

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Andrzeja Hadama

p.t.: „Metodyka ograniczania zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami dla wyrobisk górniczych zlokalizowanych w ich filarach”

Podstawa prawna wykonania recenzji: zamówienie Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa Pana prof. dr. hab. inż. Stanisława Pruska, zawarte w piśmie z dnia 21 sierpnia 2023 r. o numerze NOP/102/2023/R.

1. Ogólna charakterystyka, tematyka rozprawy

Recenzowana rozprawa składa się z 10 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniami w językach polskim i angielskim, spisem treści, spisami rysunków, tabel i rozbudowanym spisem załączników, a także wykazem symboli i oznaczeń. Po dziesiątym rozdziale rozprawy znajduje się spis wykorzystanej literatury, liczący 143 pozycje, wymienione zostały także trzy strony internetowe. Doktorant jest współautorem trzech z cytowanych artykułów.

Podkreślić należy, że recenzowana rozprawa jest bardzo obszerna – liczy 154 strony (bez załączników). Uzasadnione jest to wieloma aspektami poruszonymi w pracy. Treść znajdująca się w załącznikach bardzo dobrze charakteryzuje eksploatację przeprowadzoną w sąsiedztwie wybranego przez Autora poligonu badawczego – filaru pomiędzy blokami Cz i C oraz Cw, sejsmiczność w tym rejonie, a także wyniki pomiarów konwergencji odcinków wybranych wyrobisk korytarzowych. Decyzję Doktoranta, by informacje te znalazły się w załącznikach należy uznać za słuszną – są one istotne, jednakże zamieszczenie ich w głównym tekście utrudniałoby analizę treści rozprawy.

Promotorem rozprawy jest Pan prof. dr hab. inż. Józef Kabiesz, promotorem pomocniczym Pan dr inż. Jacek Myszkowski.

Tematyka rozprawy dotyczy problemu zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami wyrobisk górniczych zlokalizowanych w filarach ustanowionych dla ochrony wyrobisk korytarzowych. Filary te pozwalają w sposób skuteczny chronić wyrobiska przed statycznymi wpływami prowadzonej eksploatacji górniczej. Z tego powodu ich

wyznaczanie, a następnie wytwarzanie, pomijając problem uwięzienia w nich, w pewnych przypadkach stosunkowo znacznych zasobów kopaliny, jest korzystne i nie budzi wątpliwości. Z drugiej strony, pozostawienie niewybranych części złoża powoduje w nich wzrost naprężeń, występowanie niekorzystnych stanów deformacyjno-naprężeniowych w warstwach wstrząsogennych, kumulowanie w nich znacznych ilości energii sprężystej. Te negatywne czynniki prowadzą nieuchronnie do wzrostu zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami w wytwarzanym filarze. Intensywność tych procesów narasta w miarę zwiększania się głębokości na jakiej prowadzone są roboty górnicze, a tym samym pozostawiane są niewybrane części złoża.

Ze względu na zwiększającą się głębokość eksploatacji w kopalniach GZW, koniecznością sięgania po resztkowe części złoża, niejednokrotnie zalegające w sąsiedztwie filarów wytworzonych w wielopokładowym złożu, należy się spodziewać, że problem zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami wyrobisk zlokalizowanych w tych filarach już bardzo istotny, będzie narastał. W takich warunkach istotne jest opracowanie zasad postępowania umożliwiających skuteczne ograniczanie powyższego zagrożenia. Ważne jest także dysponowanie ustalonymi zasadami wymiarowania nowowyznaczanych filarów, uwzględniającymi nie tylko statyczne ale i dynamiczne (rozumiane jako oddziaływania wstrząsów górotworu na pozostawione części złoża) wpływy eksploatacji górniczej. Równie istotne jest opracowanie odpowiedniej metodyki ograniczania zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami w odniesieniu do filarów już istniejących, bo najczęściej z takimi przypadkami mamy do czynienia w aktualnie funkcjonujących zakładach górniczych.

W świetle powyższych uwag, podjęcie przez Autora rozprawy tematyki związanej z opracowaniem metodyki ograniczania zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami dla wyrobisk górniczych zlokalizowanych w ich filarach, uważam za bardzo celowe, biorąc pod uwagę zarówno względy poznawcze jak i aplikacyjne.

