

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Krystiana Salamona

1. Przedmiot recenzji

Recenzja niniejsza została zrealizowana na zlecenie Naczelnego Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach - pismo ND/NSR/90/2015.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Geologiczno-górniczne i techniczne aspekty zapewnienia szczelności reaktora podziemnego zgazowania węgla”. Autorem rozprawy jest mgr inż. Krystian Salamon, który ubiega się o nadanie mu stopnia naukowego doktora nauk technicznych przez Radę Naukową Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach. Promotorem przedstawionej pracy jest dr hab. inż. Józef Kabiesz, profesor GIG.

Po analizie rozprawy stwierdzam, że jej tematyka mieści się w obszarze dyscypliny naukowej: Górnictwo i Geologia Inżynierska.

2. Wstęp

Wielkość zasobów surowców energetycznych oraz perspektywy ich eksploatacji w przyszłości, implikują potrzebę rozwijania w Polsce nowych metod zagospodarowania złóż węgla kamiennego, który prawdopodobnie jeszcze przez dekady będzie jednym z podstawowych źródeł energii produkowanej w naszym kraju. Biorąc jednak pod uwagę niską cenę węgla na rynku przy rosnących kosztach jego wydobycia, a także to, że polski przemysł wydobywczy znajduje się pod ciągłą presją przeróżnych grup interesów, także tych europejskich mających wpływ na kształtowanie europejskiej polityki energetycznej oraz różnego „nowoczesnych” strategii w zakresie ochrony środowiska, nie ulega wątpliwości, że tylko niekonwencjonalne technologie eksploatacji złóż węgla kamiennego w Polsce sprostają wyzwaniom przed jakimi stoi zarówno polski przemysł wydobywczy jak i szerzej ujmując - bezpieczeństwo energetyczne Polski.

Biorąc pod uwagę wyżej przytoczone uwarunkowania, nie ulega wątpliwości, że już dziś należy rozważyć bardziej energiczne niż dotychczas inwestowanie w prace badawcze nad alternatywnymi sposobami eksploatacji złóż węgla kamiennego, szczególnie tam, gdzie stosowanie tradycyjnych technologii jest lub będzie niemożliwe albo też ekonomicznie nieopłacalne.

Wśród perspektywicznych i względnie tanich metod eksploatacji złóż węgla kamiennego jest znana od wielu dekad technologia podziemnego zgazowania węgla (PZW), obecnie ciesząca się znacznym zainteresowaniem jako substytut tradycyjnych kopalni podziemnych. Natrafia jednakże ona na istotne bariery w swoim rozwoju, związane przede wszystkim z różnymi aspektami bezpieczeństwa prowadzenia procesu w bardzo dużej skali. Ponieważ do tej pory próby realizacji wspomnianej technologii odbywały się albo w skali laboratoryjnej/półtechnicznej albo też w skali technicznej jednakże w wyjątkowo korzystnych warunkach geologiczno-górnicznych, stopień rozpoznania jej zalet i

wad ciągle nie jest na tyle dobre aby móc ją uznać dzisiaj za w pełni bezpieczną i w każdym przypadku w pełni kontrolowaną z punktu widzenia bezpieczeństwa środowiskowego. Z tym aspektem rozpatrywanego zagadnienia wiążą się słabo dotychczas rozpoznane problemy stateczności/nistateczności górotworu w otoczeniu rozległej parceli pokładu węgla poddanego procesowi zgazowania, rozstrzygające o możliwości zaistnienia znacznych deformacji powierzchni terenu lub/i potencjalnego zanieczyszczenia środowiska naturalnego przez szkodliwe gazy migrujące przez spękany górotwór otaczający geogenerator.

Analiza stateczności wyrobiska jakim jest przestrzeń zgazowanego materiału ma więc fundamentalne znaczenie dla celów przewidywania deformacji i stopnia wyęźnienia/uszkodzenia górotworu prowadzące do drastycznych zmian stanu naprężenia, które z kolei mogą spowodować zanieczyszczenie wód podziemnych, nadmierne przemieszczenia powierzchni terenu i w ich konsekwencji nawet zagrozić realizacji samego procesu zgazowania.

