

Dr hab. Anna Kucaba-Piętal, prof. PRz
Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza
e-mail: anpietal@prz.edu.pl

Rzeszów, 30.10.2017 r.



Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Pawła SZEWCZUKA

„Wpływ geometrii przestrzeni pierścieniowej i ruchu kolumny rur na wypieranie cieczy w odwiercie wydobywczym”

Recenzja została opracowana na podstawie pisma L.dz. 116/WM/2017 r. Pana Prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Kalińskiego, prof. zw. PG, Prodziekana ds. Nauki Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej, w związku z przewodem doktorskim Pana mgr. inż. Pawła Szewczuka. Do pisma dołączony został egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. Przedmiot recenzji

Rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Szewczuka zatytułowana „*Wpływ geometrii przestrzeni pierścieniowej i ruchu kolumny rur na wypieranie cieczy w odwiercie wydobywczym*” została wykonana pod opieką Pana dr. hab. inż. Marka Szkodo, prof. nadzw. PG. Napisana jest w języku angielskim, liczy 100 stron. Treść podzielono na osiem rozdziałów i załącznik. Spis cytowanej literatury obejmuje 71 pozycji. Dołączono spis rysunków, tabel i oznaczeń. W pracy nie zamieszczono jednak wymaganego ustawowo streszczenia w języku polskim.

2. Tematyka, cel, zakres pracy

W otworach wiertniczych głównym celem zabiegu cementacji jest odizolowanie strefowe dopływu do otworu zwartych w skalach płynów złożowych. Rury wydobywcze są najważniejszym elementem wyposażenia wgłębnego odwiertów. Z ich eksploatacją wiąże się wiele zagadnień techniczno-ekonomicznych. W przypadku wystąpienia niekontrolowanego przepływu płynu złożowego do otworu może wystąpić pożar lub wylanie płynu na zewnątrz, co powoduje skażenie środowiska. Kluczową rolę odgrywa tutaj efektywność procesu cemento-

wania rur okładzinowych, który polega na wypełnianiu zaczynem cementowym przestrzeni pierścieniowej między ścianą otworu wiertniczego a kolumną rur okładzinowych. Ma to na celu zarówno zamknięcie wód podziemnych, jak i oddzielenie od siebie horyzontów wodnych, ropnych i gazowych (uszczelnienie rur okładzinowych).

Cementowanie otworu wiertniczego jest procesem polegającym na wtłoczeniu zaczynu cementowego do przestrzeni pierścieniowej pomiędzy kolumną rur okładzinowych a skalami udostępnionymi otworem wiertniczym. Przetłaczanie wykonuje się przez but rur okładzinowych. W celu zapewnienia skutecznego zacementowania rur okładzinowych w otworze płuczka wiertnicza musi być całkowicie wyparta przez ciecz buforową i zaczyn cementowy. Hydrodynamika takiego przepływu jest bardzo złożona ponieważ w rzeczywistości jest to przepływ dwufazowy z wymianą masy. Podstawowymi wyzwaniami podczas operacji cementowania jest minimalizacja akcji mieszania się cieczy oraz rozciągnięcia granicy faz. Niepowodzenie ograniczenia tych akcji prowadzi do redukcji stopnia wyparcia płuczki, co skutkuje powstaniem kanałów w płaszczu cementowym. Niepowodzenie – wynikające z niedostatecznego stanu związania płaszczu cementowego - grozi skażeniem środowiska, bądź prowadzeniem kosztownych akcji ratunkowych i naprawczych. Poszukuje się więc optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń i maszyn wiertniczych zapewniających dobrą jakość cementowania. Zmiany konstrukcyjne muszą być poprzedzone dogłębną analizą istniejących zjawisk.

W ten obszar wpisuje się tematyka przedłożonej rozprawy doktorskiej, która jest bardzo istotna obecnie zarówno pod względem naukowym i użytkowym. Tematyka rozprawy jest ważna wobec coraz większej ekspansji przemysłu wydobywczego oraz ciągłego postępu technicznego w dziedzinie objętej tematyką niniejszej dysertacji, a także zapobieganiu katastrofom ekologicznym.

Głównym celem pracy jest analiza procesu przemieszczania się rzeczywistych płynów odwiertowych w odwiercie wydobywczym. W szczególności badania nakierowane są na ocenę wpływu geometrii przestrzeni pierścieniowej oraz ruchu kolumny rur na wypieranie cieczy w odwiercie wydobywczym, co pośrednio przekłada się na jakość zacementowania.