2. Zawartość merytoryczna rozprawy doktorskiej

We wprowadzeniu do pracy Autor krótko omówił zagadnienia dotyczące filarów ochronnych. Podał cel ich pozostawiania, obowiązujące definicje. Zasygnalizował także problem nieuwzględniania przy ich wyznaczaniu oddziaływań sejsmicznych i zagrożenia tąpniętami chronionych wyrobisk górniczych.

W drugim rozdziale przedstawione zostały rozważania dotyczące wymiarowania filarów ochronnych, zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami chronionych nimi wyrobisk,

a także wybrane metody aktywnej profilaktyki mające na celu zmniejszenie zagrożenia sejsmicznego (a tym samym tąpnięciami). Rozdział ten stanowi także obszerny przegląd literatury dotyczącej rozważanego przez Doktoranta zagadnienia. Odnosząc się do pierwszego zdania w tym rozdziale należy zwrócić uwagę, że z typowymi negatywnymi skutkami wytworzenia filaru mamy do czynienia, gdy jest to niewybrana część złoża otoczona dwustronnie zrobami (lub jednostronnie, ale po przeciwnych stronach filara, w blisko siebie zalegających pokładach – jak na rys.2.2.5).

W kolejnym, trzecim rozdziale pracy przedstawione zostały teza, cel oraz zakres pracy.

Teza pracy została sformułowana następująco:

„Obecny stan wiedzy oraz istniejące metody profilaktyki zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami umożliwiają skuteczne ograniczanie skutków geomechanicznych zjawisk dynamicznych na wyrobiska górnicze zlokalizowane w filarach ochronnych”.

Biorąc pod uwagę całość rozważań zamieszczonych w rozprawie można stwierdzić, że powyższa teza została udowodniona.

Powyższe stwierdzenie należy jednak ograniczyć do wstrząsów górotworu bezpośrednio związanych z prowadzonymi robotami górniczymi, które dominują w zbiorze wszystkich występujących zjawisk. Oprócz nich, sporadycznie obserwuje się wstrząsy o charakterze regionalnym. Te bardzo rzadkie zjawiska, które przede wszystkim z uwagi na ich bardzo małą liczbę, są stosunkowo słabo zbadane. Są one wywoływane skumulowanymi wpływami aktualnie prowadzonej eksploatacji oraz wcześniej przeprowadzonych wybrań. Występują one z reguły w rejonie dużych dyslokacji tektonicznych bądź w rejonach skomplikowanego wykształtowania resztek i krawędzi wieloletniej, wielopokładowej eksploatacji górniczej. W przypadku zjawisk o charakterze regionalnym, ich prognoza a tym samym profilaktyka, mająca na celu ich wyeliminowanie jest praktycznie rzecz biorąc niemożliwa. Nie dysponujemy metodami empirycznymi do prognozowania tych zjawisk. Wiarygodne zastosowanie metod analitycznych (numerycznych) obecnie również wydaje się niemożliwe. Z kolei są one zbyt mało liczne, by móc wykonać ocenę zagrożenia metodami statystycznymi - wykonywanie prognozy wstrząsów regionalnych w oparciu o zbiór rejestracji wszystkich silnych zjawisk jest nieuzasadnione ze względu na to, że mechanizm ich powstawania jest zasadniczo odmienny od mechanizmu zjawisk bezpośrednio indukowanych prowadzoną eksploatacją złoża (także tych charakteryzujących się dużą energią sejsmiczną).

Autor sformułował dwa cele pracy. Podstawowym było opracowanie procedury zasad racjonalnego projektowania filarów oraz doboru środków profilaktyki ograniczającej zagrożenie sejsmiczne i tąpniętami chronionych wyrobisk górniczych. Celem, który został określony jako dodatkowy, było wykazanie, że stosowane metody oceny stanu zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami umożliwiają dobór skutecznych metod profilaktyki tych zagrożeń.

Powyższe cele, z uwzględnieniem wcześniej wyartykułowanego zastrzeżenia, udało się autorowi osiągnąć.

Analizy, których rezultaty przedstawiono w rozprawie zostały przeprowadzone dla wytypowanego poligonu badawczego – filaru istniejącego w KWK ROW Ruch Marcel.

