

Dr hab. inż. Piotr Małkowski, prof. AGH
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami
Akademia Górniczo-Hutnicza
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 2021-06-07

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Adama Ratajczaka

***pt. "Geotechniczne uwarunkowania ochrony skrzyżowania ściana-chodnik
za pomocą kotwienia"***

1. Podstawy wykonania recenzji

Niniejszą recenzję sporządzono na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 25.03.2021 roku. Pismo w tej sprawie zostało wysłane przez Biuro Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej 14.04.2021 roku. Promotorem pracy jest pan dr hab. inż. Stanisław Duży, prof. PŚl., a promotorem pomocniczym dr inż. Piotr Głuch.

2. Ogólny opis pracy

Praca mgr inż. Adama Ratajczaka pt. "Geotechniczne uwarunkowania ochrony skrzyżowania ściana-chodnik za pomocą kotwienia" dotyczy możliwości utrzymywania skrzyżowania ściana-chodnik w polskich kopalniach węgla, biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia kopalni „Knurów-Szczygłowice”, Ruch „Knurów”. Praca składa się z dziewięciu rozdziałów oraz zestawu literatury napisanych na 193 stronach. Zawiera 105 rysunków i 49 tabel.

Pierwszy i drugi rozdział stanowi wstęp oraz opis celu, zakresu i tezę pracy. W trzecim opisanym metody utrzymywania skrzyżowania ściana-chodnik, przede wszystkim opisując możliwości wykorzystania w tym celu kotwienia. Rozdział czwarty zawiera analizę

właściwości geomechanicznych skał stropowych przeprowadzoną dla piętnastu chodników przyścianowych w „Knurów-Szczygłowie”, Ruch „Knurów”, wykorzystując w tym celu dane z badań penetrometrycznych i określając penetrometryczną wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie oraz tzw. penetrometryczny wskaźnik jakości masywu RQD_p . W rozdziale piątym dla kolejnych trzech chodników podścianowych przedstawiono nie tylko ocenę właściwości parametrów geomechanicznych skał stropowych, ale także ocenę zachowania się górotworu przy zbliżającym się froncie ściany. W tym celu wykorzystano pomiary endoskopowe, pomiary rozwarstwień stropu oraz pomiary konwergencji. Dla zobrazowania zmian, jakie zachodzą podczas oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego monitoring górotworu na stacji pomiarowej wykonywano kilkakrotnie przed zbliżającym się frontu ściany. W rozdziale szóstym przedstawiono badania stanowiskowe odrzwi obudowy ŁP i ŁPSp wykonane w laboratoriach Politechniki Śląskiej oraz firmy P.P-W. Pro-Kom. Wykonano je dla warunków zsuwnych, w stanie usztywnienia oraz przy przykotwieniu odrzwi kotwami stalowymi z wypięciem jednego z łuków ociosowych. Siódmy, krótki rozdział stanowi opis analityczno-empirycznej metodyki projektowania obudowy podporowo-kotwowej dla zabezpieczania skrzyżowania ściana-chodnik.

Rozdział ósmy zawiera ocenę ryzyka utraty stateczności skrzyżowania w oparciu o możliwą zmianę długości kotwi, jej nośności oraz nośności układu obudowy podporowej ze wzmocnieniem kotwami. Dla ww. przypadków określono także prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznego stanu konstrukcji. Powyższe rozważania odniesiono do 18 wcześniej analizowanych wyrobisk przyścianowych, wskazując na prawdopodobieństwo wystąpienia awarii podczas utrzymywania skrzyżowań tych wyrobisk w wyrobiskiem ścianowym. Rozdział 9 stanowi podsumowanie pracy oraz zawiera 12 wniosków.

3. Ogólna ocena pracy

Praca napisana jest ładnym językiem, w sposób estetyczny i przejrzysty. Dobrze się ją czyta. Zawiera pewne drobne błędy literowe (np. błędnie wpisane numery rysunków, błędnie wpisane symbole we wzorach, brak „ogonków” polskich liter), co nie wpływa na czytanie i zrozumienie pracy. Jej układ jest logiczny, a praca spójna.

Autor, po zdefiniowaniu tezy pracy, na początku wykonał przegląd sposobów wzmacniania skrzyżowania ściana–chodnik i metod oceny jego stateczności (state-of-the art). Tu korzystał praktycznie tylko z literatury polskiej i częściowo niemieckiej, pokazując najważniejsze metody zabezpieczeń skrzyżowań.

