

Dr hab. inż. Piotr Bańka, prof. PŚ
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej
Politechnika Śląska

Gliwice, 24.08.2020 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Króla

**p.t.: „Ocena wpływu na powierzchnię indukowanych zjawisk sejsmicznych
w wieloletniej perspektywie, na przykładzie wybranych rejonów GZW”**

Podstawa prawna wykonania recenzji: zamówienie Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa Pana prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska, zawarte w piśmie z dnia 22 czerwca 2020 r. o numerze NSR/112/2020.

1. Ogólna charakterystyka, tematyka rozprawy

Recenzowana rozprawa składa się z 8 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem w języku angielskim oraz dwoma tabelami, oznaczonymi literami A i B. W tabeli A zestawiono symbole i definicje występujące w tekście, natomiast w tabeli B – terminologię wykorzystaną w pracy. Po ósmym rozdziale rozprawy znajduje się spis wykorzystanej literatury, liczący 84 pozycje. Jedną pozycją w spisie literatury to artykuł, którego Pan mgr inż. Krzysztof Król jest współautorem. Uważam, że literatura została trafnie dobrana; natomiast nie udało mi się w treści pracy znaleźć odwołań do prac A. Goszcza z 1984 r. i S. Lasockiego z 2013 r. Z kolei, brakuje w spisie literatury pracy G. Mutke z 2020 r., do której znajdują się odwołania w treści. Najprawdopodobniej została ona omyłkowo usunięta podczas edycji spisu, bo początek odpowiedniego wpisu znajduje się na końcu informacji o pracy tego Autora z 2019 r.

Promotorem rozprawy jest Pan dr hab. inż. Grzegorz Mutke, promotorem pomocniczym Pan dr inż. Jacek Chodacki.

Tematyka rozprawy dotyczy oddziaływania wstrząsów górotworu na powierzchnię terenu. W wielu zakładach górniczych prowadzone roboty indukują silne zjawiska sejsmiczne, które są źródłem drgań gruntu. Drgania te często są powodem zaniepokojenia mieszkańców, czasami powodują uszkodzenia obiektów budowlanych.

Zwiększając się głębokość eksploatacji oraz objętość wybranego złoża, konieczność prowadzenia robót w skomplikowanych warunkach geologiczno-górnicych, wpływają na wzrost zagrożenia sejsmicznego, a co z tym jest związane – na intensyfikację drgań powierzchni terenu. W zakładach górniczych instalowana jest coraz większa liczba powierzchniowych stanowisk obserwacyjnych umożliwiających ciągłe określanie parametrów drgań gruntu wywołanych silnymi wstrząsami. Zarchiwizowane dane umożliwiają estymację parametrów relacji tłumienia, wykorzystywanych do określania wielkości drgań wywołanych danym wstrząsem w punktach terenu górniczego nie objętych obserwacją, a także do sporządzania prognoz maksymalnych amplitud prędkości i przyspieszenia drgań gruntu, jakie mogą być wywołane wstrząsami indukowanymi projektowanymi robotami górniczymi. Powyższe szacunki dynamicznych oddziaływań projektowanej eksploatacji na powierzchnię terenu sporządzane są najczęściej na okres kolejnego planu ruchu, niezależnie dla poszczególnych zakładów górniczych.

Tak sporządzane prognozy pozwalają określić rejony wzmożonej intensywności drgań, wytypować obiekty wymagające szczególnie wnikliwego nadzoru, zarówno przed przystąpieniem do eksploatacji danej partii złoża, jak i po wystąpieniu silnych drgań powierzchni terenu w ich sąsiedztwie. W pewnych przypadkach przeprowadzane są prace profilaktyczne, mające na celu zabezpieczenie wybranych obiektów budowlanych w związku z prognozowaną możliwością wystąpienia drgań gruntu wywołanych wstrząsami górotworu.

Problem odczuwalności drgań gruntu wywoływanych wstrząsami indukowanymi robotami górniczymi, niezależnie od ich faktycznej szkodliwości dla obiektów budowlanych i infrastruktury technicznej, jest coraz częściej powodem braku akceptacji lokalnych społeczności wobec planów eksploatacji złoża.

W związku z narastającą wagą omawianej problematyki, podjęcie prac mających na celu lepsze rozpoznanie zjawiska, dokładniejsze prognozowanie parametrów drgań, a także stopnia ich szkodliwości na obiekty budowlane i infrastrukturę techniczną, należy uznać za celowe i bardzo istotne.