Zakres pracy obejmował:

- określenie metody badań,
- przeprowadzenie badań geologicznych i geomechanicznych warunków zalegania złoża w rejonie wybranego poligonu badawczego,
- pomiary konwergencji wyrobisk,
- obliczenia metodami analitycznymi i numerycznymi stanów deformacyjno-naprężeniowych i energetycznych w górotworze,
- zastosowanie metody sejsmicznej oraz pasywnej tomografii sejsmicznej,
- projekt i realizację ukierunkowanego hydroszczelinowania skał,
- opracowanie metodyki ograniczania zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami dla projektowanych oraz istniejących filarów.

Rozdział 4 zawiera opis przyjętej metody badań. Autor zaproponował kompleksowe podejście do rozważanego zagadnienia – dzięki zastosowaniu wielu metod (często wykorzystywanych, ale niezależnie od siebie) możliwe było uzyskanie założonych celów i udowodnienie przyjętej tezy rozprawy.

W rozdziale 5 przedstawiona została wyczerpująca charakterystyka wybranego przez Autora poligonu badawczego – filaru ochronnego dla pochylni pomiędzy blokami Cz i C oraz Cw. Historia wytwarzania tego filaru została szczegółowo omówiona w załączniku 1.

Szósty rozdział stanowi blisko 40% recenzowanej rozprawy. Jest to uzasadnione, ze względu na istotność zawartych w nich rozważań. W rozdziale tym, którego tytuł „*Stan zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami w filarze*”, może wprowadzić w błąd, zostały przedstawione wieloaspektowe rozważania dotyczące różnych czynników mogących mieć wpływ na poziom zagrożenia. Przedmiotem rozważań były:

warunki geologiczne zalegania złoża w rejonie badań (łącznie z wynikami badań introskopowych), parametry wytrzymałościowe skał, zbiorcze wyniki badań konwergencji pionowej i poziomej wybranych wyrobisk w filarze i jego bezpośrednim sąsiedztwie, wraz z ich szczegółową analizą (wszystkie wyniki tych pomiarów podane zostały w załączniku 3). W dalszej części tego rozdziału zamieszczono rezultaty obliczeń wraz z ich analizą: stanu naprężenia w pokładzie 505 i w jego otoczeniu, stanu deformacji warstw wstrząsogennych, rozkładu ilości energii odkształcenia sprężystego, wyniki pomiarów prędkości fali podłużnej w pokładzie i w warstwach stropowych oraz pasywnej tomografii sejsmicznej. Ostatni punkt opisywanego rozdziału został zatytułowany „*Prognoza stanu zagrożenia tąpniętami*”. Bardziej adekwatne do jego zawartości byłoby przyjęcie, że dotyczy on prognozy zagrożenia sejsmicznego.

W rozdziale 7 przedstawione zostały rezultaty próby dezintegracji ciągłości warstwy wstrząsogennej. W tym celu wykorzystana została metoda UHS. Przed jej zastosowaniem, w celu dobrania odpowiednich parametrów hydroszczelinowania, przeprowadzono modelowanie stanów energetycznych górotworu. Zastosowano do tego program wykorzystujący metodę elementów skończonych RS2, który pozwala wprowadzać do modelu płaszczyzny nieciągłości. Nawiasem mówiąc, wykorzystywany przez Autora do innych analiz program FLAC3D też posiada taką możliwość.

W ósmym rozdziale rozprawy, będącym swego rodzaju podsumowaniem rozważań, znalazło się zbiorcze omówienie rezultatów wykonanych analiz, badań, pomiarów i eksperymentów. Autor podkreśla, że podejmowanie właściwych decyzji na etapie wytwarzania nowego, bądź utrzymania istniejącego filaru ochronnego dla wyrobisk górniczych, wymaga:

- rozpoznania warunków zalegania złoża,
- oceny potencjalnego lub rzeczywistego stanu zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami,
- oceny stateczności wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych w filarze,
- jeżeli warunki tego wymagają – przeprowadzenia dezintegracji warstw wstrząsogennych.

Rozdział ten kończy podsumowanie, które mogło stanowić część rozdziału 10.

Rozdział 9, o tytule praktycznie tożsamym z tytułem rozprawy, zawiera opracowane w rezultacie przeprowadzonych badań schematy blokowe przedsięwzięć i decyzji dla dwóch sytuacji:

- wytwarzania nowego filaru chroniącego wyrobiska w wielu pokładach,
- istniejącego filaru w danym pokładzie.