Mechanika górotworu potwierdza, że jednym z najistotniejszych parametrów decydujących o stateczności i szczelności wyrobisk podziemnych jest wytrzymałość skał otaczających, pozostająca w funkcji temperatury. Zagadnienie wpływu temperatury dochodzącej nawet do 1200° C na wytrzymałość i deformacyjność skał GZW zostało w zasadzie już dość dobrze rozpoznane, natomiast wiedza o związku temperatury ze szczelnością górotworu ciągle jest niewystarczająca.

Wpisując się w wyżej zasygnalizowane zapotrzebowanie wielu gałęzi przemysłu, zwłaszcza wydobywczego i elektro-energetycznego, Doktorant wykorzystał współcześnie dostępną wiedzę o wpływie temperatury na zmianę wartości parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych skał karbońskich i na związany z tym zasięg uplastycznienia, rozumianego z kolei jako spękanie/rozszczerzenie, materiału skalnego stanowiącego potencjalne otoczenie geo-reaktorów podziemnego zgazowania węgla w GZW. Chodzi tu mianowicie o, zalegające w otoczeniu obecnie eksploatowanych pokładów łupki piaszczyste i piaskowce o różnym uziarnieniu, których wpływ na stateczność po-gazowych kawern, przebadany numerycznie w szerokim zakresie, stanowi szczególne osiągnięcie Doktoranta w odniesieniu do obecnego stanu wiedzy w zakresie geologiczno-górnicznych aspektów zapewnienia szczelności reaktora podziemnego zgazowania węgla. Badania te niewątpliwie stanowią wyjątkowe i nowatorskie osiągnięcie Doktoranta umożliwiające w kolejnym etapie pracy wykorzystanie ich w racjonalnym modelowaniu numerycznym zachowania się górotworu w otoczeniu działającego geo-reaktora podziemnego zgazowania węgla.

3. Układ rozprawy doktorskiej

Zawartość recenzowanej dysertacji można podzielić na pięć podstawowe części:

- Część omawiającą wyniki studiów literaturowych w zakresie istniejącego stanu wiedzy w zakresie podziemnego zgazowania węgla oraz wpływu takiego procesu na temperaturę

otaczającego górotworu i związane z tym zmiany własności fizyczno-mechanicznych masywu skalnego.

- Prezentację metodyki i wyników badań eksperymentalnych dotyczących własności fizycznych skał płonnych poddanych działaniu rosnącej do 1000°C (1200°C) temperatury, a w tym ocena zmian makroskopowych, porowatości a także wartości współczynnika filtracji.
- Prezentację metodyki i wyników badań eksperymentalnych dotyczących własności mechanicznych skał płonnych poddanych działaniu rosnącej do 1000°C (1200°C) temperatury, a w tym ocena zmian ich odkształcalności i wytrzymałości.
- Ilustrację możliwości zastosowania wyników pomiarów i ich analiz w przestrzennym modelowaniu numerycznym zachowania się górotworu w otoczeniu działającego podziemnego georeaktora.
- Prezentację metodyki pomiaru strefy spękań oraz związanej z tym procedurą określania szczelności komory georeaktora PZW.

Praca składa się z 10 rozdziałów obejmujących 26 podrozdziałów oraz ze spisów wykorzystanej literatury (198 pozycji), rysunków (69), tabel (20) i załączników (15).

Rozdział 1 – Wprowadzenie – naświetla znaczenie zachowania szczelności otoczenia georeaktora PZW dla zapewnienia bezpieczeństwa procesu z punktu widzenia środowiskowego i operacyjnego.

Rozdział 2 – Teza, cel i zakres pracy - traktuje o zakresie prac zrealizowanym w dysertacji wraz z ich uzasadnieniem. W szczególności, teza pracy głosi, że warunki zachowania szczelności georeaktora PZW mogą zostać zdefiniowane na podstawie znajomości cech górotworu w jego otoczeniu, a także ich związków z charakterystykami geometrycznymi komory i parametrami technologicznymi procesu zgazowania. Tego rodzaju teza implikuje podstawowy cel pracy, którym jest „opracowanie metody oceny możliwości zachowania szczelności reaktora PZW zlokalizowanego w warunkach górotworu karbońskiego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym”.

Dlatego też Autor skupia się przede wszystkim na stworzeniu modelu prognozującego zasięg strefy spękań, który w szczególności uwzględnia zagadnienie wpływu temperatury na strukturę skał karbońskich oraz znaczenie „czynnika termicznego” na rozkład wartości parametrów strefy spękań wokół generatora PZW.

