



Dr hab. inż. Grzegorz Mutke, prof. GIG
Główny Instytut Górnictw
Katowice, Plac Gwarków 1

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Iwony Gołdy na temat: „**Ilościowa ocena sejsmicznego zagrożenia tąpnięciem i analiza jej niepewności**”

1. Podstawa recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na zlecenie Dziekana Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej - pismo z dnia 17.07.2013 o nr. RGBD/382/12/13 – dostarczone wraz z rozprawą doktorską jak w tytule recenzji. Rozprawa ujęta jest na 155 stronach druku komputerowego formatu A4 oraz 1 załączniku (appendix charakteryzujący dane użyte do przykładowych obliczeń w pracy). W rozprawie zamieszczono 27 rysunków i 20 tablic, głównie ilustrujących wyniki przykładowych obliczeń oraz 7 zestawień, 5 przykładów obliczeniowych i 2 algorytmy. Spis literatury obejmuje 167 pozycji, w tym należy zauważyć 3 **pozycje zespołowe z udziałem Doktorantki i brak publikacji samodzielnej.**

2. Treść rozprawy

Część merytoryczna pracy ujęta jest w 9 rozdziałach, w których kolejno Doktorantka wprowadziła w problematykę rozprawy, przedstawiła stosowane oceny zagrożenia tąpnięciami w Polsce (Metoda Kompleksowa MK), w tym jej analiza krytyczna oraz prognozy zagrożenia w ujęciu ogólnym. W rozdziale 2 przedstawione zostały definicje zagrożeń, w tym zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciem, sejsmiczne zagrożenie tąpnięciem Z^{ST} oraz zagrożenie tąpnięciem wynikające z uwzględnienia czynników metody rozeznania górnictwa Z^{MRG} . Rozdział 3 traktuje o dekompozycji estymatora zagrożenia tąpnięciem i kryterium jakości prognozy probabilistycznej. W rozdziale 4 sformułowana została teza, cel i założenia upraszczające pracy. W kolejnym

rozdziale omówiono rozkład Gutenberga-Richtera, źródła niepewności ocen, wyboru minimalnej poprawnie obserwowanej energii oraz obszerna analiza excelowskich wykresów słupkowych i punktowych i łączenia zbiorów. W rozdziale 6 obszernie opisano aspekty probabilistycznego zagrożenia sejsmicznego oraz analizę niepewności ocen probabilistycznych. W rozdziale 7 przedstawiono aspekty probabilistycznej prognozy warunkowej zagrożenia tąpnięciem na podstawie danych seismologicznych z katalogu wstrząsów i tąpnięć. O kryterium jakościowej prognozy probabilistycznej zagrożenia sejsmicznego Doktorantka pisze w rozdziale 8, dochodząc do oczywistych wniosków, że jakość prognoz rośnie z liczebnością zbioru danych i jakością danych. W rozdziale 9 przedstawiono wnioski końcowe pracy i krytyczną analizę pracy.

Stwierdzam, że treść rozprawy doktorskiej dotyczy dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska.

3. Merytoryczna opinia rozprawy

3.1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Iwony Gołdy dotyczy ilościowej (w ujęciu probabilistycznym) prognozy i oceny sejsmicznego zagrożenia tąpnięciem oraz analizy jej niepewności. Temat rozprawy uważam za ważny z punktu widzenia zastosowań w praktyce górniczej. Obecnie bieżącą ocenę stanu zagrożenia tąpnięciami wykonuje się na bazie metod stanowiących Metodę Kompleksową, MK (do tej rozprawy adekwatne jest rozważanie metody ciągłej obserwacji seismologicznej) i na jej wskazaniach dobierana jest profilaktyka tąpniowa. Niewątpliwie odpowiednia prognoza (wypowiedzenie się na przyszłość w określonym okresie czasu) prawdopodobieństwa zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciem wraz z niepewnością na poziomie umożliwiającym podejmowanie praktycznych decyzji ruchowych, jest oczekiwana i stanowiłaby uzupełnienie metody MK, co może owocować większym bezpieczeństwem robót górniczych. Próby takie były już w przeszłości czynione.

W porównaniu do dotychczas zrealizowanych badań, nowością w rozprawie doktorskiej jest wprowadzenie nowych elementów do interpretacji

probabilistycznej, pozwalających na ocenę niepewności standardowej oraz oceny minimalnej liczebności archiwum wstrząsów.

Temat rozprawy podjęty przez Doktorantkę wymaga zarówno szerokiego zakresu wiedzy z zakresu statystyki i probabilistyki, jak też dużego nakładu pracy i dużej systematyczności w trakcie prowadzenia badań.

