

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

**STRESZCZENIE PRACY DOKTORSKIEJ**

**„GEOMECHANICZNY MODEL OŚRODKA GEOLOGICZNEGO  
JAKO NARZĘDZIE POSZUKIWAŃ UDOSTĘPNIANIA I  
EKSPLOATACJI ZŁÓŻ NIEKONWENCJONALNYCH”**

**mgr inż. Małgorzata Słota-Valim**

Promotor:

prof. dr hab. inż. Halina Jędrzejowska-Tyczkowska

Kraków 2017

Mającą zapewnić wzrost bezpieczeństwa energetycznego kraju dywersyfikacja źródeł energii w obszarze gazu ziemnego i ropy naftowej, w połączeniu z pojawieniem się perspektyw dla poszukiwania węglowodorów w formacjach skalnych, o niekonwencjonalnej charakterystyce zbiornikowej narzuciła nowe podejście metodyczne i nowe rozwiązania technologiczne w pełnym procesie poszukiwawczym obiektu złożowego - na etapie rozpoznania, dowiercania się do docelowej formacji złożowej, uzbrojenia odwiertu, udostępniania formacji złożowej, a także eksploatacji i zagospodarowania obiektu złożowego. Podczas realizacji wszystkich wymienionych prac nad niekonwencjonalnym obiektem złożowym cenna okazała się geomechaniczna analiza ośrodka skalnego.

Zagadnienia geomechaniki stanowią szczególnie istotny, a nawet niezbędny element w pracy nad obiektami złożowymi o charakterze niekonwencjonalnym, w przypadku których lokalny stan naprężeń i rozkłady właściwości mechanicznych górotworu odgrywają kluczową rolę i przekładają się bezpośrednio na stabilność ściany otworu wiertniczego, orientację i geometrię szczelin generowanych podczas zabiegów udostępniania niekonwencjonalnej formacji złożowej, czy na właściwości transportowe stymulowanej różnymi zabiegami skały zbiornikowej.

Przedstawiony w rozprawie bogaty przegląd bibliograficzny uzupełniony przykładami rozwiązania zadań praktycznych realizowanych w Polsce, pozwala na przedstawienie poprawnego i szeroko rozbudowanego schematu modelowania właściwości mechanicznych (*workflow*) obejmującego integrację szerokiego wachlarza danych geologicznych, geofizycznych oraz danych inżynierii złożowej, będących wynikiem opracowania badań i testów przeprowadzonych na materiale rdzeniowym, w otworze wiertniczym, czy w całym wolumenie badanych skał. Wypracowanie sekwencji czynności i procedur pozwalających na opracowanie modeli parametrycznych opisujących poszczególne właściwości skał, w tym właściwości sprężyste, mechaniczne i, oddziałujące na ośrodek skalny, ciśnienia porowe i naprężenia podstawowe, umożliwiło przygotowanie kompletu danych wejściowych, niezbędnych do przeprowadzenia symulacji geomechanicznej metodą elementów skończonych (FEM). Uzyskane modele geomechaniczne pozwalają na prognozowanie rozkładów naprężeń i odkształceń, a także wskazania stref zniszczenia w analizowanej formacji skalnej o zadanej charakterystyce geomechanicznej. Co więcej, opracowany *workflow* ma charakter uniwersalny i może być wykorzystany do modelowania obiektów złożowych o dowolnej geometrii, lokalizacji oraz stopniu szczegółowości, uwarunkowanej sformułowanym problemem badawczym i dostępnością danych, pozwalających na dokonanie geomechanicznej charakterystyki analizowanego ośrodka skalnego.

Rozprawa doktorska została przedstawiona w pięciu Rozdziałach (łącznie 215 stron). Pierwsze trzy rozdziały naświetlają zagadnienia ogólne: wprowadzenie do zagadnień geomechaniki oraz sformułowany cel i tezy pracy (Rozdział I), krótki zarys historyczny zastosowania geomechaniki na świecie (Rozdział II), a także zarys podstaw teoretycznych uzupełnionym ważniejszymi definicjami i relacjami (Rozdział III).

W Rozdziale IV zaprezentowano zastosowanie modelowania geomechanicznego na przykładzie czterech obiektów, w tym trzech zlokalizowanych na terenie Polski, gdzie przedmiotem modelowania były różnowiekowe formacje geologiczne, stanowiące skałę złożową o charakterystyce właściwej dla gazu ściśniętego (*tight gas*), gazu łupkowego (*shale gas*) i metanu z pokładów węgla (*coalbed methane*). Natomiast przedmiotem modelowania geomechanicznego przeprowadzonego na materiale syntetycznym jest ośrodek skalny o niekonwencjonalnej charakterystyce (wymagający zastosowania wielokrotnie przeprowadzanych zabiegów szczelinowania), dla którego należało określić optymalne warunki wejściowe (relacje naprężeń poziomych) oraz optymalną różnicę czasu na przeprowadzenie wtórnego zabiegu szczelinowania hydraulicznego.