Następnie dla piętnastu wyrobisk przyścianowych wykonał szczegółową analizę danych geotechnicznych, aby móc określić w jakich warunkach pracowała obudowa podporowo-kotwowa. Była to najbardziej czasochłonna i pracochłonna część rozprawy, niemniej niezbędna dla możliwości przeprowadzenia dalszych analiz. W tym miejscu można tylko żałować, że warunki stropowe w KWK „Knurów-Szczygłowie”, Ruch ‘Knurów’ są tak mało zróżnicowane (dla otworów generalnie $R_{cpen} = 24-37$ MPa, $RQD_p = 45-60\%$), stąd wszędzie chodniki przyścianowe zostały wzmocnione krótkimi kotwami prętowymi. Bardzo dobre warunki stropowe potwierdziły także badania konwergencji, rozwarstwień stropu oraz badania endoskopowe, pokazujące ruchy górotworu i definiujące klasę stropu wg ERMF przedstawione w kolejnym rozdziale. Tu autor prowadził badania dołowe, prowadząc monitoring wyrobisk do linii frontu ściany i wykonując kilkakrotnie pomiary endoskopowe. Wykazał w ten sposób, że propagacja spękań w bezpośrednim stropie badanych wyrobisk była nieznaczna, nawet kilka metrów przed skrzyżowaniem ściana–chodnik, co potwierdziło wysoką ocenę jakości skał stropowych wykonaną w poprzednim rozdziale. Dla lepszego zrozumienia idei badań, przed rozdziałami 3 i 4 dobrze byłoby napisać dlaczego ocenę parametrów geotechnicznych Doktorant prowadził nie tylko dla całego pakietu skał i stropu bezpośredniego, ale także odcinka stropu 2-3 m. Autor wspomina o tym dopiero pod koniec rozdziału 4 na stronie 67.

Przeprowadzone badania stanowiskowe dla obudowy łukowej podatnej ŁP dla wyrobisk korytarzowych oraz obudowy spłaszczonej ŁPsp dla przecinek ścianowych wzmocnionych kotwami, przedstawione w rozdziale 6 uważam za najbardziej istotne z punktu widzenia poznawczego. Autor udowodnił w tym miejscu, że przykotwione odrzwia po wypięciu łuku ociosowego przenoszą siły bliskie nośności roboczych odrzwi bez przykotwienia. Ponadto wykazał, że przykotwione odrzwia również pracują podatnie oraz przedstawił ilościowo znaczenie wzmocnienia odrzwi kotwami.

Z punktu widzenia praktyki inżynierskiej najważniejszy jest z kolei rozdział 7. Doktorant pokazał w nim, krok po kroku, metodykę projektowania przykotwionej obudowy podporowej dla skrzyżowań wyrobisk przyścianowych z wyrobiskiem ścianowym. Oprócz

doboru kotew i ustalenia współczynnika bezpieczeństwa dla utrzymania skrzyżowania, mgr inż. Adam Ratajczak podał także zalecenia dotyczące monitoringu górotworu i kontroli obudowy.

Ciekawe podejście do oceny stateczności skrzyżowań wyrobisk przyścianowych z wyrobiskiem ścianowym Doktorant pokazał w rozdziale 8, określając ryzyko utraty stateczności skrzyżowania ze względu na błędnie zaprojektowaną obudowę podporowo-kotwową oraz wskazując także prawdopodobieństwo niepełnienia warunku stateczności skrzyżowania. Jak pokazuje w pracy na stronach 178-180 część wyrobisk zaprojektowana została (nieświadomie) z bardzo wysokim ryzykiem utraty stateczności utrzymywanego skrzyżowania ściana-chodnik, choć poza wpływem czynnego frontu eksploatacyjnego wartości te były akceptowalne. Takie analizy mogą w przyszłości wspomagać projektowanie wyrobisk przyścianowych w górnictwie węglowym.

Określone ostatecznie średnie wartości wytrzymałości penetrometrycznej na ściskanie R_{cpen} , penetrometrycznego wskaźnika RQD_p , liczby spękań N , odstępów spękań d , gęstości spękań Γ , sumarycznego rozwarstwienia stropu bezpośredniego S (do 3 m) oraz zasięgu intensywnych spękań f_z przedstawione we wnioskach mają duże znaczenie praktyczne dla prawidłowego projektowania wzmocnienia obudowy podporowej za pomocą krótkiego kotwienia. Wszystkie przedstawione wnioski wynikają z rozważań zawartych w pracy.