3.2. Sposób realizacji pracy

W oparciu o studium literatury przedmiotu i własne prace badawcze Doktorantka przedstawiła metody bieżącej oceny stanu zagrożenia tąpnięciami oraz prognozy prawdopodobieństwa zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciem. Do udokumentowania tezy pracy wykorzystwała dotychczasowe badania dotyczące probabilistycznego estymatora zagrożenia sejsmicznego wprowadzone w geofizyce górniczej przez Lasockiego, Marcaka i Kornowskiego oraz badania własne w zakresie probabilistycznej prognozy prawdopodobieństwa zagrożenia tąpnięciem wraz z uwzględnieniem jej niepewności oraz oceny liczebności minimalnego archiwum danych sejsmicznych. Oceny probabilistyczne prawdopodobieństwa zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciem wyrażone zostały kwantylami rzędu przyjętego PU, które umożliwiają oszacowanie wartości zagrożenia z prawdopodobieństwem nie przekroczenia wyższym niż 50%. Cel pracy został zrealizowany opracowaniem odpowiednich procedur obliczeniowych z podaniem przykładowych wyników opartych na obliczeniach dokonanych na kilkunastu bazach danych seismologicznych.

3.3. Ogólna ocena dysertacji

Niewątpliwie rozprawa doktorska Pani mgr inż. Iwony Gołdy wnosi nowe elementy do zagadnienia probabilistycznej prognozy prawdopodobieństwa zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciem. Szczególnie mam tutaj na myśli opracowanie odpowiednich procedur matematycznych (statystycznych i probabilistycznych).

Ważnym i oryginalnym osiągnięciem Doktorantki jest realizacja celu pracy polegającego na opracowaniu procedury ilościowej (w ujęciu

prawdopodobieństwa) prognozy zagrożenia sejsmicznego i sejsmicznego zagrożenia tąpnięciem wraz z ich oceną niepewności i liczebności archiwum ograniczającej standardową niepewność.

Teza pracy dotycząca wykorzystania zależności G-R wraz z katalogiem tąpnięć i wstrząsów, do ilościowej prognozy zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciem oraz estymacją ich niepewności i liczebności katalogu jest prawdziwa przy założeniu poissonowskiego charakteru emisji.

Praktyczne wykorzystanie celu i tezy pracy musi być bardzo ostrożne i wydaje się trudne w praktyce ze względu na konieczność przyjęcia założeń upraszczających, a mianowicie:

- *odcinkowej stacjonarności punktowego procesu wstrząsów (co może być w bazie rozdzielane przy uważnej analizie),*
- *jednej, być może odcinkami – zmiennej w czasie, lecz stałej w przestrzeni, wartości zagrożenia tąpnięciem, co powoduje, że zagrożenie tąpnięciem nie zależy od odległości miejsca zagrożonego od źródła (co praktycznie na obecnym etapie proponowanej w rozprawie interpretacji probabilistycznej danych sejsmologicznych czyni ją mało praktyczną – patrz przykłady obliczeniowe). Dopiero uwzględnienie dodatkowych parametrów sejsmologicznych w ocenie probabilistycznej, np. takich jak obciążenie dynamiczne na wyrobiska eksploatacyjne (np. PPV) – które są uwzględniane w ostatniej wersji MK jako podstawowe kryteria ilościowe skutków, czyli tąpnięcia – może spowodować wzrost praktycznego zastosowania przez przedsiębiorcę wyników prognozy.*

Parametr b relacji G-R w trzęsieniach ziemi estymowany jest z magnitud. Estymacja parametru b z magnitud dla wstrząsów górniczych jest istotna, jeśli chcemy wykorzystać liczne, ilościowe wyniki badań rozkładu G-R prezentowane w literaturze światowej. W pracy Doktorantka estymuje parametr B z energii sejsmicznej, zgodnie z równaniem przedstawionym w pracy Lasockiego (1990), co dla lokalnych prognoz jest wygodniejsze.

Rozdział 6 jest jednym z dwóch najważniejszych w pracy, ponieważ bezpośrednio wiąże się z tezą i celem pracy i jest istotnym wkładem Doktorantki w rozwój metod probabilistycznej prognozy prawdopodobieństwa zagrożenia sejsmicznego.