W rozdziale 10 przedstawione zostało podsumowanie przeprowadzonych badań. Stwierdzenia zawarte w tym rozdziale są poprawnie sformułowane, wynikają z rozważań zaprezentowanych w rozprawie.

Podsumowując merytoryczną charakterystykę rozprawy, chciałbym podkreślić staranność jej przygotowania. Autor omówił wyczerpująco wszystkie istotne zagadnienia, a zarazem udało mu się uniknąć przeładowania treści zbędnymi szczegółami, które są dostępne w literaturze.

Indywidualnym osiągnięciem Doktoranta jest zaproponowanie trybu postępowania (sprecyzowanego w rozdziale 9 w formie opisowej i schematów blokowych) mającego na celu zabezpieczenie wyrobisk górniczych zlokalizowanych w filarach ochronnych przed skutkami wstrząsów wysokoenergetycznych i tąpnięć.

3. Uwagi i komentarze

Podczas lektury recenzowanej rozprawy nasunęło mi się kilka wątpliwości i uwag.

1. Odnosząc się do treści rozdziału 4, warto zwrócić uwagę, że pojęcie wyłężenia górotworu jest raczej zarezerwowane do procesu jego niszczenia, a także na to, że program EDN-OPN nie służy do wyznaczania rozkładów wartości stanu naprężenia.
2. W rozdziale 5 została zamieszczona mapa sumarycznej grubości wybrania złoża w rejonie rozpatrywanego filaru. Przebieg izolinii na tej mapie powinien być prostoliniowy – odpowiadać konturom wyrobisk ścianowych. Można próbować to uzyskać zagęszczając siatkę punktów obliczeniowych, przyjmując bardzo dużą, nierealistyczną wartość tangensa kąta zasięgu wpływów głównych oraz ograniczając interpolację uzyskanych wyników przez program wykorzystywany do wykonania mapy rozkładu obliczonych wartości.
3. Omawiając w rozdziale 6 zarejestrowaną sejsmiczność Autor pod pojęciem „*wstrząsy samoistne*” rozumie wstrząsy, które nie były indukowane prowadzonymi robotami górniczymi (określane jako „*wstrząsy sprowokowane robotami*”).

górnictwami”), tylko wystąpiły później niż po upływie dwóch miesięcy od ich zakończenia. Jest to nazewnictwo odmienne od przyjętego w instrukcji stosowania metody sejsmologii górniczej.

W pewnym stopniu zostało ono wyjaśnione na 61 stronie pracy. W wyjaśnieniu tym brakuje jednak warunku maksymalnej odległości ogniska wstrząsu od prowadzonych robót, pozwalającej przypisać dane zjawisko do konkretnych robót górniczych.

4. W tym samym rozdziale Autor zaprezentował bardzo ciekawe wyniki pomiarów konwergencji wybranych wyrobisk górniczych. Analizując rezultaty tych pomiarów warto było uwzględnić stan obudowy rozpatrywanych wyrobisk. Czy występowały istotne różnice w tym zakresie?

Ciekawe stwierdzenie dotyczące pomiarów konwergencji znalazło się na stronie 72 i w formie wniosku 4 na stronie 83. Autor stwierdził, że *„powstałe dzień wcześniej zwiększone wartości konwergencji wymienione powyżej, mogły być zwiastunem tego wstrząsu”*. Wprawdzie nie jest to związane z tematem rozprawy, ale interesujące jest, czy zaobserwowano zwiększenie konwergencji wyrobiska przed wystąpieniem wstrząsu w przypadku innych zjawisk, w szczególności wysokoenergetycznych?

5. Także w rozdziale 6 Doktorant przedstawił wyniki prześwietlania sejsmicznego wykonanego w części pola ściany C-4 w pokładzie 505wg. Na jakiej podstawie została przyjęta prędkość odniesienia wynosząca 1850 m/s – czy skorzystano z podanej przez prof. J. Dubińskiego zależności, czy jest to rezultat pomiaru?

