



Recenzja
rozprawy doktorskiej Mgr. inż. Pawła Sikory
pt. „Opis obniżeń górotworu pod wpływem podziemnej eksploatacji górniczej z
wykorzystaniem teorii automatów komórkowych”

Recenzję poniższą opracowano na podstawie pisma Pana Dziekana Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej Prof. dr. hab. inż. Mariana Dolipskiego z dnia 6.06.2011 r. (nr pisma: RGBD/323/10/11), powołującego się na uchwałę Rady Wydziału Górnictwa i Geologii z dnia 31.05.2011 r.

1. Dobór tematyki badawczej

Problematyka opisu obniżeń w górotworze wywołanych podziemną eksploatacją górniczą była i nadal jest przedmiotem wielu opracowań naukowych. Nie jest sprawą banalną znaleźć odmienny sposób opisu matematycznego procesu deformacji górotworu i powierzchni, cechujący się przy tym prostotą założeń i nowatorskim aparatem matematycznym. Przedstawiona do recenzji praca doktorska Mgr. inż. Pawła Sikory spełnia to kryterium. Autor nie przedstawia przy tym własnej teorii geomechanicznej; wykorzystując dotychczasowe poglądy proponuje inny sposób prognozowania wpływów eksploatacji górniczej, oparty na teorii automatów komórkowych (ang. *cellular automata*). Należy podkreślić – co zresztą podkreśla Autor – podobieństwo założeń tej teorii do metody stochastycznej J. Litwiniszyna, dotychczas rzadko stosowanej w praktyce ze względu na konieczność stosowania w niej zaawansowanych metod matematycznych (układów równań różniczkowych cząstkowych drugiego rzędu). Tematyka badawcza pracy jest więc swego typu wyzwaniem pod adresem dotychczasowych, tradycyjnych metod liczenia; Autor dąży w niej do wykazania przydatności stosowanej metody, szczególnie w sytuacjach, w których metody stosowane obecnie wymagają specjalnych uzupełnień i dodatkowych założeń (w strefach zaburzeń tektonicznych). Cel pracy jest zarówno teoretyczny – uzasadnia zastosowanie nowatorskiego sposobu symulacji deformacji górniczych, jak i praktyczny – umożliwia predykcję stanu górotworu w sytuacjach tak typowych, jak i odbiegających od przeciętności. Dobór tematyki badawczej jest więc właściwy wobec istnienia dużego zapotrzebowania na tego typu rozwiązania systemowe.

2. Zakres recenzowanej rozprawy

Autor rozpoczyna dysertację wykazem stosowanych w niej oznaczeń, wraz z ich definicjami. Definicje te – zwłaszcza w stosunku do symboli autorskich – przytacza też w podstawowym tekście pracy. Nie zamieszczono w tym wykazie oznaczeń powszechnie przyjętych w teorii deformacji górniczych (współczynnik α , głębokość h , kąt zasięgu wpływów głównych β), choć z drugiej strony znalazło się tu oznaczenie miąższości pokładu g . Można było darować sobie wyodrębnianie tej części – dość często stosowanej – jako odrębnego rozdziału.

Właściwa rozprawa rozpoczyna się od rozdziału 2 (wstępu), w którym postawiono tezę pracy o następującym brzmieniu: „**Zastosowanie odpowiednio zaprogramowanego automatu komórkowego umożliwia symulację rozkładu obniżeń terenu dając wyniki zgodne z obserwacjami geodezyjnymi. Model górotworu oparty na automacie komórkowym umożliwia symulację rozkładu obniżeń w strefach uskokowych oraz w strefach dużych deformacji**”. Teza ta wiąże się z charakterem dysertacji, mającej na celu wykazanie przydatności zaproponowanej metody, i z oczywistych względów nie epatuje oryginalnością; oddaje jednak celnie charakter pracy i jej zakres.