Recenzowana rozprawa wpisuje się w tą tematykę badawczą. Autor jednak postawił sobie cel znacznie trudniejszy. Horyzont czasowy prognozy, określony na rok 2050, wymagał odmiennego, niż to się zwykle czyni, podejścia. Po pierwsze, konieczne było zweryfikowanie i wytypowanie obszarów planowanej eksploatacji złoża. W przypadku prognoz sporządzanych na okres planu ruchu zakładu górniczego dysponujemy

opracowanym projektem eksploatacji. Po drugie, konieczne było zastosowanie innego od rutynowo wykorzystywanego (proste modele analityczne), sposobu szacowania maksymalnych energii wstrząsów, jakie mogą wystąpić w tak długim okresie czasu. Przyjęcie wieloletniej perspektywy diametralnie zmieniło możliwości wykorzystania wyników obliczeń prognostycznych. O ile w przypadku prognoz sporządzanych na krótsze okresy, przedsiębiorca górniczy musi wykazać możliwość bezpiecznego przejścia przewidywanych największych drgań gruntu przez obiekty budowlane i infrastrukturę techniczną, to w przypadku przyjętego w rozprawie horyzontu czasowego mamy do czynienia z ochroną złoża. Wynika to z tego, że inwestorzy otrzymają informację o przewidywanych maksymalnych amplitudach drgań powierzchni terenu, jakie mogą być wywołane wstrząsami górotworu. W efekcie posiadania takiej informacji powstające obiekty powinny zostać zaprojektowane i wybudowane w sposób zapewniający możliwość bezpiecznego przejścia prognozowanych drgań gruntu.

W świetle powyższych uwag, podjęcie przez Autora rozprawy tematyki związanej z oceną wpływu na powierzchnię indukowanych zjawisk sejsmicznych w wieloletniej perspektywie uważam za bardzo celowe, biorąc pod uwagę zarówno względy poznawcze jak i aplikacyjne.

2. Zawartość merytoryczna rozprawy doktorskiej

We wstępie do pracy Autor omówił podstawowe zagadnienia związane z sejsmicznością indukowaną oraz wywoływanymi przez silne wstrząsy górotworu drganiami powierzchni terenu. Zwrócił uwagę, że przedsiębiorcy powinni udostępniać informację o wieloletnich planach eksploatacji i potencjalnych drganiach powierzchni terenu, jakie mogą występować wskutek sejsmiczności towarzyszącej realizacji tych perspektywicznych zamierzeń projektowych. Natomiast samorządy powinny uwzględniać te informacje przy opracowywaniu planów rozwoju przestrzennego. Pozwoli to na ochronę złóż perspektywicznych w tej części GZW, do której zostały ograniczone rozważania, a także zapewni możliwość bezpiecznego przejścia przez obiekty budowlane i infrastrukturę techniczną oddziaływań prowadzonej eksploatacji.

W drugim rozdziale przedstawione zostały: zakres pracy oraz cel naukowy i użytkowy. Badaniem objęto drgania gruntu jakie mogą być wywołane wstrząsami górotworu towarzyszącymi aktualnie prowadzonej, projektowanej i perspektywicznej eksploatacji węgla kamiennego w centralnej i północnej części GZW.

Celem naukowym rozprawy było określenie wielkości drgań powierzchni terenu, jakie mogą wystąpić do 2050 roku wskutek wstrząsów wysokoenergetycznych indukowanych robotami górniczymi w obszarze niecki bytomskiej i siodła głównego. Celem użytkowym było sporządzenie prognozy parametrów drgań gruntu, która pozwoli zarówno skutecznie chronić, jak i bezpiecznie wykorzystać perspektywiczne złoża węgla kamiennego w GZW. Autor pracy zrezygnował z formułowania tezy pracy. Uważam, że podawanie tezy rozprawy nie jest konieczne, stąd nie należy tego traktować jako uchybienie.

Sądzę, że uprawnione byłoby stwierdzenie, że teza rozprawy brzmi: *możliwe jest opracowanie prognozy parametrów drgań gruntu w bardzo długim okresie czasu (do 2050 r.)*. Tak sformułowana, hipotetyczna teza, została w pracy udowodniona. Autor wytypował obszary perspektywicznej eksploatacji węgla kamiennego (w ramach przyjętego poligonu badawczego – centralnej i północnej części GZW), określił maksymalną energię potencjalnych wstrząsów górotworu i parametry drgań gruntu, jakie mogą być nimi wywołane.

