. "Analiza przemieszczeń w strefie epicentralnej zjawisk sejsmicznych indukowanych eksploatacją" Recenzent stwierdza, że jest ona kompletna i stanowi nowe oraz interesujące podejście do oceny stopnia zagrożenia tąpniętami w kopalniach podziemnych węgla kamiennego. Doktorant wykorzystując właściwą metodykę i sposób rozwiązania problemu osiągnął postawiony sobie cele. Na tej podstawie można stwierdzić, że Doktorant wykazał też głęboką znajomość zagadnienia a także posiadał umiejętność stosowania odpowiednich metod analitycznych w praktyce.

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

1. W recenzowanej dysertacji przedstawiono szerszą niż stosowane obecnie koncepcję powiązania warunków geologiczno-górnicznych-technologicznych z zagrożeniem tąpnięciami w podziemnych kopalniach węgla kamiennego w Polsce, definiując jednocześnie szereg nowych wskaźników zagrożenia, związanych głównie z wybranymi parametrami wstrząsów sejsmicznych.
2. Zaproponowana w rozprawie metoda może już teraz być wykorzystana do bieżącej oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach węgla kamiennego, dla których to warunków była kalibrowana. Po ewentualnym dopasowaniu będzie ona mogła stanowić cenne uzupełnienie kryterialne obecnie funkcjonujących systemów oceny zagrożenia tąpnięciami także w kopalniach eksploatujących inną kopalinę i położonych w innych lokalizacjach.
3. Rozprawa doktorska pod względem edytorskim jest wzorowo opracowana, a drobne błędy literowe są nieliczne i nie wpływają na jej ogólną ocenę.

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Ćwiąkały, poruszając ważny temat oceny stanu zagrożenia tąpniowego dla prawidłowego funkcjonowania podziemnych wyrobisk górniczych, stanowi jego oryginalny wkład w rozwój wiedzy górniczej. Wyjątkowo wartościowa i oryginalna jest analizowana samodzielnie przez Doktoranta baza danych z przeprowadzonych pomiarów geodezyjnych i związane z nimi rezultaty potwierdzające osiągnięcie deklarowanych celów dysertacji. Opiniowana rozprawa ma zarówno walory poznawcze, gdyż formułuje nowe metody badania zachowania się górotworu w warunkach rzeczywistego obciążenia, jak i charakter użyteczny, ponieważ wyniki przedstawionych rozważań mogą być już teraz przydatne przy wyborze bardziej bezpiecznych sposobów prowadzenia eksploatacji w podziemnych kopalniach węgla kamiennego, 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 Górnictwa w Katowicach o dopuszczenie mgr inż. Mateusza Ćwiąkały do jej publicznej obrony.

Wrocław, 07-10-2022 r.