Rozdział 3 – Podziemne zgazowanie węgla - przedstawia wyjątkowo obszernie stan wiedzy w zakresie metod podziemnego zgazowania węgla oraz dotychczasowych badań nad oddziaływaniem tego procesu na temperaturę górotworu, którego parametry fizyczne i mechaniczne z kolei zmieniają swoje wartości w odpowiedzi na ich wygrzewanie. Najobszerniej zostały tu potraktowane następujące zjawiska i procesy geotechniczne i geomechaniczne zachodzące wokół georeaktora PZW: (a) zasięgi temperaturowe oddziaływania na otaczający górotwór, (b) geometria kawerny po zgazowaniu oraz (c) sposób wypełnienia pustki poeksploatacyjnej.

Rozdział 4 – Charakterystyka karbońskich skał i warstw skalnych w GZW – omawia z kolei

- a) sposoby wyboru lokalizacji georeaktora, w których najważniejszą rolę grają następujące kryteria: głębokość położenia i miąższość i kąt nachylenia pokładu, przerosty w pokładzie, rodzaj i szczelność skał otaczających, tektonika oraz warunki hydrogeologiczne,
- b) rodzaje, oraz własności wytrzymałościowe i termiczne skał występujących w karbonie produktywnym GZW,
- c) podsumowanie wiedzy w zakresie zmian właściwości skał w funkcji zmian temperatury – obejmujące takie parametry jak wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_c , moduł sprężystości E , współczynnik Poissona ν , współczynnik przewodzenia ciepła λ , oraz przewodność cieplna C_p . Pomimo jednakże skonstruowania imponującej tabeli 4.6 poświęconej własnościom skał podanych oddziaływaniu wysokiej temperatury, Autor stwierdza, że zgromadzone informacje są nadal zbyt skąpe aby móc je właściwie interpretować w każdym konkretnym przypadku. Pociąga to za sobą konieczność przeprowadzenia indywidualnych badań skał w danej lokalizacji z zadany gradientem temperaturowym.
- d) własności i rolę jaką spełniają w omawianym zagadnieniu nieciągłości masywu skał z przytoczeniem klasyfikacji stopnia szczelinowatości oraz klasyfikacji górotworu pod względem zasięgu występowania szczelin i na koniec,
- e) kryteria naturalnej szczelności masywu skalnego w zastosowaniu do PZW.

Rozdział 5 – Wpływ eksploatacji na strukturę skał i górotworu – omawia wpływ podziemnego zgazowania węgla na górotwór, a w szczególności na ciągłe i nieciągłe deformacje powierzchni terenu.

Rozdział 6 – Modelowanie numeryczne – jest najważniejszym rozdziałem recenzowanej rozprawy ponieważ to na jego etapie Autor opracował szereg modeli numerycznych, na podstawie których wygenerował dużą ilość ciekawych wyników będących z kolei podstawą dalszych uogólnień i wniosków dotyczących wpływu:

- (a) głębokości posadowienia georeaktora,
- (b) szerokości kawerny (czas oddziaływania),
- (c) sposobu eksploatacji (tradycyjna i PZW),

na zasięg spękań/zniszczenia skał otaczających – piaskowiec – eksploatowany pokład węgla. Wykorzystano tu tzw. model pełny (trzy fazy) i model uproszczony (jedna końcowa faza) rozwoju przestrzennego procesu zgazowania. Przydatność opracowanego modelu numerycznego sprawdzono także w zastosowaniu do górotworu uwarstwionego. Ostatecznie, przedstawione wyniki obliczeń pozwoliły lepiej niż dotychczas sprecyzować zasady budowy modelu numerycznego służącego ocenie wpływu procesów PZW na otaczający górotwór.

Rozdział 7 – Eksperyment PZW w KWK „Wieczorek” – próba modelowania szczelności georeaktora – przedstawia eksperyment numeryczny weryfikujący poprawność opracowanej wyżej metodyki na przykładzie georeaktora działającego w czynnej kopalni. Przeprowadzona analiza numeryczna pozwoliła wykazać, że uwzględnienie racjonalnych „termo-zmian” własności mechanicznych otoczenia reaktora ma znaczący wpływ na rozkład naprężeń i przemieszczeń w jego otoczeniu i w konsekwencji

na zasięg spękań w górotworze. Autor rozprawy zauważa jednakże, że obserwowany in-situ zasięg spękań jest znacznie większy niż ten uzyskany w wyniku modelowania numerycznego.

