

Dr hab. inż. Ryszard Mielimąka
Profesor Politechniki Śląskiej
zam. 44-200 Rybnik
ul. Kochanowskiego 7

Gliwice, 30 czerwiec 2011 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. PAWŁA SIKORY pt.: "Opis obniżeń górotworu pod wpływem podziemnej eksploatacji górniczej z wykorzystaniem teorii automatów komórkowych"



1. Ocena doboru tematyki badawczej i przyjętej tezy pracy

Opis obniżeń górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej z uwagi na znaczną złożoność tego procesu jest niezwykle trudny. Dlatego też powstało wiele metod pozwalających na prognozowanie deformacji górotworu, które w różnym stopniu uwzględniają w procesie modelowania numerycznego różnorodność czynników wpływających na ten proces. Niektóre z nich, jak na przykład powszechnie stosowane metody geometryczno-całkowe, są relatywnie proste, jednakże złożoność budowy górotworu opisują tylko pojedynczymi parametrami. Z kolei metody oparte na ośrodkach ciągłych (np. metoda elementów brzegowych czy metoda elementów odrębnych), umożliwiające uwzględnić wpływ różnych czynników geologiczno-górniczych na powstające deformacje są trudne do zastosowania w przypadku dużych brył górotworu. Powstały także metody oparte na modelach ośrodków stochastycznych, gdyż czynnik losowy ma również wpływ na kształtowanie się deformacji.

W recenzowanej pracy Doktorant przedstawia metodę opisu wpływów eksploatacji górniczej na górotwór i powierzchnię terenu, która w prosty sposób pozwala uwzględnić wpływ na proces deformacji zróżnicowanej budowy górotworu. Osiąga to poprzez zastosowanie do opisu obniżeń górotworu teorii automatów komórkowych. Przyjmuje tezę, iż: „Zastosowanie odpowiednio zaprogramowanego automatu komórkowego umożliwia symulację rozkładu obniżeń terenu dając wyniki zgodne z obserwacjami geodezyjnymi. Model górotworu oparty na automacie komórkowym umożliwia symulacje rozkładu obniżeń w strefach uskokowych oraz w strefach dużych deformacji”. Jest to nowatorskie, godne poparcia podejście do zagadnienia opisu wpływów eksploatacji górniczej i dlatego dobór tematyki recenzowanej pracy doktorskiej oceniam bardzo wysoko.

2. Omówienie zakresu i głównych rezultatów opiniowanej pracy

Opiniowana praca liczy łącznie 120 stron. Zawiera spis 54 pozycji literatury. Jest niezwykle bogato ilustrowana, gdyż zawiera łącznie 91 rysunków. Ważniejsze dane liczbowe zamieszczono w 4 tabelach.

Całość pracy opisano w 8 rozdziałach.

Rozdział 1 zawiera spis najważniejszych oznaczeń wykorzystanych w pracy.

W **rozdziale 2** („Wstęp”) przedstawiono wprowadzenie do problematyki pracy. Autor określa w nim tezę pracy, a także cel i zakres pracy.

W **Rozdziale 3** („Analiza literatury dotyczącej deformacji terenu górniczego spowodowanej podziemną eksploatacją pokładów węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem prognozowania deformacji w górotworze traktowanym jako ośrodek stochastyczny”) zostały omówione metody prognozowania deformacji górniczych. Autor w szczególności skupia się na metodach prognozowania deformacji traktujących

górotwór jako ośrodek stochastyczny. Przedstawia charakterystykę rozkładu prawdopodobieństw przejść w modelu ośrodka sypkiego J. Litwiniszyna, którą przyjmuje jako wzorcową do dalszej analizy. Na bazie podziału metod służących do modelowania ośrodków Doktorant charakteryzuje skończony automat komórkowy, którego struktury opisywane są przez siatkę komórek oraz ich stany, przejścia i reguły przejść. Pozwala on na symulację zjawisk deterministycznych i stochastycznych w zależności od przyjętej tzw. funkcji przejścia. Zwraca uwagę na możliwość wykorzystania automatów komórkowych do modelowania górotworu, gdyż odpowiednią strukturą siatki komórek można w przybliżeniu odwzorować przekrój przez górotwór. Ukierunkowana lub losowa wymiana informacji między poszczególnymi komórkami w siatce może symulować przemieszczanie się cząstek w górotworze następujące do wyeksploatowanej jego części.