W pierwszym prezentowanym przykładzie, opisanym w Rozdziale IV.1, przedstawiono model geomechaniczny obiektu złożowego zbudowanego na podstawie danych syntetycznych z jednego odwiertu, przewiercającego formację gazonośnych utworów piaskowcowych o niskiej przepuszczalności. Omawiany model stanowi przykład sprzężenia modelowania geomechanicznego i dynamicznego modelowania przepływów płynów złożowych w formacji, której charakterystyka petrofizyczna narzuca konieczność zastosowania zabiegów udostępnienia złoża na drodze wieloetapowego szczelinowania hydraulicznego.

Drugi przykład modelowania geomechanicznego, przedstawiony w Rozdziale IV.2, zrealizowany został na obiekcie złożowym B8, w rejonie koncesyjnym Łeba, gdzie przedmiotem zainteresowania były dolnopaleozoiczne ropo- i gazonośne formacje złożowe, zdeponowane w południowej części basenu bałtyckiego. Formacje złożowe będące przedmiotem analizy poddawane są zabiegom intensyfikacji, poprzez zatłaczanie wody do ośrodka skalnego, czego spodziewanym efektem ma być odbudowa ciśnienia złożowego i w efekcie wzrost poziomu wydobywania. Przeprowadzona analiza geomechaniczna miała na celu ocenę panującego na rozpatrywanym obiekcie pola naprężeń i jego wpływu na efektywność przeprowadzanych w złożu zabiegów intensyfikacji wydobywania węglowodorów.

W rozdziale IV.3 opisano najpełniejszy zakres możliwości modelowania geomechanicznego na przykładzie dolnopaleozoicznych formacji łupkowych zdeponowanych w północnej części basenu bałtyckiego, obecnie postrzeganych jako skały perspektywiczne dla złóż węglowodorów typu *shale gas* i *shale oil*. Wykorzystując szerokie spektrum dostępnych danych tj. mapy strukturalne, wyniki przetwarzania sejsmicznego i interpretacji strukturalnej zdjęcia sejsmicznego 3D, wyniki pomiarów geofizyki wiertniczej oraz interpretacji danych otworowych, wyniki interpretacji testów inżynierii złożowej, a także wyniki pomiarów laboratoryjnych parametrów fizycznych skały zbiornikowej (zarówno petrofizycznych jak mechanicznych), opracowano model strukturalny dolnopaleozoicznej formacji łupkowej uwzględniający skały nadkładu i otoczenia skalnego oraz modele parametryczne, stanowiące dane wejściowe do symulacji geomechanicznej. Wyniki symulacji geomechanicznej dolnopaleozoicznej formacji łupkowej pozwoliły na wyznaczenie stref najbardziej podatnych na szczelinowanie, a także określenie optymalnej trajektorii poziomych odcinków odwiertów, tak aby zczyerpanie węglowodorów było najbardziej efektywne.

W Rozdziale IV.4. przedstawiono ostatni przykład modelu geomechanicznego, zrealizowanego dla pokładów węgla kamiennego (ang. *coalbed methane*) w kopalni Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Metan z pokładów węgla stanowiąc jedno z niekonwencjonalnych źródeł węglowodorów, do eksploatacji na poziomie uzasadnionym ekonomicznie wymaga zastosowania zabiegów stymulacji. Zaprezentowane w podrozdziale IV.4. sprzężenie modelowania geomechanicznego z dynamicznym modelowaniem przepływów płynów złożowych pozwoliło na dokonanie oceny efektywności wybranych zabiegów stymulacji pokładów węgla.

W rozdziale V przedstawiono dyskusję wyników i spis literatury (zawierający 128 poz. bibliograficznych).

Na przestrzeni pięcioletniego okresu realizacji niniejszej pracy, bezspornie zauważa się postęp w zrozumieniu wagi problematyki z zakresu geomechaniki, jako elementu warunkującego rozwój nauk o Ziemi. I to nie tylko widziany jako wzrost efektywności poszukiwań złóż węglowodorów ale również, w zagadnieniach typowo inżynierskich w trudnych warunkach budowy geologicznej jak np. budowa infrastruktury komunikacyjnej, zapory, farmy wiatrowe jak też poszukiwanie i monitorowanie obiektów do składowania kopaliny użytecznych ale też odpadów szkodliwych w tym gazów cieplarnianych i odpadów radioaktywnych.