Rozdział 8 – Metody pomiaru strefy spękań – przedstawia różnorodne metody stosowane do pomiarów stref spękań w górotworze, a w tym metodę sondowania optycznego, metodę areometryczną, metodę prześwietlania sejsmicznego oraz metodę georadarową, omawiając jednocześnie ich wady i zalety.

Rozdział 9 – Procedura określania szczelności komory georeaktora PZW – prezentuje opracowaną przez Autora procedurę określania szczelności komory georeaktora PZW, obejmującą następujące etapy oceny:

- (a) naturalnych warunków geologiczno-górnictwa georeaktora,
- (b) zewnętrznych, technicznych uwarunkowań szczelności reaktora,
- (c) oddziaływania procesu zgazowania na górotwór, oraz
- (d) doboru środków technicznych pozwalających doszczelnąć górotwór.

Rozdział 10 – Podsumowanie i wnioski - mieści w sobie podsumowanie wykonanych prac oraz ich wyników, z jednoczesnym uwypukleniem istotnych osiągnięć Doktoranta w tym zakresie.

4. Uwagi do pracy

Na początek tego rozdziału należy przywołać ustęp ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym...”, który wymaga aby rozprawa doktorska, stanowiąc oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, wykazywała jednocześnie ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w danej dyscyplinie naukowej oraz jej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Analiza treści recenzowanej pracy pozwoliła mi w odniesieniu do wyżej przytoczonych wymagań stwierdzić co następuje:

- A. W recenzowanej dysertacji przedstawiono udaną próbę syntezy dostępnej wiedzy w zakresie związków pomiędzy zmianami wartości temperatury (do nawet 1200oC) a wartościami podstawowych parametrów fizyko-mechanicznych (tj. przede wszystkim gęstości objętościowej, wytrzymałości, modułu sprężystości i współczynnika Poissona, itp.) skał otaczających reaktor PZW (przede wszystkim piaskowców) poprzez analizę numeryczną tego procesu ukierunkowaną na zapewnienie takiej szczelności górotworu aby stanowił on skuteczną barierę dla migracji szkodliwych produktów zgazowania węgla. Analizę numeryczną, będącą źródłem danych dla dalszych uogólnień, przeprowadzono w wyjątkowo szerokim zakresie, w tej dziedzinie dotąd niespotykanym.
- B. Niewątpliwą nowością jest sformułowanie przez Doktoranta odpowiedniej procedury określania szczelności komory geo-reaktora PZW.
- C. Wyjątkowo oryginalnym rozwiązaniem uzyskanym przez Doktoranta jest wskazanie natychmiastowego kierunku wykorzystania otrzymanych wyników badań w praktyce górniczej.

Temu służą przedstawione w rozdziale 6 wyniki modelowania numerycznego (Phase2) rozkładu naprężeń w górotworze wokół georeaktora poddanego działaniu wysokich temperatur. Przeprowadzona analiza wykazała, że zmiany właściwości górotworu pozostające w funkcji temperatury zdecydowanie wpływają na rozkład naprężeń/odkształceń wokół reaktora i decydują o jego stateczności i efektywności całego procesu zgazowania.

- D. Wyniki badań Doktoranta wypełniły wartościową treścią dużą część „białych plam” w obszarach wiedzy związanej z nowymi technologiami, które aby były efektywne, muszą dysponować niezawodnymi informacjami.
- E. Rozprawa doktorska pod względem edytorskim jest bez zarzutu, a drobne błędy literowe są nieliczne i w żaden sposób nie wpływają na jej ogólną wysoką ocenę.