W rozdziale 3 zostały scharakteryzowane zasoby węgla kamiennego w GZW. Tak szczegółowa charakterystyka bazy zasobowej rzadko występuje w pracach poświęconych zagrożeniu sejsmicznemu. W przypadku recenzowanej rozprawy jej zamieszczenie jest uzasadnione koniecznością wytypowania rejonów perspektywicznej eksploatacji węgla kamiennego do 2050 r. Autor zwrócił uwagę, że ponad 60% zasobów zalega w polach dotychczas niezagospodarowanych. Stawia to możliwość kontynuowania długotrwałego procesu dywersyfikacji źródeł energii, bez zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego państwa.

Rozdział 4 zawiera opis rejonów projektowanego i perspektywicznego wydobywania węgla kamiennego w centralnej i północnej części GZW do 2050 r. Realizacja celu pracy wymagała wyznaczenia i opisanie perspektywicznych złóż węgla kamiennego i skorelowania ich z lokalizacją wybitnych zaburzeń tektonicznych, w rejonach których mogą występować silne wstrząsy górotworu. Autor scharakteryzował złoża aktualnie eksploatowane: Zabrze-Bielszowice, Sośnica, Halemba II, Szczygłowice, Łaziska, Murcki, Staszic, Wesoła, Ziemowit i Bobrek-Piekary; złoża, gdzie możliwe jest wznowienie eksploatacji: Barbara-Chorzów 2 i Dębieńsko 1, a także nie eksploatowane dotychczas złoża: Śmiłowice i Za Rowem Bełckim. W rozdziale tym została również szczegółowo opisana tektonika rozpatrywanego obszaru.

Kolejne dwa rozdziały stanowią ponad połowę recenzowanej rozprawy. Jest to uzasadnione, ze względu na istotność zawartych w nich rozważań.

W rozdziale 5 została scharakteryzowana sejsmiczność zarejestrowana w dotychczasowym okresie w siodle głównym i w niecce bytomskiej. Autor szczegółowo przeanalizował zmiany poziomu sejsmiczności indukowanej, zarówno biorąc pod uwagę liczbę występujących wstrząsów wysokoenergetycznych jak i ich energię. Zwrócił uwagę, że w okresie ostatnich kilkunastu lat występują wstrząsy o bardzo dużych energiach sejsmicznych; liczba wstrząsów wysokoenergetycznych wykazuje tendencję rosnącą, pomimo zmniejszającego się wydobycia węgla kamiennego. W rezultacie przeprowadzonych analiz stwierdził, że nie występuje zależność korelacyjna pomiędzy wielkością wydobycia i sumarycznym wydatkiem energetycznym wstrząsów. Związek taki natomiast można stwierdzić, w jakościowy sposób, pomiędzy wydatkiem energetycznym wstrząsów i głębokością eksploatacji złoża. W końcowej części rozdziału 5 Autor zamieścił mapy maksymalnych amplitud prędkości wypadkowych poziomych składowych drgań gruntu oraz intensywności drgań gruntu wg skali GSIS-2017, wywołanych wstrząsami górotworu o energii sejsmicznej wynoszącej co najmniej 5×10^8 J, zarejestrowanymi w okresie 1980÷2019. Wykonane obliczenia potwierdzają wagę tematyki podjętej przez Autora rozprawy. W rozpatrywanym okresie wystąpiły drgania osiągające V stopień intensywności, mogące wywoływać lekkie uszkodzenia elementów konstrukcyjnych oraz liczne uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych budynków. Drgania o takiej intensywności są bardzo mocno odczuwane przez mieszkańców, często wywołując uczucie strachu.