6. Autor dwukrotnie wykorzystuje rezultaty modelowania numerycznego (programem FLAC3D – rozdział 6 oraz programem RS2 – rozdział 7). W przypadku modelowania stanu naprężenia w sąsiedztwie pokładu 505 przyjęty został liniowo-sprężysty model konstytutywny. Nie negując konieczności i zasadności przyjmowania uproszczeń podczas modelowania, należy zwrócić uwagę, że bardziej realistyczne wyniki można było uzyskać przyjmując bardziej zaawansowany model konstytutywny – na przykład sprężysto-plastyczny.

W jaki sposób zostały ustalone wartości parametrów górotworu? Z czego wynikają istotne różnice wartości tych parametrów przyjmowanych do obliczeń stanów naprężenia (rozdział 6) i stanów energetycznych (rozdział 7)?

Na przykład dla piaskowca w przypadku pierwszych z wyżej wymienionych obliczeń przyjmowano wartości modułów sprężystości postaciowej i objętościowej

odpowiednio: $G = 4,35 \text{ GPa}$, $K = 4,76 \text{ GPa}$, natomiast w przypadku obliczeń stanów energetycznych (po przeliczeniu podanych wartości E i ν , korzystając z zależności $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$) przyjmowano $G = 8,92 \text{ GPa}$, $K = 8,93 \text{ GPa}$.

7. Charakteryzując efektywność wykonanego zabiegu hydroszczelinowania Autor stwierdza, że *„osłabiona w tym miejscu warstwa piaskowca zaczęła, po zbliżeniu się frontu ściany C-4 w pokładzie 505wg, pękać wzdłuż płaszczyzn wykonanych szczelin, emitując serię wstrząsów o ograniczonych energiach”*. Jak należy w takim razie interpretować dane zawarte w tabelicy 7.2 – zgodnie z nimi po upływie miesiąca od przeprowadzonego hydroszczelinowania do końca analizowanego okresu wystąpiło sześć wstrząsów o energii sejsmicznej rzędu 10^5 J i jeden o energii sejsmicznej rzędu 10^6 J ?

Pragnę podkreślić, że wysoko oceniam merytoryczny poziom recenzowanej pracy. Sformułowane uwagi nie zmieniają tej wysokiej oceny rozprawy. W oparciu o analizę przedłożonej pracy stwierdzam, że Doktorant bardzo rzetelnie wykonał zaplanowany przez siebie zakres badań i analiz. Umożliwiło to zrealizowanie założonego celu i udowodnienie tezy pracy. Treść rozprawy świadczy o jego dobrej znajomości opisywanej problematyki.

Rozprawa została bardzo starannie zredagowana, tym niemniej Doktorant nie ustrzegł się drobnych potknięć (m.in.: wątpliwe sformułowania: „specyficzne długodystansowe mechanizmy reakcji górotworu na jego podbieranie”, „górną ścianą modelu została obciążona ciśnieniem o wartości 20 MPa”, „miejsca występowania naprężenia rozciągającego można kojarzyć z lokalizacją potencjalnych wstrząsów sejsmicznych”, „program FLACK 3D”, „prognoza maksymalnych wartości wstrząsów sejsmicznych”, „energie te zostały określone w wysokości”, „analiza przebiegów zmian wartości i tempa (gradientu) przyrostów wartości konwergencji”, „nadmiarowe wartości naprężenia”, „można ją przeprowadzić metodami analitycznymi lub/i formalnymi”, „silna aktywność sejsmiczna”, „nadmiarowy stan zagrożenia sejsmicznego”; uważam, że wskazana byłaby dwupoziomowa numeracja rysunków i tabel). Powyższe usterki nie mają wpływu na merytoryczną wysoką ocenę pracy.

Wniosek końcowy

W konkluzji wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Andrzeja Hadama p.t. „**Metodyka ograniczania zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami dla wyrobisk górniczych zlokalizowanych w ich filarach**” dotyczy dyscypliny naukowej Górnictwo i geologia inżynierska (której aktualnie odpowiada dyscyplina naukowa Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka). Praca ma charakter poznawczy i użyteczny, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego sformułowanego w temacie rozprawy, potwierdza, że Autor posiada szeroką wiedzę teoretyczną i umiejętność prowadzenia badań naukowych w zakresie dyscypliny Górnictwo i geologia inżynierska (Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka).

Analizowana rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w *Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki oraz Ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. Na tej podstawie wnoszę do Rady Naukowej GIG o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

