



Kraków, 11.03.2019 r.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Stryczek
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii

Recenzja
pracy doktorskiej mgr inż. Łukasza Bolewskiego
pt. „Wpływ parametrów kalibratora otworowego przeciw pęczniącym ilom na jakość
wykonania otworu wiertniczego”

I. Uwagi ogólne

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Łukasza Bolewskiego została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej prof. dr hab. inż. Dariusza Mikielewicza - prof. zw. PG (l.dz. 19/WM/2019 z dnia 17.01.2019 r) oraz na podstawie zatwierdzenia mnie na recenzenta przez Radę Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej.

Praca została wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Marka Szkodo - prof. nadz. PG oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. Jacka Łubińskiego i dotyczy ona dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych, a w odczuciu recenzenta dwóch dyscyplin naukowych, a mianowicie:

- inżynierii mechanicznej,
- inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki (rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20.09.2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych).

Zasadniczym przedmiotem pracy było:

- opracowanie nowego rozwiązania buta do rur okładzinowych (Reamer Shoe) nazwanego kalibratorem otworowym przeciw pęczniącym ilom, wykorzystującego przepływ płuczki wiertniczej w opracowanym narzędziu do zwiększenia efektywności procesu skrawania i zwiększenia stopnia rozdrobnienia zeskrawanego materiału typu ilasto-lupkowego wraz z jego usunięciem na zewnątrz otworu wiertniczego.

Ponadto przeprowadzone badania, mające na celu weryfikację przyjętej koncepcji rozwiązań konstrukcyjnych kalibratora otworowego, pozwoliły na sformułowanie wniosków i zaleceń odnośnie przygotowania technicznego otworu do skutecznego zacementowania kolumny rur okładzinowych. Autor pracy opracowując koncepcje geometrii kalibratora otworowego stosował symulacje numeryczne MES i CFD. Dodatkowo dokonał analizy parametrów: przepływowych płuczki wiertniczej, skrawania i wytrzymałościowych.

Pomysł innowacyjnej konstrukcji kalibratora otworowego został zawarty w programie „Blue Gas” finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) pod akronimem PPPI. Projekt uzyskał dofinansowanie w roku 2013.

Podczas realizacji pracy wykorzystano oprogramowanie Ansys oraz Solidworks.

Konstrukcja zaprojektowanego kalibratora otworowego została zgłoszona do Europejskiego Urzędu Patentowego.

II. Problem naukowy pracy oraz jej tytuł.

Podczas realizacji prac wiertniczych związanych z uszczelnianiem kolumn rur okładzinowych jednym z najistotniejszych problemów jest zapewnienie uzyskania szczelności w przestrzeni pierścieniowej pomiędzy kolumną rur okładzinowych a ścianą otworu. Niezachowanie tego warunku może skutkować poważnymi konsekwencjami począwszy od oddziaływania ciśnienia złożowego na warstwy w górnej części otworu, a skończywszy na migracji płynów złożowych bądź powierzchniowej ekshalacji gazu ziemnego.

Efektywne uszczelnienie otworu zależy zarówno od konstrukcji otworu, zaprojektowanej dla określonych warunków geologiczno-złożowych, jak i praktycznie przeprowadzonego, zgodnie z wymogami, zabiegu cementowania poszczególnych kolumn rur okładzinowych uszczelnianych z wykorzystaniem odpowiednio dobranych składów zaczynów cementowych. To nie jedyne z koniecznych warunków wymaganych do uzyskania efektywnego uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej. W utworach ilastych i zailonych, płytko zalegających, problem szczelności rur okładzinowych w aspekcie zapobiegania migracji gazu powinien być rozpatrywany również pod kątem skutków oddziaływania na tego rodzaju skały wszystkich cieczy stosowanych zarówno podczas wiercenia otworu, przygotowania do rurowania i cementowania, jak i po jego zacementowaniu.

Poruszane w recenzowanej pracy doktorskiej zagadnienia są istotne oraz aktualne ze względu na konieczność poprawy skuteczności uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych, a zwłaszcza tych, w których występują łupki, iłołupki oraz utwory ilaste, a zatem utwory charakteryzujące się właściwościami pęczniejącymi.