W najobszerniejszym, szóstym rozdziale pracy, Autor przedstawił wyniki obliczeń prognostycznych intensywności drgań gruntu, które mogą wystąpić wskutek wstrząsów górotworu indukowanych robotami górniczymi prowadzonymi do 2050 r. w rejonach siodła głównego i niecki bytomskiej. W pierwszej kolejności, wykorzystując III rozkład Gumbela wartości ekstremalnych oszacował maksymalną energię potencjalnych wstrząsów, jakie mogą wystąpić w tym okresie czasu. Energia ta została określona na 2×10^{10} J. Lokalizacja tych najsilniejszych zjawisk sejsmicznych została przyjęta w rejonach projektowanej i perspektywicznej eksploatacji w osi całej niecki bytomskiej, a także w sąsiedztwie wybranych zaburzeń tektonicznych, m.in. znanych ze wstrząsogenności uskokach: Kłodnicki, Jakub, Leon, Książęcy, Kostuchna, Murcki, Saara, Wanda, Zuzanna V, Mysłowicki. Do prognozy parametrów drgań podłoża skalnego Autor wykorzystał relacje tłumienia opracowane przez

J. Chodackiego. Kolejna część rozdziału została poświęcona istotnemu zagadnieniu amplifikacji drgań przez luźne utwory czwartorzędowe. Przedstawione zostały sposoby wyznaczania wartości współczynnika amplifikacji, w tym przyjęty przez Autora rozprawy. Z wykorzystaniem danych z ponad 4 tysięcy otworów badawczych sporządzona została mapa miąższości czwartorzędu, która posłużyła do przeprowadzenia obliczeń wartości współczynnika amplifikacji drgań w rozpatrywanym obszarze. W końcowej części rozdziału Autor przedstawił rezultaty obliczeń parametrów drgań gruntu, jakie mogą wystąpić do 2050 r. wraz z określeniem intensywności tych drgań wg skali GSIS-2017.

Rozdział 7 zawiera opis sposobu wyznaczania i wyniki obliczeń projektowego przyspieszenia drgań, które mogą wystąpić wskutek prowadzenia perspektywicznej eksploatacji do 2050 r. Jak wynika z zamieszczonej mapy rozkładu wartości przyspieszenia projektowego w wielu rejonach konieczne będzie przeliczanie odporności budynków według normy EC-8 (przekroczona kryterialna wartość przyspieszenia projektowego wynosząca 0,04g).

W rozdziale 8 przedstawione zostały wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Generalnie są one poprawnie sformułowane, wynikają z rozważań zaprezentowanych w pracy.

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. Materiał ilustracyjny i tabelaryczny został starannie przygotowany.

3. Uwagi i komentarze

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

1. W komentarzu do wykresu na rysunku 5.1 Autor stwierdza, że liczba wstrząsów wysokoenergetycznych w latach 1980÷2019 generalnie rosła. Stwierdzenie takie raczej powinno dotyczyć lat 1995÷2019. Ponadto wyjaśnienia wymaga znaczenie zielonego wykresu słupkowego – wydaje się, że przedstawia on wydobycie z pokładów zagrożonych tąpnięciami.
2. Co Autor rozumie określając kopalnie Bobrek, Knurów, Halemba i Ziemowit jako reprezentatywne dla północnej części GZW? Zdaniem recenzenta kopalnie te

(ruchy) charakteryzują się odmiennymi warunkami geologiczno-górnictwymi, co jest korzystne, bowiem pozwala uogólnić wnioski z przeprowadzonych analiz.

3. W rozdziale 5.7 Autor zaprezentował interesującą ocenę intensywności drgań gruntu w siodle głównym i w niecce bytomskiej sporządzoną dla okresu 1980÷2019. Wprawdzie na stronie 54 rozprawy podana została ogólnie znana i powszechnie stosowana postać relacji tłumienia, ale wydaje się, że obliczenia wykonano wykorzystując zależności opracowane przez J. Chodackiego. Czy wykonując te szacunki Autor wykorzystał mapę rozkładu współczynnika amplifikacji drgań gruntu zamieszczoną na rysunku 6.8? Czy sporządzając mapę intensywności drgań gruntu według skali GSIS-2017 (rysunek 5.12) przyjęto czas trwania drgań nie mniejszy niż 3 sekundy?

4. Do prognozy maksymalnej energii wstrząsów, jakie mogą wystąpić do 2050 roku Autor wykorzystał rozkład wartości ekstremalnych – III rozkład Gumbela.

W tym miejscu warto zauważyć, że w zakresie statystycznej oceny zagrożenia sejsmicznego rozpowszechnione są dwa podejścia. Pierwsze polega na analizie rozkładów statystycznych energii rejestrowanych wstrząsów biorąc pod uwagę wszystkie zarejestrowane zjawiska (często powyżej pewnego proggu energetycznego). Drugie podejście realizuje się przez wyznaczenie rozkładów statystyk ekstremalnych – rozkładu energii najsilniejszych wstrząsów w ustalonych interwałach czasu (można wtedy uniknąć błędów estymacji parametrów rozkładu, wynikających z faktu, że tylko część zdarzeń średnio- i niskoenergetycznych jest rejestrowana). Podstawy teoretyczne do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia wartości ekstremalnych zostały sformułowane przez Gumbela w latach trzydziestych ubiegłego wieku.