Niezależnie od wysokiej ogólnej oceny pracy, Recenzent zgłasza kilka uwag ogólnego charakteru, mających na celu udoskonalenie obecnej formy pracy doktorskiej:

- F. Czytelnik rozprawy może mieć trudności ze zrozumieniem szczegółów procedury budowy przez Doktoranta modeli numerycznych. Z przedstawionych informacji Recenzent, stosując w tym wypadku konieczne uproszczenia, wnioskuję, że wspomniana procedura składa się z kilku następujących po sobie etapów:

Etap 1 - Przyjęcie geometrii modelu: Ponieważ program Phase2 buduje modele hybrydowe (kombinację MES i MEB) brakuje tu informacji czy wycinek górotworu 60 x 60 m obejmujący generator PZW i pracujący w płaskim stanie odkształcenia jest zbudowany wyłącznie z elementów skończonych czy też nie. Załóżmy więc, że mamy do czynienia wyłącznie z elementami skończonymi a generator jest nieskończenie długi. Użyty przez Autora termin „tarcza” jest raczej niewłaściwy gdyż tego rodzaju konstrukcjami nazywa się zazwyczaj obiekty pracujące w płaskim stanie naprężenia, który to przypadek nie jest w pracy doktorskiej rozpatrywany. Rozumie się również, że węzły modelu są usytuowane w taki sposób, aby strefy stałej temperatury mogły być wygodnie zdefiniowane, zgodnie z zależnością (3.1), z uwzględnieniem określonej anomalii zasięgu temperatury w kierunku poziomym.

Etap 2 – Przyjęcie parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych dla skał z otoczenia generatora oraz dla materiału poreakcyjnego (głównie dane z tabeli 6.1).

Etap 3 – Zdefiniowanie stanu naprężenia w skałach otaczających: Biorąc pod uwagę to, że program Phase2 nie jest w stanie modelować explicite zjawisk termosprężystych, Recenzent domyśla się, że naprężenia termiczne obliczone z zależności (3.2) mogły zostać wprost dodane do składowej pionowej i poziomej charakteryzującej naprężenia pierwotne w poszczególnych materiałach budujących górotwór w otoczeniu geo-generatora.

Pozostaje jeszcze kwestia samego równania (3.2), które jest zależnością jednowymiarową w sensie geometrycznym (współrzędna x) i odnieść ją można też z definicji do konstrukcji

jednowymiarowych (pręt, belka itp.), natomiast stosowanie jej do zadania przestrzennego (3D) jakim jest płaski stan odkształcenia musi budzić wątpliwości. Proste i dlatego szacunkowe oszacowania wykonane dla wskazują na to, że w przypadku konstrukcji trójwymiarowej zależność (3.2) przekształci się w następującą:

$$\sigma^T = \beta \cdot \Delta T \cdot \frac{(1 + 2\nu) \cdot E}{(1 - \nu)},$$

(gdzie ΔT – przyrost temperatury dla całej konstrukcji ograniczonej zdefiniowanymi warunkami brzegowymi) co wskazuje na znacznie większą wartość naprężeń termicznych, którą należy wprowadzić do modeli obliczeniowych.

Etap 4 – Przeprowadzenie obliczeń: Bez uwag.

- G. Założenie, że pustkę poeksploatacyjną wypełnia w połowie wyłącznie materiał wtórny (poreakcyjny) niezależnie od szerokości komory reaktora może budzić wątpliwości. Recenzent może mieć także wątpliwości co do proporcji wymiarów geo-generatorów wykorzystanych w rozprawie, szczególnie tego o rozmiarach (30 x 4 x ∞), który powinien zostać kompletnie wypełniony na skutek zawału wypalonym/zniszczonym materiałem, pierwotnie stanowiącym strop bezpośredni komory. Dlatego można w tym miejscu zapytać: czemu stosować „protezę” 2-wymiarową procesu, zamiast wprost właściwy model „prawdziwie” 3-wymiarowy.
- H. Nie uwzględniono w budowie modelu obliczeniowego wytrzymałości resztkowej skał poddanych wygrzewaniu we względnie wysokich temperaturach towarzyszących PZW, chociaż dane w tym zakresie są dostępne w literaturze. Można oczekiwać, że przyjęcie adekwatnego modelu sprężysto-plastycznego z osłabieniem dla skał otaczających geo-generator, skutkowałoby większym zasięgiem spękań niż miało to miejsce przy wykorzystaniu przez Autora teorii zniszczenia Hoeka-Browna. Przyczyną, że wybrano tę teorię było prawdopodobnie to, że jednym z ograniczeń programu Phase2 jest to, że pozwala on modelować zachowanie się materiałów pod obciążeniem tylko jako sprężysto- doskonale plastyczne. Modele sprężysto-plastyczne z osłabieniem lub ze wzmocnieniem są poza zasięgiem wykorzystanego oprogramowania.
- I. Wydaje się, że niefortunne jest użycie przez Autora rozprawy terminu „anizotropia” masywu skalnego (str. 37, tytuł rozdz. 4.4) dla określenia jego nieciągłości. Różnica pomiędzy tymi pojęciami sprowadza się do tego, że *anizotropia* jest cechą materiałową, natomiast *nieciągłość* odnosi się do defektu występującego lokalnie w strukturze ciała ciągłego.
- J. Rozdział 5.1 ma wątpliwy związek z PZW gdyż prezentuje tylko wybrane teorie nacisku rozluźnianego/spękanego górotworu na poziome elementy obudowy podporowej, natomiast nie pozwala ich w sposób jawny powiązać z rozkładem naprężeń wokół wyrobiska górniczego. Dysertacja mogłaby się obejść bez tego rozdziału bez żadnej dla siebie szkody.