Rozdział 3 zawiera przegląd dotychczasowych metod prognozowania deformacji górniczych. W szczególności omówiono teorie prognozowania deformacji, traktujące górotwór jako ośrodek stochastyczny, przyjmując charakterystykę rozkładu prawdopodobieństw przejść w modelu ośrodka sypkiego J. Litwiniszyna jako wzorcową. Autor omawia również pokrótce metody numerycznego modelowania ruchów górotworu (metodę Monte Carlo, MES, metodę elementów odrębnych, sieci neuronowe) oraz sygnalizuje możliwość wykorzystania tu metody opartej o teorię automatów komórkowych, zauważając, że nie była ona dotychczas wykorzystywana w zakresie prognozowania wpływów eksploatacji na powierzchni terenu górniczego.

Zasadniczą treść dysertacji, wraz z przedstawieniem koncepcji Autora, zawierają rozdziały 4-7.

Rozdział 4 przedstawia definicję i klasyfikację skończonego automatu komórkowego (na podstawie literatury przedmiotu) oraz budowę podstawowego modelu górotworu z wykorzystaniem skończonego deterministycznego i niedeterministycznego automatu komórkowego. Płaski przekrój przez górotwór został przedstawiony za pomocą regularnej (dwuwymiarowej) 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 o charakterze rozkładu symulowanego zjawiska. Reguły przejść zostały początkowo oparte na charakterystyce rozkładu granicznych wartości prawdopodobieństw przejść w modelu ośrodka sypkiego J. Litwiniszyna. Wykonanie symulacji rozkładu obniżeń w przedstawionym modelu

wymagało utworzenia autorskich programów komputerowych; Autor podaje ich podstawy działania i budowy.

Rozdział 5 zawiera charakterystykę rozkładu deformacji w modelu zbudowanym w oparciu o skończony automat komórkowy. W przypadku modelu stochastycznego przyjęto symulację iteracyjną, polegającą na podziale każdej komórki na dodatkowe cząstki elementarne. Dla każdej cząstki powtarzano ten sam proces rozkładu, otrzymując charakterystykę obniżeń na powierzchni modelu. Ten sam sposób symulacji zwiększa stałość otrzymywanych wyników, którą potwierdzono malejącą wartością średniego błędu kwadratowego wartości średniej, wyznaczanego dla poszczególnych serii symulacji rozkładów obniżeń różniących się liczbą iteracji. Model deterministyczny może być traktowany, w tym szczególnym przypadku, jako model stochastyczny, gdzie liczba iteracji dąży do nieskończoności. Do dalszej analizy Autor przyjął model deterministyczny.

Przedstawiono charakterystykę rozkładu dla tzw. wysypu szczelinowego traktowanego jako rozkład obniżeń z jednej komórki. Przyjmując odwzorowywany w rzeczywistości wymiar komórki określono stosunek maksymalnych obniżeń do maksymalnych nachyleń w zależności od liczby wierszy zalegających nad daną komórką, który zgodny jest z tendencją rozkładu dla ośrodka stochastycznego. Przypisując każdej komórce w siatce jednakowe wymiary, na podstawie licznych symulacji Autor opracował podstawową zależność wiążącą wymiary komórki, głębokość eksploatacji, wartość maksymalnego obniżenia z maksymalnym nachyleniem dla nadpełnej niecki obniżeniowej. Otrzymana w wyniku symulacji niecka obniżeniowa jest zgodna z kształtem opisywanym przez całkę z funkcji Gaussa. Model zachowuje zasadę superpozycji wpływów (co wykazano w dysertacji), a rozkład deformacji wewnątrz modelu ma charakter zbieżny z rozkładem w ośrodku sypkim. Wykazano również stałość modelu dla różnych rozmiarów komórek i różnych funkcji rozkładu; na tej podstawie Autor zdefiniował wskaźnik maksymalnego nachylenia a_T , którego wartości w zależności od głębokości mają rozkład zgodny z charakterystyką zmiany parametru $\tan\beta$ teorii W. Budryka – S. Knothego dla górotworu nienaruszonego. Następnie scharakteryzowano rozkład deformacji dla pokładu nachylonego. Poziome przesunięcie wpływów zostało odwzorowane poprzez przyjęcie niesymetrycznej funkcji rozkładu; zdefiniowano przy tym parametr asymetrii z_k . Weryfikację modelu przeprowadzono dla danych rzeczywistych, porównując rezultat z wynikami obserwacji geodezyjnych; uzyskano – jak stwierdza Autor – dużą zbieżność.