W **Rozdziale 4** Doktorant prezentuje budowę najprostszego, będącego podstawą do dalszych rozważań modelu górotworu z wykorzystaniem skończonego deterministycznego i niedeterministycznego automatu komórkowego. W modelu tym dwuwymiarowy przekrój przez górotwór został przedstawiony za pomocą regularnej siatki komórek, w której poszczególne wiersze odwzorowują kolejne poziomy w górotworze. Zdefiniowane zostały zasadnicze parametry automatu komórkowego takie jak sąsiedztwo komórkowe, określające przestrzeń w ramach której będzie się odbywał proces wymiany informacji oraz reguły przejść decydujące w głównej mierze o charakterze rozkładu symulowanego zjawiska. Reguły przejść, polegające na przekazywaniu wartości obniżenia z komórki bazowej do komórek z sąsiedztwa oparte zostały na charakterystyce rozkładu granicznych wartości prawdopodobieństw przejść w modelu wzorcowym. Wykonanie symulacji rozkładu obniżeń modelu wymagało opracowania autorskich programów komputerowych, których podstawy budowy i działania zostały opisane przez Autora.

Rozbudowany **Rozdział 5** zawiera podstawową charakterystykę rozkładu deformacji w modelu zbudowanym w oparciu o skończony automat komórkowy. Na początek autor analizuje związek pomiędzy modelem stochastycznym oraz modelem deterministycznym. W modelu stochastycznym, w którym sposób przejścia pustki do góry jest wynikiem losowania przyjęto symulację iteracyjną, która polega na podziale każdej komórki bazowej na dodatkowe cząstki elementarne. Dla każdej z nich powtarzano ten sam proces rozkładu otrzymując w miarę zwiększania liczby iteracji charakterystykę obniżeń na powierzchni dążącą w granicy do charakterystyki właściwej modelowi deterministycznemu.

W dalszej części pracy rozważany jest wyłącznie model deterministyczny jako bardziej efektywny numerycznie.

Następnie autor przedstawił charakterystykę rozkładu dla tzw. wysypu szczelinowego, rozumianego jako rozkład obniżeń z jednej komórki. Analizując ten rozkład ustalił zależność wiążącą stosunek maksymalnych obniżeń do maksymalnych nachyleń w zależności od ilości wierszy (warstw modelu) zalegających nad daną komórką. Zgodnie z oczekiwaniem uzyskana zależność jest zgodna z zależnością wynikającą z rozwiązania J. Litwiniszyna. W kolejnym kroku autor wykazał, że symulacja eksploatacji o kształcie półpłaszczyzny daje w wyniku niekę obniżeniową o kształcie opisywanym przez całą z funkcji Gaussa.

Analizując ten przypadek eksploatacji autor ustalił podstawową zależność wiążącą, założone wartości funkcji rozkładu, wymiary komórki, głębokość eksploatacji i wartość maksymalnego obniżenia z maksymalnym nachyleniem dla nadpełnej niecki obniżeniowej.

W dalszej kolejności Autor wykazał stałość wyników symulacji dla różnych wymiarów komórek przy zachowaniu stałej wartości maksymalnego nachylenia oraz dla różnych funkcji rozkładu (przy ciągłym założeniu symetrii rozkładu). Na tej podstawie zdefiniował wskaźnik maksymalnego nachylenia a_T . Charakterystyka zmiany wartości tego parametru w zależności od głębokości eksploatacji jest zbieżna z charakterystyką zmiany parametru $tg\beta$ teorii W. Budryka – S. Knothego dla górotworu nienaruszonego wyznaczoną przez Z. Rogusza.

Następnie Autor scharakteryzował rozkład deformacji dla pokładu nachylonego. Poziome przesunięcie wpływów zostało odwzorowane poprzez przyjęcie niesymetrycznej funkcji rozkładu. Wielkość asymetrii uzyskiwana tą funkcją jest uzależniona od zdefiniowanego w pracy parametru asymetrii z_k .

Ostatnim etapem rozdziału było porównanie rzeczywistych wyników pomiarów obniżenia powierzchni terenu górniczego spowodowanych podziemną eksploatacją z wynikami symulacji, które wykazały dużą zbieżność.

W **rozdziale 6** Doktorant przedstawił możliwość odwzorowania nieciągłości w górotworze w postaci szczelin uskokowych oraz ich wpływ na charakterystykę rozkładu deformacji. Chcąc pozostawić strukturę podstawowej siatki górotworu czytelną dla potrzeb analizy rozkładu obniżenia utworzył drugą siatkę komórek zawierającą opis przebiegu szczelin uskokowych. Szczeliny uskokowe zostały odwzorowane na krawędzi styku komórek. Podczas działania symulacji specjalna procedura sprawdza czy na danym przejściu między komórką bazową a daną komórką z sąsiedztwa istnieje ograniczenie ze strony szczeliny uskokowej.

