

Kraków, 15.09.2017r.

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. Bartłomieja Karpińskiego
pt. "Badania modelowe wpływu zmiany geometrii przestrzeni pierścieniowej na jakość
zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym"

I. Uwagi ogólne

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Bartłomieja Karpińskiego została opracowana na zlecenie Prodziekana ds. Nauki Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej prof. dr hab. inż. Krzysztofa Kalińskiego (l.dz. 118/WM/2017 z dnia 19.06.2017 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. Dotyczy ona dziedziny nauk technicznych, a w odczuciu recenzenta dwóch dyscyplin naukowych, a mianowicie:

- budowy i eksploatacji maszyn,
- górnictwa i geologii inżynierskiej.

Zasadniczym przedmiotem pracy było:

- określenie wpływu stanu technicznego otworu wiertniczego oraz czynników fizyko-chemicznych płuczki wiertniczej oraz zaczynu cementowego na skuteczność cementowania kolumn okładzinowych w otworach wiertniczych, zaprojektowanie, wykonanie, a następnie wykonanie badań eksperymentalnych na dwóch stanowiskach badawczych tzn. do testów cementacyjnych oraz narzędzi otworowych.

Ponadto przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły na sformułowanie wniosków i zaleceń odnośnie przygotowania technicznego otworu do skutecznego zacementowania kolumny rur okładzinowych.

Wykonanie stanowiska badawczego oraz przeprowadzone eksperymenty badawcze zostały zrealizowane w ramach grantu naukowego o akronimie PPPi (nr BG1/PPPi/13), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

II. Problem naukowy pracy oraz jej tytuł.

Poruszane w dysertacji zagadnienia są obecnie bardzo aktualne ze względu na konieczność poprawy skuteczności cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych, a zwłaszcza tych, w których występują łupki, iłołupki oraz utwory ilaste.

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 oraz odpowiednio dobranych do istniejących warunków geologiczno-technicznych cieczy wiertniczych (płuczka, bufor, zaczyn uszczelniający, przybitka), biorących udział w procesie wiercenia otworu wiertniczego. 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.

Tytuł pracy został sformułowany poprawnie, gdyż m.in. jednoznacznie określa on problemy analizowane w tej pracy.

III. Teza, cel i zakres pracy.

Autor jasno postawił tezę pracy, która brzmi następująco: „Kształt przeszkody (imitującej spęczniały materiał ilasty) i pozostawiony przez nią prześwit w przestrzeni pierścieniowej odwiertu będzie wpływał na proces cementowania odwiertu i jakość uzyskanego płaszcza cementacyjnego”.

Natomiast celem pracy było wykonanie badań laboratoryjnych na zaprojektowanych i wykonanych stanowiskach badawczych umożliwiających:

- a) określenie ilościowego wpływu różnych kształtów przeszkody (6 wariantów) umieszczonej w przestrzeni pierścieniowej na skuteczność cementowania,
- b) ocenę skuteczności pracy prototypu narzędzia wierzącego typu reamer shoe, o nazwie Protektor Przeciw Pęczniącym Ilom (PPPI).

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

IV. Treść, układ pracy oraz zakres merytoryczny.

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.

Recenzowana praca składa się z trzech zasadniczych części:

- koncepcji pracy,
- części teoretycznej,
- badań własnych.

W części pierwszej Doktorant uzasadnił celowość oraz potrzebę podjęcia tematyki, która była realizowana w ramach pracy doktorskiej.

W części teoretycznej zostały omówione zagadnienia z zakresu:

- mikrotomografii komputerowej służącej do analizy struktury ośrodków porowatych,
- właściwości fizyko-chemicznych minerałów ilastych,
- metod i technologii określania warstw ilastych w profilu wierconych otworów wiertniczych (radiometria, elektrometria, akustyka),
- charakterystyk cieczy wiertniczych ze względu na ich właściwości reologiczne,
- metod cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych,
- doboru zaczynów cementowych stosowanych do uszczelniania ośrodka gruntowego lub/i masywu skalnego,
- przyczyn nieskutecznego cementowania kolumn rur okładzinowych,
- sposobów poprawiających skuteczność uszczelnień kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych,

Na zakończenie tej części pracy Doktorant formułuje tezę, cel i zakres pracy.

W części trzeciej (badania własne) autor przedstawił:

- opis stanowisk badawczych (do testów cementacyjnych oraz narzędzi otworowych),
- zastosowane procedury badawcze,
- podsumowanie uzyskanych wyników z badań laboratoryjnych,
- wnioski końcowe.

