

Katedra Górnictwa
Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii
Politechnika Wrocławska
ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Ficka

pt. „Określenie nośności stalowej obudowy odrzwiowej pokrytej torkretem”

Podstawa prawna recenzji: Pismo Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa,
Pana prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska nr NOP/107/2022, z dn. 11.04.2022 r

1. Ocena ogólna pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Ficka obejmuje zakres prac zmierzających do ustalenia odpowiednich parametrów torkretu, które pozwolą na zapewnienie stateczności wyrobiska korytarzowego w warunkach skorodowanej obudowy odrzwiowej i jednocześnie zabezpieczyć ludzi i sprzęt przed obrywającymi się z ociosów i stropu odłamkami skalnymi lub przed zawałami będącymi następstwem stopniowego deformowania się warstw górotworu wskutek zmiany pierwotnego stanu naprężenia w górotworze, np. spowodowanego wykonaniem samego wyrobiska. W trakcie użytkowania takiej obudowy bardzo często poddawana jest ona działaniu agresywnego środowiska tj. panującego mikroklimatu kopalnianego czy wód kopalnianych wyływających z górotworu, charakteryzujących się dużym zasoleniem i wysokim poziomem mineralizacji co powoduje zachodzenie intensywnych procesy korozji. Ocena wpływu korozji na spadek nośności obudowy łukowej jest bardzo trudna, ponieważ najczęściej zachodzi ona na łuku w sposób bardzo nieregularny. Należy przy tym zauważyć, że korodowanie wewnętrznej powierzchni kształtownika jest szczególnie niebezpieczne z uwagi na utrudnioną kontrolę oraz możliwość wystąpienia głębokich ubytków prowadzących do ograniczenia nośności. Dla zachowania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, stalowa obudowa odrzwiowa charakteryzująca się widocznymi oznakami korozji powinna zostać poddana ocenie pod kątem spełniania założonych parametrów podpornościowych, a w przypadku wystąpienia ryzyka utraty nośności poddana zabiegom wzmocnienia.

Jednym ze sposobów wzmocnienia skorodowanej obudowy jest torkretowanie, które pomimo pewnych ograniczeń, jest stosowane na coraz szerszą skalę. Wynika to między innymi z tego, że jest to sposób stosunkowo niedrogi, a przede wszystkim bezpieczny na etapie wykonywania. Dlatego uważam, iż podjęcie tego tematu przez Doktoranta było celowe i przemyślane, a tematyka rozprawy jest moim zdaniem w pełni uzasadniona. Wspomniane wyżej aspekty problemu zostały dostatecznie uwypuklone w części literaturowej i w rozdziale nakreślającym cel i zakres pracy.

Rozprawa składa się z ośmiu rozdziałów, w tym spisu literaturowego (179 pozycji wykorzystanych w pracy). Jakość prezentacji graficznej zawartej w pracy oceniam bardzo wysoko, rysunki wykonane są starannie i przejrzyste, a literatura cytowana bez większych uchybień. Układ pracy jest tradycyjny, zawiera część wstępną – literaturową (rozdział 1 i 2),

przedstawienie celu i zakresu pracy (rozdział 3), część doświadczalną opisującą przyjętą procedurę badawczą, przebieg prowadzonych eksperymentów oraz analizę wyników badań wraz z ich dyskusją (rozdziały 4-6). Rozdział 7 zawiera podsumowanie i wnioski wyciągnięte na podstawie przeprowadzonych badań.

Zaletą pracy jest logiczny układ podporządkowany konkretnemu celowi. W przypadku prac naukowych polegających na ocenie wpływu określonych parametrów na skuteczność zachodzących procesów fizycznych, istotne jest przedstawienie założeń modelowych pozwalających na ocenę zakresu stosowalności otrzymanych wyników. Doktorant podjął się zadania i na podstawie wyników prowadzonych badań in-situ nośności obudowy stalowej odrzwiowej, pokrytej warstwą betonu natryskowego przeprowadził kalibrację modelu komputerowego z wykorzystaniem MES, która polegała na odpowiednim doborze sztywności odporu ociosu tak, aby uzyskane charakterystyki obciążeniowo-odkształceniowe przyjętych wariantów symulacji były zgodne z uzyskanymi w warunkach in – situ. Chciałbym wyraźnie podkreślić duże znaczenie utylitarne podjętych działań, których efekty istotnie poszerzają wiedzę w zakresie wnioskowania o optymalnych parametrach obudowy powłokowej dla konkretnych przypadków stopnia korodowania obudowy.

Na uwagę zasługuje zaproponowana przez Doktoranta wieloetapowa procedura badawcza obejmująca badania laboratoryjne, liczne eksperymenty dołowe oraz symulacje numeryczne. W celu potwierdzenia wpływu korozji na zmianę parametrów złączy ciernych Doktorant przeprowadził badania laboratoryjne polegające na wyznaczeniu nośności złączy ciernych oraz wytrzymałości na zginanie skorodowanych złączy łukowych i kształtowników korytkowych uzyskanych w wyniku przebudowy wyrobiska. Badania wykazały, że silnie skorodowane odrzvia pracują jako obudowa sztywna, a nośność pojedynczej odrzwi jest ograniczona wytrzymałością łuków, a nie nośnością połączeń ciernych. Tym samym Doktorant wykazał, że nie ma konfliktu między charakterem pracy sztywnej powłoki wykonanej z betonu natryskowego a obudową odrzwiową – początkowo podatną, a następnie usztywnioną korozją połączeń ciernych.