Przy założeniu poissonowskiego charakteru emisji sejsmicznej, Doktorantka przyjęła równanie zagrożenia sejsmicznego w postaci estymatora zagrożenia

sejsmicznego wartości prawdopodobieństwa wystąpienia wstrząsu o energii większej od zagrażającej (przyjmowanej przez użytkownika) w określonym przedziale czasu i przestrzeni. Osiągnięciem Doktorantki jest potraktowanie estymatora Z^S jako zmiennej losowej o określonym rozproszeniu, którego miara jest zależna od niepewności λ (intensywność procesu emisji sejsmicznej) i B (parametr rozkładu G-R). Prognozą probabilistyczną losowej zmiennej zależnej $Z^S(PU)$ jest wartość kwantyla rzędu PU (np. prawdopodobieństwa nie przewyższenia zadanej energii w czasie Δt lub czasu powrotu wstrząsu), gdzie PU postuluje użytkownik prognoz, uwzględniająca miarę niepewności standardowej, przy czym wpływ niepewności standardowej parametru B jest większy na estymaty Z^S niż niepewność standardowej intensywności λ . Estymacja probabilistyczna z większym prawdopodobieństwem nie zostanie przekroczona, w odniesieniu do analogicznych danych w ocenie punktowej. Ważnym osiągnięciem Doktorantki jest również opracowanie estymatorów minimalnej liczebności bazy wstrząsów, by standardowa niepewność prognozy zagrożenia sejsmicznego nie przekraczała wartości krytycznej ustalonej przez użytkownika interpretacji probabilistycznej danych pomiarowych. Do estymacji minimalnej liczebności bazy Doktorantka zamieściła odpowiedni algorytm obliczeniowy.

Drugim bardzo ważnym rozdziałem pracy jest rozdział 7, podobnie jak 6 bezpośrednio odnoszący się do badań związanych z tezą i celem pracy. Przedstawiono w nim probabilistyczną prognozę prawdopodobieństwa tąpnięcia pod warunkiem wystąpienia wstrząsu o energii $E \geq E_1$ (równanie 7.1.7). Również i w tym przypadku rozpisana jest jako kwantyl rzędu PU . Obliczenia charakterystyki tąpniowo-energetycznej (rys. 7.1) dowodzą jednak, że w latach 2006-2011 w GZW niepewność oceny zagrożenia tąpnięciem jest bardzo duża. Według recenzenta oznacza to, że probabilistyczna interpretacja danych sejsmicznych i tąpniowych jest poprawna, ale estymowany parametr samej energii sejsmicznej nie jest wystarczający do praktycznego zastosowania prognozy, w aspekcie wyboru przez przedsiębiorcę technik profilaktyki tąpniowej.

Moje zastrzeżenie budzi fakt, że Doktorantka rozważa w swoich badaniach w części geofizycznej wpływ tylko energii wstrząsu na zagrożenie tąpnięciem. Pomija rozkłady położenia ognisk wstrząsów, co doprowadziłoby w efekcie do

możliwości zastosowania w prognozie zagrożenia tąpnięciem najbardziej informatywnego parametru, amplitudy prędkości drgań - PPV, na wyrobiska eksploatacyjne i otaczający je bezpośrednio górotwór (miara obciążeń dynamicznych stosowana jako kryterium zniszczenia w obiektach liniowych infrastruktury podziemnej, np. tunele, metra itp. lub w górniczych wyrobiskach podziemnych), które to kryteria można znaleźć w obszernej literaturze specjalistycznej. Najlepszym przykładem błędu przyjęcia tylko kryterium energii sejsmicznej na zagrożenie tąpnięciami mogą być rejestrowane w ostatnich latach najsilniejsze wstrząsy w GZW (KWK Piast, KWK Bobrek-Centrum o energii rzędu E9 J), które nie wywołały w wyrobiskach podziemnych żadnych szkód. Wyrobiska eksploatacyjne znalazły się poza strefą bliskiego pola falowego tych wstrząsów i obciążenia dynamiczne proporcjonalne do PPV zostały skutecznie wytłumione przez masyw skalny (w bliskim polu falowym tłumienie amplitud jest znacznie większe niż w polu dalekim). Z pewnością metoda PPV stanowiąca jedno z kryteriów zagrożenia tąpnięciami w MK wskaże w takim przypadku bieżący brak stanu zagrożenia a metoda probabilistyczna oparta tylko na parametrze energii sejsmicznej wskaże prognozowane wysokie prawdopodobieństwo zagrożenia tąpnięciem (patrz charakterystyka tąpniowo-energetyczna kopalń GZW – rys. K1. lub 7.1).