W **rozdziale 6** przedstawiono możliwość odwzorowania nieciągłości w górotworze w postaci szczelin uskokowych oraz ich wpływ na charakterystykę rozkładu deformacji wewnątrz modelu i na jego powierzchni. Realizacja tego zadania wymagała utworzenia równoległej siatki komórek, w której przebieg szczelin odwzorowano na krawędzi styku komórek. Działanie symulacji polegało na równoległym poddawaniu ewaluacji obu siatek i porównywaniu wartości w odpowiadających sobie komórkach podczas każdej iteracji. Ustalono przestrzeń stanów przyjmowanych przez komórki w

siatce uskoków oraz procedurę odwzorowującą przebieg szczeliny w oparciu o wymiary komórek. Autor zdefiniował i opisał parametr przepuszczalności u , od wartości którego zależy siła oddziaływania uskoków na funkcję rozkładu. Następnie określił wpływ zmodyfikowanej funkcji rozkładu na kształt niecki obniżeniowej na przykładzie szeregu symulacji eksploatacji abstrakcyjnego pokładu zalegającego poziomo w strefie uskokowej. Należy przy tym zauważyć, że zamiast różnicowania parametrów usytuowania abstrakcyjnego pokładu i uskoków można było pokusić się o uogólnienie rezultatów w zależności od zakresu parametrów położenia; dzięki temu procedura modelowania uzyskałaby większą spójność, a rozdział uległby skróceniu (jest to najdłuższy rozdział dysertacji, co stwarza wrażenie przewagi tematyki wpływu uskoków w problematyce deformacji górniczych). Przedstawiono również wpływ kąta zapadania szczeliny uskokowej oraz nadkładu na deformacje wynikające z oddziaływania uskoków na rozkład obniżeń. Warto podkreślić, że uzyskane dzięki symulacji wyniki są oryginalne i rzucają nowe światło na zagadnienie wpływu uskoków na rozkład deformacji powierzchni i górotworu. Rozdział zakończono symulacją rozkładu obniżeń w górotworze dla rzeczywistej eksploatacji pokładu węgla kamiennego, w rejonie strefy uskokowej, w celu konfrontacji opisanego modelu z wynikami obserwacji geodezyjnych. Uzyskano – jak podkreśla Autor – dużą zbieżność rezultatów.

Rozdział 7 przedstawia sposób modyfikacji funkcji rozkładu w celu lepszego dopasowania otrzymywanego z symulacji profilu niecki obniżeniowej do profilu obserwowanego pomiarami geodezyjnymi. Do modelu Autor wprowadza więc nieliniowość, uzyskaną przez uzależnienie funkcji rozkładu od wartości nachylenia w danej komórce siatki odwzorowującej przekrój przez górotwór. Opisano wprowadzone parametry delinearizujące i przedstawiono ich wpływ na zmianę wartości przejścia obniżeń między sąsiednimi komórkami. Przedstawiono również przykładową charakterystykę zmiany wartości parametru maksymalnego nachylenia α_T w zależności od grubości eksploatacji, potwierdzając przyjęte założenia o nieliniowym sumowaniu się wpływów.

Rozdział 8 zawiera podsumowanie pracy i wnioski. Jest raczej streszczeniem poszczególnych rozdziałów, bez przedstawiania bardziej szczegółowych wniosków (choć np. warto było zamieścić tu interesujące wyniki symulacji obniżeń nad uskokami).