Znaczącym dokonaniem poznawczym Autora są wyniki badań prowadzonych w warunkach kopalnianych, na podstawie których dla zaproponowanych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych obudowy mieszanej Doktorant oszacował ich nośność, wskazując jednocześnie wpływ grubości powłoki torkretowej, wytrzymałości na rozciąganie, a także sposobu rozłożenia wymuszanego obciążenia na jej wartość. Imponujący jest przy tym zakres niezbędnych prac przygotowawczych jakie Doktorant musiał zrealizować dla osiągnięcia założonego celu, wykazując m.in. umiejętność posługiwania się nowoczesnymi technikami pomiarowymi opartymi na technologii skaningu laserowego czy tensometrii oporowej. Zaproponowany przez Doktoranta układ obciążający odrzvia składający się z elementów sekcji obudowy zmechanizowanej okazał się skuteczny i pozwolił w większości przypadków osiągnąć w sposób stabilny, zamierzone efekty uszkodzenia powłoki torkretowej.

Na uwagę zasługuje podejście do zaproponowanych przez Doktoranta badań symulacyjnych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, którymi posłużył się do odwzorowania pracy obudowy odrzwiowej pokrytej torkretem (rozdz. 5). Wysoko oceniam zarówno etap przygotowania do badań związany z opracowaniem modeli zbudowanych z elementów belkowych (BEAM) i bryłowych (SOLID) jak i uzyskane efekty dla przyjętych wariantów symulacji. Przeprowadzone analizy w pierwszej kolejności pozwoliły na kalibrację modeli obliczeniowych poprzez sprawdzenie poprawności odwzorowania pracy odrzwi zabudowanych w wyrobisku oraz pozwoliły przejść do zasadniczych analiz numerycznych jakim były symulacje zachowania wybranych pięciu wariantów odrzwi pokrytych torkretem,

odpowiadającym rozwiązaniom zastosowanym w stanowiskowych badaniach dołowych. Warianty te obejmowały różne grubości powłoki z betonu natryskowego (od 5 do 25 cm), różne rozstawy odrzwi (0,50, 0,75 i 1,00 m) oraz różny moduł sprężystości betonu (10, 15, 20 i 30 GPa). Otrzymane wartości naprężeń w modelach porównano z wybranymi wartościami kryteriów wytrzymałościowych dla stali i betonu natryskowego. W efekcie Doktorant uzyskał nośność odrzwiowej obudowy mieszanej w zależności od parametrów mechanicznych stali i betonu oraz parametrów geometrycznych powłoki. Rozbieżność wyników analiz numerycznych z uzyskanymi podczas badań eksploatacyjnych, przy tak dużej staranności prowadzonych eksperymentów przez Doktoranta, wskazują na dużą złożoność zagadnienia i potwierdziły trudność w odwzorowaniu obudowy mieszanej z odrzwi stalowych pokrytych torkretem. Pomimo tego uważam, że znacznie poszerzają zakres wiedzy o współpracy stalowej obudowy odrzwiowej pokrytej torkretem z górotworem, ponieważ praca zawiera cały szereg wniosków o dużym znaczeniu praktycznym.

2. Uwagi do pracy.

Autor nie ustrzegł się drobnych błędów bądź niejasności rodzących następujące pytania/uwagi szczegółowe:

- Doktorant przeprowadził analizę nośności stalowej obudowy odrzwiowej pokrytej wzmacniającą warstwą torkretu. Jednak w pracy, poza krótkim fragmentem tekstu na str. 58 i 59, nie odniósł się w sposób wyczerpujący do problematyki zmiany sposobu pracy z układu górotwór - obudowa ŁP na nowy układ górotwór - obudowa ŁP + torkret. Obudowa ŁP jest obudową podatną, dobrze współpracuje z górotworem, dlatego znalazła bardzo szerokie zastosowanie do zabezpieczenia stateczności wyrobisk korytarzowych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Natomiast obudowa mieszana jako konstrukcją sztywną ma ograniczone zastosowanie i wielu przypadkach jedynym rozwiązaniem będzie konieczność przebudowy wyrobiska i wymiana skorodowanych odrzwi na nowe. Proszę Doktoranta o rozwinięcie tego zagadnienia i wyjaśnienie czy i w jakich przypadkach zabudowy stalowej obudowy odrzwiowej większym problemem jest jednak utrata jej podatności, która ogranicza ewentualne zastosowanie usztywniających powłoki z betonu natryskowego?
- Do wad torkretu stosowanego jako wzmocnienia obudowy stalowej Doktorant wymienił m.in. brak możliwości kontroli stanu odrzwi po torkretowaniu oraz różną charakterystyką pracy tych obudów. Ponieważ woda znajdująca się w betonie w efekcie powstawania jego mikro spękań i przenikania z atmosfery kopalnianej dwutlenku węgla może z czasem zmieniać swój odczyn PH (-z zasadowego na kwaśny) i dodatkowo przyspieszać proces korozji elementów stalowych pod warstwą torkretu, proszę o wyjaśnienie czy stosowane są dodatkowe środki techniczne, chemiczne, zapobiegające zachodzeniu tego zjawiska?
- Do kalibracji modelu numerycznego Doktorant wykorzystał wyniki badań prowadzonych w warunkach kopalnianych posługując się czujnikami linkowymi i tensometrycznymi przetwornikami sił. Przed przystąpieniem do pomiarów zasadniczych wymagane jest