Osiągnięcie skutecznego cementowania kolumn rur okładzinowych przy jednoczesnym uwzględnieniu czynnika ekonomicznego oraz zachowaniu bezpieczeństwa prowadzenia prac i respektowania przepisów ochrony środowiska może być gwarantowane przede wszystkim w wyniku stosowania innowacyjnych technik i technologii.

W związku z powyższym w ostatnich latach zarówno w kraju, jak i za granicą, prowadzone są intensywne badania nad sposobami zwiększającymi prawdopodobieństwo skutecznego cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych.

W ocenie recenzenta tytuł dysertacji doktorskiej został sformułowany poprawnie, gdyż między innymi jednoznacznie określa on problemy analizowane w tej pracy. Tym niemniej zauważyć należy, że tytuł pracy po nieznacznej tylko modyfikacji, bardziej odpowiadałby tematyce poruszanej w pracy.

III. Teza, cel i zakres pracy.

Autor jasno postawił tezę pracy, która brzmi następująco: „Zastosowanie kalibratora otworowego przeciw pęczniejącym iłom wpłynie na poprawę geometrii wewnętrznej otworu wiertniczego oraz jakość zacementowania otworu wiertniczego”.

Natomiast celem pracy było opracowanie nowego rozwiązania buta do rur okładzinowych, zwanego kalibratorem otworowym, przeciw pęczniejącym iłom, wykorzystującego przepływ płuczki wiertniczej w narzędziu do usprawnienia procesu skrawania i pełnego rozdrobnienia zeskrawanego materiału wraz z jego usunięciem na zewnątrz otworu wiertniczego.

Założony problem badawczy był adekwatny do przedstawionego celu mającego udowodnić postawioną tezę w pracy doktorskiej.

IV. Treść, układ pracy oraz zakres merytoryczny.

W recenzowanej pracy można wyróżnić:

- część teoretyczną,
- część badawczą,
- wyniki badań oraz ich omówienie wraz z dyskusją

Część pierwsza (teoretyczna) składa się ze wstępu oraz 7 rozdziałów. We wstępie Doktorant uzasadnił celowość oraz potrzebę podjęcia tematyki, która była realizowana w ramach pracy doktorskiej. W tym rozdziale sformułowano cele (naukowe i praktyczne) oraz zakres pracy. W części tej zostały omówione zagadnienia z zakresu:

- wpływu techniki i technologii wykonywania otworów wiertniczych na bezpieczeństwo eksploatacji węglowodorów,
- właściwości fizyko-chemicznych minerałów ilastych,
- metod i technologii określania warstw ilastych w profilu wierconych otworów wiertniczych,
- metod cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych,
- doboru uzbrojenia technicznego kolumn rur okładzinowych poprawiających skuteczność cementowania,
- przyczyn nieskutecznego cementowania kolumn rur okładzinowych,
- charakterystyki płuczek wiertniczych ze względu na ich właściwości wynoszenia zwiercin z otworu wiertniczego,
- sposobów poprawiających skuteczność uszczelnień kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych w wyniku stosowania odpowiednio dobranych narzędzi typu reamer shoe.

Na zakończenie tej części pracy Doktorant omawia problematykę pracy oraz formułuje hipotezy badawcze, tezę, cel i zakres pracy.

W części drugiej (badawczej) autor przedstawił:

- różne koncepcje konstrukcyjne kalibratora otworowego przeciw pęczniącym ilom,
- zastosowane procedury badawcze,
- wyniki symulacji parametrów: skrawania, przepływu płuczki wiertniczej oraz wytrzymałościowych dla proponowanych konstrukcji kalibratora otworowego,
- opis badań otworowych (w trzech otworach płytkich oraz w jednym głębokim) testowanego kalibratora otworowego pod kątem jego skuteczności kalibracji średnicy otworu w warstwie skał ilastych.