Zagadnienia omawiane w części teoretycznej zostały opracowane na podstawie materiałów źródłowych. Uważam, że niektóre zagadnienia w tej części można było potraktować skrótowo (np. metody wykrywania ilów).

Rozdział 10, 11 i 12 (Badania własne) należy traktować jako wkład autora w rozwój wiedzy o stosowaniu wiedzy z zakresu 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 technologii wiertniczych wchodzących w skład dyscypliny górnictwa i geologii inżynierskiej.

Praca posiada charakter stosowany, rozwiązuje przede wszystkim problemy natury technicznej i technologicznej. Punkt ciężkości rozważań przedstawionych w recenzowanej pracy leży w sprecyzowaniu warunków otworowych wpływających na skuteczność cementowania kolumn rur okładzinowych.

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 natury redakcyjnej, a w zakresie znacznie bliższej recenzentowi części technologicznej słownictwa technicznego z zakresu wiertnictwa, jak również 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. W moim odczuciu rozdziałów jest za dużo, a ich liczba praktycznie nie wnosi do tematyki pracy. Bez szkody dla jakości pracy można byłoby niektóre skrócić i połączyć merytorycznie ze sobą,
2. W rozdziale 13 podsumowano wyniki badań testowych. Jak widzi Doktorant praktyczne zastosowanie opracowanej metody i technologii do cementowania kolumn rur okładzinowych w głębokich otworach wiertniczych o różnym profilu geologicznym pod kątem skuteczności cementowania?
3. Czy według autora pracy zastosowany do badań cement portlandzki CEM I 32,5 R Ożarów może być zastąpiony innym cementem powszechnego użytku, a jeżeli tak to jakim? Wydaje się, że można było uwzględnić w badaniach stosowanie cementu wiertniczy klasy G według API.
4. Dlaczego do sporządzenia zaczynów cementowych nie zastosowano odpowiednio wybranych dodatków i domieszek? Być może nowe receptury zaczynów mogłyby wpływać na jakość cementowania kolumn rur okładzinowych.
5. We wzorach (13) i (14) podano błędne oznaczenia niektórych parametrów i ich wymiar.
6. Dużym mankamentem recenzowanej pracy jest niestosowanie normowych oznaczeń z zakresu wiertnictwa, a zwłaszcza technologii zaczynów cementowych. Autor w pracy używa nieprawidłowo następujących pojęć:
 - studnia wydobywcza (np. str. 11, 82),
 - nie rozróżnia czym się różni „otwór wiertniczy” od „odwiertu”,
 - wielokrotnie używa słowa „casing” zamiast „rura okładzinowa” lub „kolumna rur okładzinowych”,
 - na str. 59 mieszanina ponownie „zastyguje”,
 - na rys. 16 płyn porusza się zakrzywionym profilem,
 - str. 70: „stygnięcie zaczynu” – prawdopodobnie chodzi o wiązanie zaczynu, „kurczenia cementu” – prawdopodobnie chodzi o skurcz stwardniałego zaczynu,
 - str. 72: „w czasie wiercenia tworzą się jamy (jaskinie)” - Autor miał zapewne na myśli kawerny.