w takim przypadku sprawdzenie poprawności ich działania, oszacowanie błędu pomiarowego w trakcie skalowania, gdzie dla zadanych wartości obciążeń wymuszonych odczytuje się wartości rejestrowane. Ponieważ nie znalazłem w pracy informacji na ten temat proszę Doktoranta o komentarz?

- W symulacjach numerycznych Doktorant przyjął 6 wariantów obciążenia łuku stropnicowego obudowy (tabela 5.1 str. 126-127). Układ taki, podobnie jak na stanowiskach do badań dołowych (rys. 15 str. 60 oraz rys. 21 str. 64), symuluje tylko jedną sytuację pola naprężeń w górotworze: naprężenia pionowe. Liczne obserwacje i badania dołowe prowadzone w krajowych podziemnych kopalniach rud miedzi oraz w kopalniach węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) potwierdzają występowanie różnych przypadków pól naprężeń w górotworze, włącznie z takimi, gdzie co najmniej jedna ze składowych naprężeń poziomych jest większa od wartości naprężeń pionowych. Proszę zatem o rozwinięcie zagadnienia wyboru tak przyjętego sposobu obciążania przyjętego do badań symulacyjnych?
- Proszę Doktoranta o wyjaśnienie w jaki sposób w przygotowanym modelu MES opisane zostały oddziaływania powierzchniowe pomiędzy elementami obudowy stalowej, a warstwą torkretu? Z opisu wynika, że obydwa elementy potraktowano jako materiał jednorodny, zatem czy symulacje takie mogą być obarczone dodatkowym błędem?
- W kilku przypadkach Doktorant analizując prowadzone badania dość lakonicznie obchodzi się z ich wynikami. Dla przykładu podczas badań kopalnianych tylko w jednym przypadku, na stanowisku 9, nastąpiło zniszczenie warstwy torkretu. Ciekawość badacza zmusza mnie do zadania pytania, dlaczego? W mojej ocenie doktorant powinien wykazać się głębszą refleksją podczas analizy przyczyn niezgodności modelu MES z pomiarami in-situ, którą przedstawił w rozdziale 5. Takie podejście powinno skutkować wskazaniem ewentualnych zmian parametrów wejściowych dla poprawy modelu symulacyjnego wykorzystywanego w kolejnych iteracjach obliczeń.
- Dobrą praktyką jest w przypadku rysunków, na których znajduje się kilka fotografii zrobić do nich opis w podpisie używając np. oznaczeń a) b) itd.

Przedstawione powyżej komentarze nie umniejszają mojej wysokiej oceny recenzowanej pracy. Podjęcie tematu badań w rozprawie było uzasadnione jego dużym znaczeniem poznawczym i utylitarnym, a uzyskane wyniki w pełni odpowiadają postawionemu celowi badawczemu. Należy podkreślić, że realizacja postawionych zadań badawczych przez Doktoranta odznaczała się bardzo dużą starannością w zakresie doboru czynników wpływu, zastosowanych metod doświadczalnych oraz sposobu prowadzenia badań symulacyjnych i eksperymentalnych, co stwarza podstawy do wysokiej wiarygodności uzyskanych wyników i właściwego wnioskowania.

4. Wniosek końcowy.

W przedstawionej do recenzji pracy Doktorant wykazał umiejętność formułowania celów badawczych, samodzielnego prowadzenia badań, odpowiedniego rozwiązywania zagadnień teoretycznych i eksperymentalnych, a także umiejętność wnioskowania w oparciu o wyniki prowadzonych badań. Praca poszerza wiedzę z zakresu technologii wzmacniania torkretem stalowej obudowy drzwiowej. Sposób rozwiązania problemów naukowych i badawczych świadczy o dobrym opanowaniu wiedzy przez Doktoranta. Recenzowana praca mgr inż. Pawła Ficka pt.: *„Określenie nośności stalowej obudowy odrzwiowej pokrytej torkretem”* dotyczy dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska oraz spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w myśl art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki w związku z Art. 179 ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Na tej podstawie wnoszę do Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa wniosek o dopuszczenie mgr inż. Pawła Ficka do publicznej dyskusji na temat rozprawy.