Autor formułuje dwie tezy:

1. Ruch posuwisto-zwrotny wewnętrznej rury zwiększa efektywność przemieszczania płynów
2. Przeszkody w obszarze pierścieniowym negatywnie wpływają na proces wypierania się cieczy wiertniczych

Zakres badań obejmuje: wykonanie symulacji numerycznych przepływu w przestrzeni pierścieniowej, dla różnej jej geometrii, z wykorzystaniem pakietu Ansys celem identyfikacji kluczowych geometrii wpływających na transport płynu, wykonanie badań eksperymentalnych transportu płynu na stanowisku umożliwiającym wprowadzenie różnych kształtów przeszkód do obszaru przepływowego, badanie wpływu ruchu posuwisto zwrotnego cylindra wewnętrznego oraz testy laboratoryjne i analizę danych uzyskanych z rzeczywistych odwiertów oraz raportów z wykonanych przez PGNiG SA.

Można stwierdzić, zarówno cel pracy jak i objęty nią zakres badań w pełni odpowiada aktualnym wymaganiom w odniesieniu do prac doktorskich.

3. Ocena merytoryczna pracy

Układ treści rozprawy jest spójny i logiczny. W pierwszej części rozprawy doktorskiej, obejmującej trzy początkowe rozdziały, na 31 stronach zawarto informacje wprowadzające w problematykę. Wymieniono podstawowe zagadnienia dotyczące problematyki związanej z przepływami w odwiertach wydobywczych oraz przegląd aktualnego stanu wiedzy z obszaru przedmiotowego zagadnienia. W części 2.2 „Mathematical model” Autor podaje równania przepływowe dla przepływów jedno i dwufazowych nie podając jednak warunków brzegowych i początkowych, które muszą spełniać. Co więcej, równania te zawierają /symbole nie wyjaśnione lub wyjaśnione błędnie – np. *molecular viscosity coefficient of the fluid*. Cel, zakres oraz główne tezy pracy zostały przedstawione w rozdziale trzecim.

W drugiej części rozprawy doktorskiej, obejmujących pięć kolejnych rozdziałów (52 strony) przedstawiono badania własne oraz informacje dotyczące metodologii badań prowadzonych celem weryfikacji sformułowanych tez. Zaprezentowano uzyskane wyniki numeryczne oraz doświadczalne oraz przeprowadzono ich szczegółową analizę. Pozwoliło to na sformułowanie wniosków w rozdziale siódmym

W rozdziale czwartym, przedstawiono i omówiono wyniki badań numerycznych przepływu w przestrzeni pierścieniowej w zależności od jej geometrii. Uwzględniono 10 kształtów obszaru przepływowego odzwierciedlających charakterystyczne rzeczywiste geometrie występujące w obszarze przepływowym w otworach wiertniczych. Następnie przeanalizowano wyniki symulacji wypierania dla dziesięciu domen płynu reprezentujących wyidealizowane sytuacje zaburzeń geometrii przestrzeni pierścieniowej. Wyniki obliczeń zostały zaprezentowane na 14 rysunkach. Stwierdzono na podstawie, ich analizy, że istnieje efekt wpływu geometrii przestrzeni pierścieniowej na transport płynu. Wykazano, że w największym stopniu na efektywność przemieszczania płynu negatywnie wpływa częściowe zamknięcie lub zwężenie obszaru

przepływowego oraz ze ten rodzaj geometrii może mieć znacznie większy wpływ na proces wypierania cieczy niż brak wzajemnej koncentryczności kolumny rur i odwiertu.

W rozdziale tym Autor szczegółowo uzasadnia kwestie przyjętych do obliczeń geometrii obszaru przepływowego, nie dostarcza jednak informacji dotyczących modelowania przepływu oraz danych, przy jakich rozwiązuje problem przepływowy. Hydrodynamika przepływu wypierania płuczki jest procesem złożonym, ponieważ w rzeczywistości jest to niestacjonarny przepływ dwufazowy z wymianą masy. Autor niestety nie określa jakie do jego rozwiązania przyjmuje uproszczenia wynikające z fizyki modelowanego zjawiska. Nie podaje informacji o przyjętych do rozwiązania wartościach początkowych i warunkach brzegowych oraz o sposobie uwzględniania w obliczeniach własności reologiczne cieczy.

W rozdziale piątym zaprezentowano uzyskane wyniki badań eksperymentalnych oraz ich analizy. Mierzono skuteczność przemieszczania się płynu dla wybranych geometrii przestrzeni pierścieniowej na stanowisku badawczym, szczegółowo przedstawionym i omówionym w tym rozdziale. Wykazano zbieżność uzyskanych wyników eksperymentalnych z rezultatami numerycznymi w aspekcie negatywnego wpływu przeszkód powodujących domknięcie lub zwężenie obszaru przepływowego na transport płynu. Również eksperymentalnie zbadano wpływ ruchu posuwisto-zwrotnego rury wewnętrznej na proces przemieszczania. Stwierdzono, że połączenie ruchu posuwisto-zwrotnego oraz obrotowego zwiększa efektywność wypierania cieczy.