7. Dlaczego w pracy jako jedną z metod cementowania głębokich otworów wiertniczych opisano „cementowanie od góry” (str. 63)? Należy przypomnieć, że metoda ta dotyczy cementowania kolumny rur tylko w otworach wielkośrednicowych, 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. Na str. 67 Autor z jednej strony podaje, że w wiertnictwie stosuje się cement portlandzki, by trzy linijki dalej podać, że do celów wiertniczych produkuje się cementy specjalne. Według norm stosowane cementy do aplikacji wiertniczych mogą być stosowane jako: cementy powszechnego użytku (PN-EN 197-1) oraz cementy wiertnicze (PN-EN ISO 10486-1).
10. Na str. 69 przedstawiono wykaz możliwych dodatków stosowanych do regulowania parametrów technologicznych zaczynu – natomiast w technologiach materiałów wiążących wyróżnia się dwa pojęcia: domieszki (PN-EN480-1, PN-EN 934) oraz dodatki (PN-B-19071).
11. Czym kierował się Autor wycinając po 27 dniach z każdej próbki odcinek zacementowanej przestrzeni do badań laboratoryjnych, skoro wg normy wytrzymałości normowe określa się po 28 dniach?
12. Na str. 99 autor podaje, że stosował bentonit wiertniczy OCMA – prawidłowo powinno się napisać, że stosowano bentonit wiertniczy odpowiadający normie OCMA (w odróżnieniu od API).
13. Autor pracy opracowując metodykę badań narzędzia otworowego typu reamer shoe nie uwzględnił ciśnienia bocznego skał ilastych, zakładając stałą wartość średnicy wewnętrznej otworu. W praktyce wiertniczej, ze względu na właściwości reologiczne skał ilastych, obserwuje się ich wyciskanie do wnętrza otworu, co w konsekwencji skutkuje spadkiem stabilności ściany otworu. Wielkość ciśnienia bocznego skał ilastych może przekraczać w głębokich otworach kilkadziesiąt MPa, co po uwzględnieniu powierzchni bocznej poszerzanego otworu, daje bardzo duże wartości sił skręcających niezbędnych do obracania całego otworowego zestawu. Uważam, że tego typu rozwiązanie nie będzie w pełni przydatne przy wierceniu głębokich otworów naftowych, ze względu na to, że połączenia gwintowe rur okładzinowych nie przewidują tak dużych obciążeń skręcających. Płynące do otworu wiertniczego formacje ilaste zalepiają elementy skrawające „poszerzacza” i eliminują zasadniczy cel jego stosowania. Przykłady świadczące o występowaniu tego typu zjawiska obserwuje się podczas wykonywania otworów naftowych z użyciem diamentowych świrdrów typu skrawającego o konstrukcji wielożebrowej. W praktyce wiertniczej zalepione narzędzie wierzące wyciąga się z otworu i oczyszcza przy równoczesnym płukaniu otworu. W odczuciu recenzenta, proponowane w pracy doktorskiej rozwiązanie techniczno-technologiczne nie może być stosowane podczas rurowania głębokich otworów wiertniczych. Być może zaproponowaną technologię można aplikować w płytkich otworach wiertniczych wykonywanych do prac geoinżynierskich.
14. W obowiązującej w przemyśle wiertniczym „Instrukcji rurowania i cementowania otworów wiertniczych” (PGNiG S.A., Warszawa 2006 r.) przedstawione są dobre praktyki wiertnicze, których przestrzeganie jest warunkiem zapewniającym bezpieczeństwo prac wiertniczych w głębokich otworach. W Instrukcji tej dopuszcza się zapuszczanie kolumny rur okładzinowych pod warunkiem uprzedniego przerobienia go oraz przepłukania, celem oczyszczenia otworu wiertniczego z urobku oraz uzyskanie w miarę możliwości nominalnej średnicy. Otwór powinien posiadać na

- całej długości ściśle określony tak zwany „prześwit” w odniesieniu do średnicy zewnętrznej kolumny rur (średnica złączki lub kielicha),
15. We wzorze 15 nieprawidłowo określono liczbę Reynoldsa, a w konsekwencji przedstawione obliczenia nie są prawidłowe. Należało zdefiniować czy przepływ stosowanych cieczy wiertniczych dotyczy przestrzeni rurowej czy między rurowej i wówczas zastosować odpowiednie wzory dla cieczy nienewtonowskich. Zaczyny cementowe to w większości przypadków cieczy opisywane modelem Cassona lub Herschela-Bulkleya i dla tych modeli należało zastosować odpowiednie wzory zarówno na liczbę Reynoldsa, kryterium liczby Reynoldsa, jak i opory przepływu.
 16. Według recenzenta wykonany model stanowiska badawczego 1 („do testów cementacyjnych”) jest bardzo dużym uproszczeniem w stosunku do rzeczywistych warunków jakie występują w otworach wiertniczych. W modelu ściana otworu reprezentowana jest przez rurę, w rzeczywistości średnica otworu jest zmienna w całym profilu, występują różne przepuszczalności górotworu, na ścianie tworzy się tak zwany „osad ilowy” wpływający na przyczepność stwardniałego zaczynu do górotworu.

Zauważam, że powyższe uwagi krytyczne mają częściowo charakter dyskusyjny, bądź dotyczą spraw, które w tej pracy nie są najistotniejsze.

Przedstawione przez doktoranta badania modelowe niewątpliwie będą się dalej rozwijać w przyszłości w celu dalszego doskonalenia technologii cementowania kolumn rur okładzinowych.

VI. Wnioski końcowe.

Wybór problemu badawczego uważam za ciekawy z punktu widzenia naukowego odnośnie określenia wagi istotności czynników fizyko-chemicznych wpływających na poprawę jakości cementowania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych.

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. Bartłomieja Karpińskiego na temat „Badania modelowe wpływu zmiany geometrii przestrzeni pierścieniowej na jakość zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym” i dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz o dopuszczenie do publicznej obrony.**