Oba podejścia mają wady i zalety w stosunku do siebie. Pierwsze podejście wymaga znajomości typu rozkładu energetycznego wstrząsów, podlega jednak obróbce większa ilość informacji. Drugie podejście wykorzystuje rozkład graniczny prawdopodobieństwa elementów maksymalnych w próbkę i nie zakłada znajomości rozkładu prawdopodobieństwa w populacji generalnej, obrabia jednak mocno uszczuploną informację i wymaga silnych założeń dotyczących jednakowego rozkładu wszystkich zmiennych losowych obserwowanego wektora losowego, z którego wybrany jest element maksymalny oraz jednakowej liczby zdarzeń w każdym interwale czasu – w szczególności nie może to być brak wstrząsów; założenia te spełnione mogą być tylko w bardzo dużym przybliżeniu.

Nie negując przyjętego przez Autora podejścia, należy pamiętać, że jest to jeden z możliwych, a nie jedyny możliwy, sposób wykonania prognozy.

Autor podaje na stronie 59 wzory pozwalające określić hazard sejsmiczny, czyli prawdopodobieństwo zaistnienia wstrząsu o określonej energii sejsmicznej lub większej, w ciągu n interwałów czasu (w przypadku obliczeń w pracy – miesięcy) oraz średnie czasy powrotu wstrząsów o określonej energii sejsmicznej. Dla celów realizacji pracy można było wykorzystać jeszcze inną zależność, umożliwiającą oszacowanie energii sejsmicznej E_{max} , która z określonym prawdopodobieństwem, np. 0,99, nie zostanie przekroczona w ciągu następnych t interwałów (np. miesięcy) obserwacji. Wartość $\log E_{max}(t)$ jest pierwiastkiem równania $[G(x)]^t = 0,99$.

Kilkakrotnie Autor stwierdza, że rozkład Gumbela posłużył do prognozy maksymalnych energii wstrząsów o charakterze regionalnym. Wydaje się, że bardziej poprawnie byłoby stwierdzić, że prognozowane są maksymalne energie wstrząsów górotworu, bowiem nie wszystkie silne wstrząsy są zjawiskami regionalnymi. Zjawiska o charakterze regionalnym stanowią stosunkowo mało liczny podzbiór zbioru wszystkich silnych wstrząsów.

Na rysunku 6.2 została przedstawiona dystrybuanta III rozkładu Gumbela i dane pomiarowe. Zgadzam się z Autorem, że widoczna jest zgodność dystrybuanty i danych empirycznych. Warto jednak dla poparcia tego stwierdzenia podać rezultaty jednego z wybranych testów zgodności, na przykład λ Kołmogorowa lub χ^2 .

5. Do obliczenia parametrów drgań gruntu Autor wykorzystał zależności opracowane przez J. Chodackiego. Ze względu na to, że są one wyznaczone stosunkowo niedawno, należy uznać ich wykorzystanie (zamiast zależności opracowanych przez G. Mutke) za słuszne. Wyznaczając je zastosowano model zaproponowany przez Si i Midorikawę (2000), nieco różniący się od powszechnie wykorzystywanej relacji tłumienia, pozwalający uwzględnić wprost zróżnicowanie warunków nadkładowych. Warto jednak zauważyć, że estymację parametrów modelu regresji przeprowadzono dla zbioru 350 rejestracji drgań gruntu wywołanych wstrząsami o energiach sejsmicznych od 5×10^6 J do 3×10^9 J, natomiast prognozując parametry drgań przyjęto energię sejsmiczną wynoszącą 2×10^{10} J. Stosując metodę analizy regresji należy zdawać sobie sprawę, że najdokładniejszych oszacowań wartości zmiennej objaśnianej można oczekiwać

w „środku” zakresu zmienności wartości zmiennych objaśniających uwzględnianych do estymacji parametrów modelu. Gorszych rezultatów można się spodziewać z dala od „środka”. Dla wartości niedostępnych przy estymacji parametrów modelu – należy oczekiwać dokładności jeszcze gorszej, coraz gorszej w miarę oddalania się od pierwotnego zakresu zmienności (*N. Draper i H. Smith: Analiza regresji stosowana, PWN 1973*). Pomimo, że można, na podstawie wyznaczonego równania regresji, otrzymać matematycznie wartość przewidywanych prędkości i przyspieszenia drgań dla dowolnych wartości odległości epicentralnej i energii sejsmicznej, trzeba sobie zdawać sprawę z powyższego ograniczenia.