W celu zmiany charakterystyki rozkładu Autor zdefiniował parametr u przyjmujący wartości z przedziału $\langle 0;1 \rangle$, od którego zależy siła oddziaływania uskoku na funkcję rozkładu. Wartość 1 ma oznaczać pełne oddziaływanie, natomiast wartość 0 brak oddziaływania.

Na podstawie zaproponowanego algorytmu przeprowadził analizę wpływu uskoku na obniżenia powierzchni modelu dla różnych przypadków eksploatacji. Rozważał między innymi wpływ zbliżania się lub oddalania eksploatacji od szczeliny uskokowej, wpływ kąta nachylenia szczeliny uskokowej oraz grubości nadkładu na wielkość deformacji w rejonie wychodni uskoku.

Rozważania teoretyczne poparte są wynikami symulacji wykonanej dla konkretnej sytuacji górniczo – geologicznej. Pomimo złożonej sytuacji górniczej, wyniki symulacji okazują się być wysoce zgodne z wynikami pomiarów geodezyjnych.

W **Rozdziale 7** został przedstawiony sposób modyfikacji funkcji rozkładu prowadzący do nieliniowego sumowania się wpływów wielokrotnej eksploatacji. Pozwala to uzyskać lepsze dopasowania otrzymywanych z symulacji profili niecek obniżeniowych do profili obserwowanych pomiarami geodezyjnymi.

Nieliniowość Autor wprowadził uzależniając funkcję rozkładu od wartości doznanego nachylenia w danej komórce siatki. Przyjęta funkcja rozkładu charakteryzuje się dwoma parametrami, których wpływ został omówiony. W opisywanym modelu można zaobserwować niesymetryczność niecki obniżeniowej względem jej punktu środkowego. Analizując działanie pętli programowej FOR Autor zauważył, że znaczenie ma kierunek jej działania, co w konsekwencji umożliwia uwzględnianie kierunku eksploatacji.

Przedstawiono również przykładową charakterystykę zmiany wartości parametru maksymalnego nachylenia a_T w zależności od grubości eksploatacji (lub od jej krotności) potwierdzając przyjęte założenia o nieliniowym sumowaniu się wpływów.

Rozdział 8 zawiera podsumowanie pracy i wnioski.

3. Ocena omawianej pracy doktorskiej

W opiniowanej pracy poza dość dokładnym scharakteryzowaniem istniejących metod prognozowania deformacji w górotworze traktowanym jako ośrodek stochastyczny oraz omówieniem metod wykorzystywanych do numerycznego modelowania ruchów górotworu (zagadnienia te zostały przedstawione w rozdziale 3) można wyróżnić 2 główne nurty tematyczne.

Pierwszy z nich, przedstawiony w rozdziałach 4 i 5, dotyczy budowy podstawowego modelu matematycznego umożliwiającego opis przemieszczeń pionowych górotworu. Modelem tym jest automat komórkowy, w którym płaski przekrój górotworu opisywany jest siatką odpowiednio zwymiarowanych komórek. Autor wyprowadza tu podstawowe zależności umożliwiające uzyskiwanie wyników symulacji zgodnych z obserwacją.

Drugi nurt tematyczny, przedstawiony w rozdziałach 6 i 7 pokazuje nowe możliwości w zakresie symulacji obniżeń jakie wynikają z zastosowania przyjętego modelu matematycznego. Te nowe względem teorii geometryczno - całkowych możliwości to:

- możliwość analizy wpływu nieciągłości górotworu na wielkość deformacji górotworu i terenu górniczego,
- możliwość uwzględnienia wszystkich dotychczasowych deformacji całego analizowanego górotworu w przebiegu dalszych deformacji górotworu i terenu górniczego. Prowadzi to do delinearizacji opisu deformacji górotworu stwarzając zupełnie nowe możliwości w tym zakresie.

Głównymi osiągnięciami opiniowanej pracy to:

1. Pokazanie, że stosując model matematyczny zbudowany z odpowiednio zaprogramowanej siatki automatu komórkowego możemy opisać proces eksploatacji górniczej i odpowiadający mu proces pionowych ruchów górotworu. W przypadku modelu liniowego uzyskana krzywa obniżenia dąży w granicy do krzywej opisującej całkę z funkcji Gaussa.
2. Wyprowadzenie fundamentalnych zależności ujmujących wpływ parametrów modelu na kształt profilu niecki obniżeniowej.
3. Pokazanie możliwości efektywnego opisu wpływu nieciągłości górotworu na jego deformacje. W oparciu o zaproponowane przez autora rozwiązania można na przykład oszacować wpływy geometrii uskoku i geometrii eksploatacji na maksymalne możliwe oddziaływanie uskoku na przebieg deformacji terenu górniczego w rejonie jego wychodni.
4. Pokazanie prostych sposobów opisu wpływu nachylenia warstw górotworu na deformacje terenu górniczego.
5. Pokazanie możliwości delinearizacji opisu procesu obniżeń, które docelowo prowadzą do znacznego udoskonalenia metod prognozowania deformacji zwłaszcza w rejonach występowania dużych i niejednorodnych deformacji.