3. Ocena recenzowanej rozprawy

Autor podjął temat trudny, wymagający znajomości geomechaniki, geodezji, a także informatyki. Zastosowana przez Niego metoda jest nowatorska i stanowi oryginalny wkład Autora do rozwoju dyscypliny naukowej „górnictwo i geologia inżynierska”. Opanowanie przez Autora wszystkich aspektów obszernego pojęciowo zagadnienia świadczy o wysokim poziomie Jego wiedzy i umiejętnościach badawczych. Postawiona w rozprawie teza została udowodniona, m.in. przez weryfikację założeń modelowych na podstawie przykładów praktycznych.

Przedstawiona dysertacja ma zwartą konstrukcję, prowadzącą od tezy i założeń do wniosków poprzez kolejne etapy dowodzenia ich słuszności na podstawie analizy modeli abstrakcyjnych, weryfikowanej przykładami praktycznymi. Przemyslaną konstrukcję rozprawy umacniają podsumowania cząstkowe, umieszczane na końcu każdego rozdziału oraz niektórych podrozdziałów; ułatwia to śledzenie logicznej ścieżki rozumowania Autora.

Realizacja pracy wymagała opracowania przez autora oryginalnych algorytmów i programów komputerowych umożliwiających przeprowadzenie symulacji rozkładu obniżeń w modelu górotworu. Należy podkreślić, że wyniki pracy wskazują na duże możliwości dalszego rozwoju zastosowanej metody automatów komórkowych do opisu deformacji górotworu i terenu górniczego. Dysertacja nie zamyka więc tematu, lecz przeciwnie – otwiera pole do dalszych badań w jego zakresie.

Kontynuowanie tematu wymaga przy tym zakreślenia zasięgu skuteczności proponowanej metody modelowania deformacji, szczególnie falsyfikacji jej założeń dla różnych rodzajów górotworu, wskaźników deformacji itd. Rozważań nad ograniczeniami stosowalności zamieszczonego rozwiązania zabrakło w dysertacji; mogą być one przedmiotem dalszych rozważań Autora lub Jego naśladowców. Niekiedy także interesujące wątki rozważań Autora zostają dalej zaniechane (np. wpływ założenia stochastycznego modelu górotworu).

Do wymiernych osiągnięć Autora dysertacji należy więc:

- Zaproponowanie nowatorskiego sposobu modelowania rozkładu deformacji w górotworze i wykazanie jego przydatności do kompleksowego rozwiązywania trudnych w matematycznym ujęciu problemów (deformacji przy eksploatacji pokładów nachylonych, w obecności naruszeń tektonicznych, z uwzględnieniem nielinearności sumowania się wpływów, przy stochastycznym modelu górotworu).
- Opracowanie reguł postępowania w ramach tego sposobu, w tym reguł przejść i zdefiniowanie parametrów niezbędnych dla wykonania symulacji i opisu jej rezultatów.
- Wykazanie w ramach zaproponowanego modelu szeregu interesujących (i dotychczas niewyjaśnianych) efektów w rozkładzie deformacji, zwłaszcza w przypadku eksploatacji w pobliżu uskoków).

Podstawowym brakiem rozprawy jest zdawkowe potraktowanie problemu dokładności metody. Weryfikacja rezultatów jej stosowania przez porównanie z wynikami obserwacyjnymi kończy się określeniem współczynnika korelacji i determinacji między odpowiednimi wykresami otrzymanych profili (str. 95) lub zdawkowym stwierdzeniem o dużej zbieżności otrzymanych krzywych (str. 53). Dla wykazania przydatności zaproponowanej metody może to wystarczyć; jednak dla stosowania jej w praktyce wiedza o dokładności uzyskiwanych wyników (i ewentualnie – o przewadze pod tym względem nad dotychczasowymi metodami) jest niezbędna.