- K. Należy zwrócić uwagę na to, że podane w rozdziale 6.2 zależności Hoek'a dotyczące obliczania parametrów geomechanicznych są jednym z kolejnych propozycji („edycji”) ich szacowania^{1,2}, na podstawie wskaźnika GSI lub innych tego rodzaju względnie subiektywnych parametrów (np. współczynnik m_b). W przypadku wykonywania odpowiedzialnych predykcji zachowania się górotworu na podstawie teorii Hoeka-Browna, zalecić należy dużą ostrożność w tym zakresie i wykorzystywanie raczej podstawowych założeń teorii publikowanych w późniejszym okresie^{3,4}.
- L. Wreszcie na koniec komentarz co do określania zasięgu strefy spękań na podstawie procentu uplastycznionych elementów wokół generatora. Biorąc pod uwagę, że Phase2 pozwala wizualizować alternatywnie zarówno położenie elementów uplastycznionych jak i tych, które uległy zniszczeniu wskutek nadmiernego rozciągania (pęknięcie?), można zapytać, czy nie lepiej było analizować równocześnie ten drugi mechanizm zniszczenia w celu szacowania szczelności górotworu?

5. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Krystiana Salamona pt. „Geologiczno-górniczne i techniczne aspekty zapewnienia szczelności reaktora podziemnego zgazowania węgla” stanowi oryginalny i szczególnie wartościowy wkład w rozwój wiedzy w obszarze górnictwa i geologii inżynierskiej. Wyjątkowo wartościowymi i oryginalnymi są uzyskane samodzielnie przez doktoranta zależności pomiędzy parametrami fizyko-mechanicznymi wybranych rodzajów utworów geologicznych i temperaturą sięgająca nawet 1200°C oraz wykorzystanie tej wiedzy do predykcji zachowania się górotworu w otoczeniu hipotetycznego georeaktora. Opiniowana rozprawa ma zatem zarówno walory poznawcze, jak i charakter użytkowy, ponieważ jej wyniki mogą być w przyszłości wyjątkowo przydatne przy wyborze sposobów podziemnego zgazowania węgla kamiennego, zapobiegania awariom tego rodzaju urządzeń, a także przewidywania skali towarzyszącego im zagrożenia środowiskowego. Trzeba tu jednak dodać, że przedmiot badań Doktoranta należy do najbardziej skomplikowanych współczesnych zagadnień geomechanicznych o złożonych wewnętrznych zależnościach powiązaniach.

Należy jednak stwierdzić, że Doktorant wykazał się przy tym odpowiednią znajomością aparatu matematycznego, opanowaniem warsztatu badawczego oraz zdolnościami do samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych.

¹ E. Hoek and E.T. Brown. Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol 34, No 8, 1997, pages 1165-1186

² Hoek E. I P. Marinos. A brief history of the development of the Hoek-Brown failure criterion. Soils and Rocks, No. 2. November 2007

³ V. Marinos, P. Marinos, E. Hoek The geological strength index: applications and limitations. Bull Eng Geol Environ (2005) 64: 55–65, DOI 10.1007/s10064-004-0270-5

⁴ Hoek E. Rock mass properties for underground mines. Published in Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies. (Edited by W. A. Hustrulid and R. L. Bullock), Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME) 2001

Prof. dr hab. inż. Witold Pytel
Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii
Politechniki Wrocławskiej
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

W związku z powyższym stwierdzam, że opiniowana rozprawa 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 o dopuszczenie mgr inż. Krystiana Salamona do jej publicznej obrony.