W części trzeciej (wyniki i dyskusja) Autor dysertacji doktorskiej zamieścił:

- wyniki z testów otworowych w otworach płytkich (B1, B2, B3) dotyczące pracy kalibratora pod kątem skuteczności uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej w odwierconych otworach wiertniczych,
- wyniki testu otworowego z jednego głębokiego otworu,
- opis konstrukcji opracowanego narzędzia wiertniczego o nazwie handlowej Kalibrator przeciw pęczniącym ilom,
- podsumowanie uzyskanych wyników z badań laboratoryjnych oraz testów otworowych,
- wnioski końcowe.

Zagadnienia omawiane w części teoretycznej zostały opracowane na podstawie materiałów źródłowych.

Rozdziały 8, 9, 10 i 11 (część badawcza) należy traktować jako wkład autora w rozwój wiedzy odnośnie zakresu zwiększenia skuteczności cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych, w których profilu występują warstwy łupków i ilów łupkowych.

Recenzowana praca doktorska ma zarówno wartość użytkową, jak również pewne elementy poznawcze – może nie co do teorii, a raczej praktyki przemysłowej z zakresu inżynierii mechanicznej oraz technologii wiertniczych wchodzących w skład dyscypliny inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki.

Praca posiada charakter stosowany, rozwiązuje przede wszystkim problemy natury technicznej i technologicznej. Punkt ciężkości rozważań przedstawionych w recenzowanej pracy leży w sprecyzowaniu zarówno warunków konstrukcyjnych, jak i technicznych kalibratora otworowego oraz omówieniu czynników technologicznych wpływających na skuteczność cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych.

V. Uwagi i zastrzeżenia.

Pomimo zauważonych wartości merytorycznych zawartych w pracy i niewątpliwie dużego nakładu pracy badawczej, lektura recenzowanej rozprawy doktorskiej nasuwa jednak również szereg uwag krytycznych: po pierwsze natury redakcyjnej, po drugie dostrzega się nieścisłości dotyczące części technologicznych z zakresu wiertnictwa, które są znacznie bliższe recenzentowi, po trzecie zauważa się błędy natury merytorycznej.

Do najistotniejszych uwag należałoby zaliczyć przede wszystkim:

1. Wątpliwości co do poprawności wyboru przyjętego układu pracy. Opracowane rozdziały są bardzo nierówne pod względem naukowym, a także pod względem ich objętości (część teoretyczna zawarta jest na 56 stronach, natomiast część badawcza na 35 stronach).
2. W rozdziale 15 podsumowano wyniki badań testowych oraz przedstawiono wnioski w sposób opisowy – ogólny. Tymczasem wydaje się, że powinny być one przedstawione również jako szczegółowe.
3. Autor stwierdza, że uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań otworowych nie upoważniają aby opracowany prototyp kalibratora mógł być stosowany podczas wierceń głębokich otworów. Powstaje pytanie: jak widzi Doktorant dalsze praktyczne stosowanie opracowanej metody i technologii pod kątem skuteczności cementowania kolumn rur okładzinowych w głębokich otworach?
4. Co według Autora było przyczyną niemożności jednoznacznego określenia wpływu testowanego kalibratora w płytkich otworach na jakość cementowania kolumny rur?
5. Jakimi przesłankami kierował się Autor wybierając do badań otworowych taki, a nie inny rejon wierceń? Sama obecność warstw łupkowo-ilastych w profilu planowanych otworów nie stanowi jedynej przesłanki do ich dyspersji i ich pęcznienia.
6. We wzorach (1), (5) i (14) występują nieprawidłowości oraz podano błędne oznaczenia niektórych parametrów i ich wymiar. We wzorze (1) do obliczeń liczby Reynoldsa należy stosować lepkość ekwiwalentną, gdyż płuczka wiertnicza pod względem reologicznym nie zawsze jest cieczą binghamowską,
7. Na stronie 115 Autor stwierdza, że wyniki przeprowadzonych testów na odwiercie głębokim (badania geofizyczne) wskazują na to, że pęcznienie ilów nie zachodziło. Natomiast na stronie 109 Autor podaje, że zostało potwierdzone zakładane działanie narzędzia, polegające na usunięciu przeszkód w postaci pęczniejących skał ilastych. Tym samym wyjaśnienia wymaga, które spostrzeżenie jest prawdziwe albowiem w załączniku 11 nie zamieszczono wyników badań geofizycznych z tego zakresu.