Dyskusja o wykresach w Excelu (rozdział 5) jest chyba zbędna na poziomie rozprawy doktorskiej. Poprawne (jeśli stosujemy Excel) są tylko wykresy naukowe. Inne wykresy jak przykładowo słupkowe są wykresami serii i nie zachowują skali X, a więc ich zastosowanie do badania kształtu rozkładu jest błędem z definicji, co łatwo można udowodnić. Dobór progu minimalnej poprawnie rejestrowanej energii jest znany z wielu wcześniejszych publikacji i powinien uwzględniać nie tylko dopasowanie wstrząsów do rozkładu G-R (co sugeruje Doktorantka) ale również analizę możliwości aparaturowych i rozmieszczenia sieci stanowisk sejsmometrycznych w badanym obszarze pod kątem pełnej rejestracji minimalnych energii sejsmicznych, ponieważ w przypadku możliwości poprawnej rejestracji (monitorowania) załamania się rozkładu G-R, tzn. rejestracja mniejszej ilości wstrząsów o niższych energiach, może wynikać z innego rzeczywistego rozkładu wstrząsów, np. jego bimodalności (wstrząsy eksploatacyjne, wstrząsy uskokowe). Moim zdaniem

większa część rozdziału 5 nie jest w tej rozprawie doktorskiej potrzebna, ponieważ wyniki są od dawna znane i oczywiste.

3.4 Dyskusyjne i krytyczne uwagi do pracy:

W celu uniknięcia niejasności dotyczących dyskusyjnych i krytycznych ocen recenzowanej rozprawy, na początku muszę odnieść się w dyskusji do idei i mojego rozumienia MK (innego niż Doktorantka) oraz oceny prawdopodobieństwa wystąpienia silnego zjawiska sejsmicznego w czasie Δt . Zdanie str. 27, mówiące że *'MK jest metodą deterministyczną i subiektywną, co wygodne i łatwe z punktu widzenia użytkownika, jest niewłaściwe z punktu widzenia metodologii'* jest co najmniej dyskusyjne i świadczy o nie zrozumieniu zasad MK. Metody deterministyczne nie są subiektywne, a wręcz obiektywne i każda nowa teoria (nie wyłączając takich gigantów nauki jak ogólna teoria względności i wiele innych stanowiących kroki milowe w poznaniu praw przyrody) jest uznawana za prawdziwą po empirycznym jej potwierdzeniu. Metoda Kompleksowa to między innymi zespół geofizycznych metod pomiarowych w reżimie ciągłego monitorowania (sejsmologia i seismoakustyka), które na bieżąco wskazują rozwój deformacji dynamicznych (zjawisk sejsmicznych) w wyrobiskach eksploatacyjnych i w masywie skalnym w odległościach zarówno bliskich jak i oddalonych od tych wyrobisk. Zagrożenie jest oceniane na chwilę bieżącą na podstawie rejestracji dostarczanych 'on line' do użytkownika i porównywanych do dotychczasowych bogatych doświadczeń (wskazań) empirycznych o skutkach lub ich braku przy zarejestrowanych instrumentalnie parametrach drgań i wyznaczonych na tej podstawie parametrach (energia sejsmiczna, skalarny moment sejsmiczny, ilość energii na postęp lub wybraną objętość skał w górotworze, lokalizacja ognisk-odległość od wyrobisk, a w ostatniej wersji MK również wielkość amplitud drgań (PPV) w otoczeniu wyrobisk eksploatacyjnych wyrażających obciążenia dynamiczne na infrastrukturę podziemnych obiektów liniowych oraz bieżące zmiany charakterystyki aktywności sejsmicznej wyrażanej wartością współczynnika 'b' relacji Gutenberga-Richtera (G-R). Wszystkie wymienione parametry metody sejsmologicznej są parametrami o rozpoznanym znaczeniu fizycznym i kryteria

oceny są wyrażane ilościowo (poza jakościowym badaniem trendu zmian relacji G-R w przesuwających się dobowych oknach czasowych). Ich bieżące wskazania służą do podejmowania bieżących decyzji o zastosowaniu lub nie stosowaniu profilaktyki tąpniowej, a w przypadku jej zastosowania (np. strzelania odprężające, hydroszczelinowanie i inne), sprawdzanie na podstawie bieżących wskazań monitoringowych jak reaguje górotwór i jakie bieżące zagrożenie wskazuje.