Wymienione osiągnięcia opiniowanej pracy świadczą o tym, że autor w pełni zrealizował założoną tezę pracy.

Realizacja pracy wymagała od autora znacznej wiedzy w zakresie matematyki, zasad modelowania numerycznego, budowy algorytmów oraz zasad programowania.

Badając model Autor wykazał ponadto, że:

- wynikający z modelowania wzrost wartości parametru maksymalnego nachylenia, który utożsamia z parametrem $\text{tg}\beta$ teorii S. Knothe'go, z głębokością ma tendencję zgodną z wynikami badań Z. Rogusza,
- opisana opracowanym przez Doktoranta wzorem zmiana wartości promienia zasięgu wpływów w górotworze ma charakter zgodny z rozwiązaniem J. Litwiniszyna dla ośrodka stochastycznego.

Szczególnie ciekawym rezultatem jest dla mnie wynik pokazujący wpływ założonej delinearizacji na kształt niecki obniżeniowej w rejonie rozruchu i zakończenia biegu ściany. Autor uzyskał wynik, który ja potwierdziłem wynikami pomiarów geodezyjnych.

Należy podkreślić, że większości z zaproponowanych rozwiązań Doktorant zweryfikował bądź to teoretycznie z obniżeniami otrzymanymi wzorem S. Knothego, bądź też w oparciu o modelowanie rzeczywistych eksploatacji i porównanie ich wyników z wynikami pomiarów geodezyjnych.

Oceniając recenzowaną pracę doktorską należy stwierdzić, że pewien niedosyt może budzić pominięcie w niej następujących elementów:

- problematyki modelowania poziomej składowej,
- oceny dokładności aproksymacji niecki obniżeniowej przy pomocy automatu komórkowego w zależności od wymiarów komórek i ilości warstw komórek,
- oceny dokładności dopasowania wyników modelowania do wyników obserwacji geodezyjnych z linii pomiarowej na KWK „Dębieńsko”.

Trzeba jednak podkreślić, że Autor przedstawił w pracy nowatorską i nigdy dotychczas nie stosowaną metodę prognozowania obniżeń górotworu spowodowanych eksploatacją górnictw przy użyciu automatu komórkowego. Metoda ta daje nowe możliwości w zakresie prognozowania deformacji wewnątrz górotworu i na powierzchni terenu górnictwa pozwalając uwzględnić m.in. zmienne własności ośrodka i wpływ nieciągłości w górotworze. Prostota zaproponowanych rozwiązań oraz ich kompletność sprawiają przy tym, że może ona znaleźć zastosowanie praktyczne. Należy tylko żałować, że Autor nie rozszerzył tej metody na przypadek trójwymiarowy.

4. Wniosek końcowy

Wymienione wyżej nieliczne uwagi krytyczne nie przesądzają o wartości pracy. Autor dobrze wykorzystał aktualny stan wiedzy na temat opracowanego tematu. Wykazał się umiejętnością samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych i technicznych. Przedstawił bardzo nowatorskie podejście do zagadnienia prognozowania wpływów eksploatacji górnictwa przy pomocy automatu komórkowego. Zaproponował, przebadał i zweryfikował deterministyczny i stochastyczny model górotworu oparty na płaskiej siatce komórek opracowując odpowiednie wzory pozwalające na symulowanie w nim ruchów górotworu powodowanych eksploatacją górnictwa zgodnych z obserwacjami geodezyjnymi. Podał także rozwiązania dla modelowania automatem komórkowym wpływu uskoków, obrzeża eksploatacyjnego oraz wpływu kierunku eksploatacji. Opiniowana praca doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Cechuje ją wysoki poziom naukowy i innowacyjność. Docelowo, po rozwinięciu rezultatów pracy na przypadek 3D będzie posiadać również wysoką wartość użyteczną.

Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Sikory pt. „Opis obniżeń górotworu pod wpływem podziemnej eksploatacji górnictwa z wykorzystaniem teorii automatów komórkowych” czyni zadość wymogom ustawowym, szczególnie warunkom określonym w Ustawie z dnia 14.03.2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. W związku z tym stawiam wniosek Radzie Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