8. Dlaczego w pracy jako jedną z metod cementowania jednostopniowego normalnośrednicowych otworów wiertniczych opisano „cementowanie od góry” (str. 34)? Należy przypomnieć, że metoda ta dotyczy cementowania kolumny rur tylko w otworach wielkośrednicowych i obecnie metody tej praktycznie nie stosuje się, a rury w otworach wielkośrednicowych cementuje się przez przewód.
8. Dlaczego nie przedstawiono cementowania kolumn rur traconych (liner”) skoro omówiono cementowanie dwustopniowe, stosowane obecnie bardzo rzadko?
9. Błędnie podano nazwę jednego z odczynników wchodzących w skład receptury płuczki wiertniczej (tabela 10, str. 97).
10. W pracy naukowej bardzo ważne jest zachowanie reżimu pojęciowego właściwego dla danej dziedziny naukowej, tymczasem dużym mankamentem recenzowanej pracy jest niestosowanie normowych oznaczeń z zakresu wiertnictwa. Autor w pracy używa nieprawidłowo między innymi następujących pojęć (podaję tylko niektóre z nich):
 - jest: wpompowanie zaczynu (np. str. 14), a powinno być: zatłoczenie i wytłoczenie zaczynu,
 - stosowanie cementu (str. 14, 98), - stosowanie zaczynu cementowego,
 - inhalacje kamienia cementowego (str. 15), - ekshalacje z przestrzeni otworowej,
 - kamień cementowy (str. 17), - stwardniały zaczyn cementowy,
 - zakleszczenie rur (str. 21), - przychwycenie rur,
 - mud cakes to nie „placek błotny” (str. 21) lecz osad ilowy (filtracyjny),
 - utknięcie rur (str. 24, 25), - przychwycenie przewodu wiertniczego lub rur okładzinowych,
 - cementowanie pełne (str. 33), poprawna nazwa cementowanie do wierzchu,
 - płuczka „zastyga” (str. 47), - uzyskuje wytrzymałość strukturalną,
 - wymywanie zwiercin (str.49), - wynoszenie zwiercin,
 - podczas miechowania (przejeżdżania) (str. 109), - podczas przerabiania otworu,
 - wycofanie wiertła (str.113), - wyciąganie świdra (koronki),
 - nie dostrzega różnic pomiędzy pojęciem „otwór wiertniczy” a „odwiert”.

Zauważam, że powyższe uwagi krytyczne mają częściowo charakter dyskusyjny, bądź dotyczą spraw, które w tej pracy nie są najistotniejsze i merytorycznie nie wpływają na jakość recenzowanej dysertacji, nie mniej uwzględnienie zgłoszonych uwag byłoby co najmniej pożądane.

Przedstawione przez Doktoranta wyniki badań modelowych konstrukcji kalibratora otworowego poparte próbami przemysłowymi (trzy odwierty płytkie oraz jeden głęboki) niewątpliwie będą się dalej rozwijać mając na celu dalszego doskonalenia technologii cementowania kolumn rur okładzinowych, a zwłaszcza w utworach łupkowo-ilastych.

VI. Wnioski końcowe.

Wybór problemu badawczego uważam za interesujący z punktu widzenia naukowego, mającego na celu określenie istotności czynników natury techniczno-technologicznych wpływających na poprawę skuteczności cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych w profilu których występują warstwy pęczniące.

W moim przekonaniu, po uwzględnieniu aspektów merytorycznych pracy oraz warunków określonych w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule

naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. Ustaw z 2016 r., poz. 882 z późn. zm.), **stawiam wniosek do wysokiej Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej w Gdańsku o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Bolewskiego na temat „Wpływ parametrów kalibratora otworowego przeciw pęczniącym ilom na jakość wykonania otworu wiertniczego”, dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz do publicznej obrony.**

Prof. dr hab. inż. Stanisław Stryczek