Interpretacja danych sejsmicznych w ujęciu statystycznym i probabilistycznym może dostarczać cennych informacji dotyczących prognozy zdarzenia w sensie jego prawdopodobieństwa (np. ryzyka sejsmicznego) w horyzoncie czasowym krótko-, średnio- lub długookresowym, o czym można znaleźć wyczerpujące informacje w literaturze (np. Lasocki 1995, 2001). Predykcja krótko- i średniookresowa odnosząca się do wyodrębnionego wyrobiska eksploatacyjnego zakłada, że proces niszczenia górotworu (zjawiska dynamiczne) jest zmienny w czasie i można badać czy proces emisji zjawisk sejsmicznych przesuwa się w kierunku zwiększonego prawdopodobieństwa występowania zjawisk silnych o określonej przez użytkownika energii. Takie predykcyjne podejście interpretacji danych sejsmologicznych również może być przydatne do podejmowania decyzji o zastosowaniu środków aktywnej profilaktyki tąpniowej i należy je traktować jako metodykę odrębną i być może w niedługim czasie równie lub bardziej użyteczną w miarę wykorzystania w niej nowych estymat zagrożenia. Estymaty te wskazuje ostatnia wersja MK opracowana na bazie badań empirycznych oraz badania fizyki zjawisk sejsmicznych i ich oddziaływania na wyrobiska.

Po tej dyskusji omawiającej fragment pracy, wynika pytanie do Doktorantki:

Czy Doktorantka zgadza się z interpretacją, że MK w części metody sejsmologicznej odnosi się do bieżącej oceny stanu zagrożenia tąpnięciem wynikającej z bieżących danych z instrumentalnego monitoringu sejsmologicznego, a statystyczna i probabilistyczna interpretacja danych sejsmologicznych odnosi się do prognozy (krótko-, średnio- lub długoterminowej) prawdopodobieństwa zagrożenia sejsmicznego lub tąpnięciem (przyszłym zdarzeniem)? Jeżeli zdanie Doktorantki jest inne to proszę o uzasadnienie merytoryczne.

W mojej ocenie przedstawione sposoby probabilistycznej oceny zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia łąpaniem oparte jedynie na energii sejsmicznej (bez uwzględnienia lokalizacji ognisk wstrząsów w stosunku do położenia wyrobisk eksploatacyjnych oraz bez uwzględnienia innych parametrów istotnych z punktu widzenia wywołania potencjalnych skutków, np. wartość PPV) spowoduje ograniczenia przy wdrażaniu tej metody do praktyki górniczej. W tym miejscu rodzi się pytanie:

Przy jakim prawdopodobieństwie zagrożenia łąpaniem i dla jakiego czasu tej prognozy Δt , Doktorantka rekomenduje zastosowanie profilaktyki łąpaniowej? Jakie kryterium ilościowe przyjmuje Doktorantka w definicji Z^{ST} odnośnie warunku w tej definicji, cytat: *'pod warunkiem że wstrząs ten wywoła łąpanie'* (np. str 30 definicja D3)?

4. Wnioski

Przeprowadzona analiza rozprawy doktorskiej mgr inż. Iwony Gołdy na temat: „Ilościowa ocena sejsmicznego zagrożenia łąpaniem i analiza jej niepewności” pozwala na stwierdzenie, że Doktorantka potrafiła rozwinąć dotychczasowe wyniki badań w zakresie probabilistycznych prognoz prawdopodobieństwa zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia łąpaniem oraz wykorzystać rzeczywiste dane poligonowe do udowodnienia tezy i osiągnięcia celu rozprawy doktorskiej. Doktorantka podjęła się bardzo trudnego zagadnienia i stąd kilka moich uwag krytycznych, lecz nie odnoszących się do opracowania samego probabilistycznego aparatu matematycznego interpretacji danych sejsmologicznych i poprawnie wykonanych obliczeń. W szczególności jako oryginalne osiągnięcie naukowe, należy podkreślić nowe rozwiązania dotyczące probabilistycznej prognozy prawdopodobieństwa sejsmicznego zagrożenia łąpaniem i zagrożenia sejsmicznego wraz z analizą jej niepewności oraz oceny liczebności minimalnego archiwum danych sejsmicznych.

Przedstawiona rozprawa doktorska mieści się w dyscyplinie naukowej górnictwo i geologia inżynierska i świadczy dostatecznie o ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata, a także o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w tej dyscyplinie.

Uwzględniając powyższe stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Iwony Gołdy , spełnia warunki określone w art. 13, ustęp 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zmianami w Dz. U. z 2005r, nr. 164, poz. 1365) i wnoszę o dopuszczenie Doktorantki do dalszych czynności przewodu doktorskiego.



A handwritten signature in blue ink, consisting of several stylized, overlapping loops and lines.