6. W rezultacie przeprowadzonych badań Autor podał wartości maksymalnych amplitud wypadkowych poziomych składowych prędkości i przyspieszenia drgań gruntu, jakie mogą wystąpić do 2050 roku w obszarze niecki bytomskiej i siodła głównego. Wynoszą one, w zależności od rejonu: od 0,03 m/s do 0,1 m/s oraz od 0,9 m/s² do 3 m/s². Z tekstu pracy wynika, że są to wartości średnie wyznaczone wprost z relacji tłumienia (wzór 6.3). Ze względu na bardzo duży horyzont czasowy prognozy i wynikający z tego jej przybliżony charakter, podejście takie należy zaakceptować. Gwoli ścisłości warto zwrócić uwagę, że ze względu na stosowanie do określania parametrów drgań metody analizy regresji, mogą wystąpić drgania większe niż prognozowane stosowanym równaniem. Statystycznie dotyczy to 50% obserwacji. Jakie wartości z zadaniem prawdopodobieństwem nie zostaną przekroczone, określa górna granica przedziału ufności. Posługując się granicami przedziału ufności można stwierdzić z przyjętym prawdopodobieństwem, że zaobserwowane maksymalne prędkości i przyspieszenia drgań gruntu wywołane wstrząsem o określonej energii sejsmicznej i zaistniałym w określonej odległości znajdą się w obliczonym przedziale ufności.

Górną granicę przedziału ufności, w przypadku rozpatrywania dużych zbiorów obserwacji, można wyznaczyć w uproszczony sposób korzystając z zależności:

$$\log a_{G(1-\alpha)100\%} = \widehat{\log a} + \sigma \lambda_{(1-\frac{1}{2}\alpha)}$$

gdzie: $\lambda_{(1-\frac{1}{2}\alpha)}$ – kwantyl rzędu $(1 - \frac{1}{2}\alpha)$ rozkładu normalnego, $\widehat{\log a}$ – wartości obliczone z równania regresji, σ – błąd standardowy estymacji.

Możliwe jest także uwzględnienie niepewności przyjmowanej wartości maksymalnej energii wstrząsów.

Przyjęty przez Autora sposób wykonania prognozy uważam za słuszny. Ze względu na zastosowanie metody analizy regresji, nawet w przypadku uwzględnienia przedziałów ufności, na przykład na poziomie 70% lub 80% (wartości często przyjmowane w rozpatrywanym zagadnieniu), statystycznie 15% lub 10% zaobserwowanych wartości będzie większych niż prognozowane. Z kolei, przyjęcie wyższej wartości ufności, z reguły prowadzi do uzyskania nierealistycznych (ze względu na fizykę zjawiska) prognozowanych wartości parametrów drgań gruntu, czyniąc prognozę praktycznie nieprzydatną.

Podsumowując, 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 założonych celów pracy. Treść rozprawy świadczy o jego bardzo dobrej znajomości opisywanej problematyki.

Uważam, że ze względu na bardzo dużą wartość aplikacyjną uzyskanych wyników, powinny one zostać opublikowane. Rozprawa generalnie została starannie zredagowana, tym niemniej Autor nie ustrzegł się drobnych potknięć redakcyjnych, stylistycznych i językowych. Zauważone błędy zaznaczyłem w recenzenckim egzemplarzu pracy i przedyskutowałem z Autorem. W związku z tym, a także ze względu na to, że nie mają one wpływu na merytoryczną ocenę pracy, nie zostały one zamieszczone w recenzji.

4. Wniosek końcowy

W konkluzji wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Króla p.t. **„Ocena wpływu na powierzchnię indukowanych zjawisk sejsmicznych w wieloletniej perspektywie, na przykładzie wybranych rejonów GZW”** dotyczy dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska. 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.

Analizowana rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w *Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki oraz niektórych innych ustaw*. Na tej podstawie wnoszę do Rady Naukowej GIG o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Piel" followed by a stylized flourish.