Do usterek dysertacji należy również przytoczona wyżej uwaga o wrażeniu przewagi tematyki wpływu uskoków w problematyce deformacji górniczych i braku uogólnienia wyników płynących z zastosowania metody. Nie podważa to opinii o otrzymaniu tu znaczących rezultatów.

Powyższe uwagi nie są sprzeczne z wysoką oceną pracy; mają tu charakter sugestii dla Autora przy dalszym rozwinięciu tematu, będącego – jak zaznaczono – otwarciem dla dalszych badań.

4. Uwagi szczegółowe

Autor nie ustrzegł się w pracy szeregu usterek, których szczegółowy wykaz został Mu przekazany. Do usterek tych należy zaliczyć:

- liczne błędy interpunkcyjne, zwłaszcza brak przecinków, który – przy tendencji Autora do budowania długich zdań złożonych – utrudnia percepcję tekstu;
- permanentne używanie słowa „ilość” przy określaniu podmiotów policzalnych; jest to wprawdzie dopuszczalne w potocznym języku polskim, lecz rygory języka naukowego są przy tym surowsze;
- niewłaściwa forma wzoru (5.1.) (brak długości w mianowniku wzoru);
- niekonsekwentne stosowanie pojęć T i T_{\max} (rozdz. 3);
- brak oceny dokładności równania (5.12.) (zastąpionej zwrotem: „z dużą dokładnością”);
- przemienne stosowanie terminów „funkcja przejścia” i „funkcja przejść” (należało się zdecydować na jeden z nich);
- brak wymiaru przy podawaniu jednego z rozmiarów komórek (str. 97);
- niefortunny sformułowany rezultat podrozdz. 7.1. („otrzymane wyniki wskazują, że maksymalne nachylenia niecki obniżeniowej mogą wzrastać nieproporcjonalnie szybciej niż grubość eksploatowanego pokładu”) – zrozumiały jedynie w kontekście;
- niekonsekwentne przyjęcie w wykazie literatury selekcji alfabetycznej według nazwisk autorów: dla pozycji [14] i [15] selekcję tę przeprowadzono według inicjału imienia.

Usterki te w żaden sposób nie przesądzają o ocenie całości pracy, która to ocena pozostaje – jak zaznaczono wyżej – bardzo wysoka.

5. Wniosek końcowy

Autor wykazał w swojej dysertacji głęboką znajomość problemu i wykorzystał aktualny stan wiedzy dotyczącej opracowywanego tematu. Przedstawił samodzielne i oryginalne rozwiązanie zagadnienia, mające znaczenie poznawcze i praktyczne. Wykazał wszelkie cechy rzetelnego badacza, opracowując dysertację na wysokim poziomie naukowym.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Mgr. inż. Pawła Sikory pt. „Opis obniżeń górotworu pod wpływem podziemnej eksploatacji górniczej z wykorzystaniem teorii

automatów komórkowych” spełnia całkowicie warunki, określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 r. „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w dziedzinie sztuki”. W związku z tym stawiam wniosek do Rady Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę:

- głęboką, interdyscyplinarną wiedzę Autora, wykazaną w opracowaniu dysertacji,
- zaproponowanie nowego, nowatorskiego sposobu modelowania deformacji górniczych,
- wykazanie przydatności tego modelu do rozwiązywania zagadnień praktycznych,
- kompleksowość analizy problemu,
- uzyskanie rezultatów, interesujących zarówno pod względem teoretycznym, jak i praktycznym, nieznanych dotychczas w literaturze przedmiotu,
- otwarty charakter rozpatrywanego zagadnienia i jego rozwiązania, dający możliwość szerokiej jego kontynuacji,

stawiam równocześnie wniosek o wyróżnienie przez Radę Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej pracy doktorskiej Mgr. inż. Pawła Sikory pod wymienionym wyżej tytułem.