4. Uwagi oraz punkty dyskusyjne

W trakcie czytania pracy nasuwają się pewne uwagi oraz stwierdzenia dyskusyjne. Są to kolejno:

1. Tytuł pracy mówiący o ***ochronie skrzyżowania ściana-chodnik za pomocą kotwienia*** jest mylący. Czytelnik oczekuje ogólnych zasad kotwienia za pomocą dowolnego typu kotwi, a nie tylko prętowych kotwi stalowych. Moim zdaniem, do tytułu warto było dodać słowo „niskiego kotwienia”.
2. Autor pracy na s. 17 pisze, że „przykotwienie odrzwi stanowi aktualnie najczęściej stosowaną metodę ochrony skrzyżowania ściana–chodnik”. Z kolei na s. 20 pisze: „wysokie kotwienie jest obecnie dominującym sposobem wzmocnienia obudowy łukowej skrzyżowania ściany z chodnikiem”. Jest to niekonsekwencja, która powinna

zostać uporządkowana, bowiem w dalszej części pracy Doktorant nie zajmuje w tej sprawie stanowiska.

3. Dla określenia zasięgu strefy spękań mgr inż. Adam Ratajczak wybrał model Z. Kłeczka (s. 30), podając, że stosuje się go dla chodników przyścianowych. Wzór (4.1) odbiega jednak od oryginału i nie jest jedynym, jaki można zastosować dla wyrobisk korytarzowych. Wybór związany jest zawsze z modelem fizycznym górotworu. Dlaczego zatem wybrano ten model i skąd dodatkowe współczynniki w ww. wzorze?
4. Wskaźnik *RQD*, to tzw. podzielność rdzenia wiertniczego (angielska nazwa *Rock Quality Designation*), określana na rdzeniach wiertniczych (Deere 1964). Nie jest to wskaźnik szczelinowości. Opracowany w latach 90. XX wieku przez GIG wskaźnik *RQD_p* na podstawie analizy spadków wytrzymałości skał badanych penetrometrem został nazwany „penetrometrycznym wskaźnikiem jakości masywu”. Fizycznie zatem są to dwa różne parametry: jeden badany na odprężonych rdzeniach, a drugi w quasi-trójosiowym stanie naprężenia w górotworze, choć oba odnoszą się do charakterystycznej intensywności spękań. Można szukać pomiędzy nimi korelacji, ale z czego wynika przyjęta *ad hoc* wartość wskaźnika dopasowania 0,95 (s. 35)?
5. Zasięgi stref spękań w stropie wyznaczonych na stronach 40, 42, 45, 47 i 63 przypuszczam, że określono wg formuły Kłeczka, a nie badań penetrometrycznych.
6. Podzielność skał w stropie chodnika 5b (s. 52) i 1b (s. 61) jest tylko blokowa.
7. Pokazywanie zmian mierzonych wartości konwergencji lub rozwarstwień nie narastająco, tylko względem poprzedniego pomiaru utrudnia śledzenie zmian i jest niekompatybilne ze sporządzonymi potem wykresami (tabele 5.2-5.5, 5.9, 5.18-5.19).
8. W tabelach 5.8, i 5.16 błędnie podana została klasa górotworu wg wskaźnika *ERMF* przyjmując gorsze oceny niż wynika to z obserwacji. Autor nie odniósł się tu również do zalecanej obudowy wyrobisk korytarzowych wg wskaźnika *ERMF*, która, jak podaje, jest zgodna z tą, jaką stosowano w badanych chodnikach.
9. W zaproponowanym wzorze (5.3) na współczynnik bezpieczeństwa S_{bsc-ch} utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik przyjęto wydłużenie graniczne systemu kotwi z obejmą w_{gk} . Autor odnosi się tu głównie do wydłużenia pręta kotwi. W przypadku wyrobisk na Ruchu „Knurów” stosowane są jednak kotwy wklejane na całej długości, zatem bez swobodnego odcinka, a współpracujące z górotworem na zasadzie adhezji kotew

– klej – górotwór. Mogą być też np. wklejone tylko na 2-3 ładunkach klejowych, czyli na $\frac{2}{3}$ swojej długości. Jak w takim przypadku określać wartość w_{gk} ?

10. Analizując bardzo wysokie wartości penetrometrycznej wytrzymałości na ściskanie (47 MPa) oraz wskaźnika RQD_p (88%) w otworze stropowym w chodniku 8b, rozwarstwienie skotwionego stropu równe 5 mm jest możliwe. Autor rozprawy uważa, że przyczyną niskiej wartości była awaria wskaźnika (s. 123).
11. Przedstawione ogólne formy funkcji umożliwiające obliczenie obciążenia obudowy i jej odchylenie standardowe nie pozwalają na ocenę obliczeń kontynuowanych na kolejnych stronach pracy. Ponadto we wzorach pojawiają się trudne do praktycznego wyznaczenia wielkości takie jak: wartość ekstremalna momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy, wartość siły osiowej w tym miejscu, graniczne odkształcenie sprężyste skał. Czy Autor mógłby przedstawić przykład obliczeń dla wybranego wyrobiska?
12. Histogram obciążeń obudowy i nośności na rysunkach 8.10 i 8.11 dotyczy nie samych odrzwi, jak wskazuje podpis pod rysunkiem, ale odrzwi wzmocnionych kotwami.
13. Prawdopodobieństwo osiągnięcia stanu niebezpiecznego konstrukcji w sześciu przypadkach Autor pracy określił jako „niedopuszczalne”, a wartość prawdopodobieństwa utraty stateczności w jednym przypadku osiągnęła wartość 0,95. Jakie kroki w wyrobiskach podjęto dla ograniczenia ryzyka awarii? Jak zachowywał się górotwór w tych miejscach? Czy faktycznie były problemy z utrzymaniem chodnika podścianowego podczas prowadzonej eksploatacji?
14. Podając zalecenia dotyczące parametrów górotworu dla bezpiecznego niskiego kotwienia (tu Autor użył już słowo „niskiego”) we wnioskach pracy (s. 183) mgr inż. Adam Ratajczak podaje ich średnie wartości. Uważam, że wobec dużej zmienności właściwości skał karbońskich dla stropu bezpośredniego objętego krótkim kotwieniem dodatkowo powinno się również podać wartości minimalne wytrzymałości, wskaźnika RQD lub też liczby spękań i rozwarstwienia. W przypadku dużego spękania skał stropowych lokalnie na odcinku na przykład pierwszych 80-100 cm wartości ww. parametrów mogą być bardzo niskie, ale średnia wartość dla 3-metrowego pakietu skał będzie spełniać podane wymagania. Kotwienie będzie jednak wtedy nieskuteczne lub w ogóle niemożliwe.

5. Pytania do pracy

Biorąc pod uwagę przeprowadzone przez doktoranta doświadczenia i analizy można sformułować również pytania ogólne z zakresu geomechaniki i praktyki górniczej, na które podczas obrony proszę o odpowiedź:

1. Czy naciąg wstępny kotwi jest konieczny? Jeżeli tak, to jaka to powinna być siła i dla jakich warunków? Wartość momentu dokręcającego kotew podana na str. 158 równa wg Opolonego 300 kNm jest myląca, bowiem wielkość siły osiowej przy ww. momencie będzie się zmieniać wraz z odkształcalnością sprężanych skał.
2. Według załącznika 3 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, pt. „Projektowanie, wykonywanie i kontrola obudowy kotwionej w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny oraz zakładach górniczych wydobywających rudy miedzi, cynku i ołowiu” (Dz. U. nr 139, poz. 1169 z 2002) w punkcie 1.6.1 określano minimalną odległość wzmacniania stropnicy obudowy podporowej za pomocą elementów obudowy kotwionej od czoła frontu ściany na 60 m. Wobec różnych przypadków stateczności kotwionych wyrobisk z przepisu tego się później wycofano. Jaka może być, według Pana, minimalna odległość wyprzedzającego wzmacniającego kotwienia stropu wyrobiska przyścianowego przed frontem ściany w warunkach KWK „Knurów-Szczygłowie”, Ruch ‘Knurów’?

6. Wniosek końcowy

Mgr inż. Adam Ratajczak w swojej pracy *„Geotechniczne uwarunkowania ochrony skrzyżowania ściana-chodnik za pomocą kotwienia”* wykazał się umiejętnością samodzielnego rozwiązywania złożonego zadania badawczego. Zaplanował i konsekwentnie zrealizował badania kopalniane i stanowiskowe oraz przeprowadził obliczenia i analizy. W powyższym procesie rozwiązał postawiony sobie problem naukowy i udowodnił postawioną tezę. Wykazał zasadność łączenia aktywnej obudowy kotwionej z pasywną obudową podporową i pokazał skuteczność działania takiej obudowy w warunkach dołowych kopalni

węgla, a także przedstawił autorską metodykę projektowania zabezpieczenia skrzyżowania ściana–chodnik za pomocą niskiego kotwienia.

Doktorant wykazał się zatem wystarczającą wiedzą teoretyczną oraz umiejętnościami praktycznymi dla samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Tym samym spełnił wymogi formalne stawiane pracom doktorskim. W związku z tym zgodnie z art. 13 ustawy z dnia 14.03.2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”. (Dz.U. 2003, Nr 65, poz. 595) oraz ”O zmianie ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym...” (Dz.U. 2017, poz. 859) wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Adama Ratajczaka do publicznej obrony.