W rozdziale szóstym dokonano analizy wyników geometrii otworu i jakości cementacji w oparciu o rezultaty badań otworowych kawernomierzem i wyniki związania cementu CBL w rzeczywistym otworze wiertniczym o głębokości 92 metrów oraz o wyniki zawarte w dziennikach branżowych z sześciu odwiertów PGNiG. Wykazano, że zmiany geometrii przestrzeni pierścieniowej mają istotny, negatywny wpływ na proces wypierania się cieczy wiertniczych.

W siódmym rozdziale, poddano dyskusji uzyskane wyniki, sformułowano główne wnioski oraz wskazano kierunki dalszych badań. Stwierdzono, że wyniki przedstawione w pracy dowodzą słuszności przyjętych tez oraz oprócz nowych elementów rozszerzających wiedzę zwłaszcza w aspekcie częściowego domknięcia bądź przewężenia przestrzeni pierścieniowej potwierdzają szereg istniejących zjawisk opisanych w literaturze np. zwiększenia wypierania cieczy wraz z rotacją rury wewnętrznej.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska ma charakter pracy naukowo-badawczej, a realizacja celu badawczego wykazała, że tezy pracy znalazły potwierdzenie w wynikach badań, które zostały przeprowadzone.

Temat pracy wymagał od Autora rozeznania w zakresie inżynierii wydobywczej, mechanice górotworu, budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń wiertniczych. Również niezbędną była wiedza z obszaru zastosowań mechaniki płynów oraz transportu masy i pędu ośrodków wielofazowych. Autor rozprawy wykazał się wiedzą teoretyczną i praktyczną oraz umiejętnością samodzielnej realizacji pracy badawczej poprzez znajomość metodyki, uzasadniania oraz doboru współczesnych narzędzi i aparatury naukowo – badawczej. Moja ocena pracy pod względem merytorycznym jest pozytywna.

4. Uwagi

1) W rozdziale 4 szczegółowo została omówiona jedynie geometria przestrzeni pierścieniowej, natomiast zupełnie pominięte zostały informacje dotyczące zarówno sformułowania problemu jak i jego modelowania. Proszę o informacje:

- 1) z jakich równań korzystano uzyskując wyniki symulacji wypierania dla dziesięciu domen płynu
- 2) jak sformułowano dla tych równań warunki początkowe i brzegowe,
- 3) jakie wartości stałych materiałowych płynu zostały użyte w obliczeniach,
- 4) jakie uproszczenia w odniesieniu do opisu niestacjonarnego ruchu przepływu dfuzyjowego zostały przyjęte

2) Autor na str. 52 w tab. 3 zawarł informacje o składnikach płynów i na rys. 51 przedstawił wyniki badań reologicznych tych płynów. Zazwyczaj krzywe przedstawione na takim rysunku służą one do określania tzw. równań konstytutywnych płynu, których używa się w solverach takich jak Adina, Ansys, itp.

W pracy nie podano ani równań konstytutywnych, ani żadnych innych informacji dotyczących reologii rozpatrywanych płynów. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób uwzględniano własności reologiczne płynów zobrazowane na rys 51 w obliczeniach wykonywanych solverem ANSYS.

3) Znajdujące się na str. 54 równanie (4.5) zawiera symbole, które nie zostały w pracy wyjaśnione. Proszę o wyjaśnienie. Jaka jest interpretacja fizyczna tego równania? Co ono wyraża?

4) W obliczeniach numerycznych gęstość siatki dopasowuje się do wielkości gradientu zmian. Ujednolicenie geometrii dla wszystkich rozpatrywanych obszarów, różniących się geometrią, może powodować pominięcie pewnych istotnych szczegółów dla rozwiązania. Czy prowadzono obliczenia dla innych gęstości siatek?

5) W jaki sposób uzyskane zostały rozkłady prędkości przedstawione np. na rys 28?

- 6) Ciecze tiksotropowe zazwyczaj scharakteryzowane są na wykresie za pomocą histerezy. Skąd można wnioskować, że płyny scharakteryzowane na rys 58 są tiksotropowe?
- 7) Na zbieżność rozwiązania ma wpływ wartość kroku czasowego używanego w schemacie numerycznym rozwiązywanego równania. Jaka była wartość kroku czasowego użytego w obliczeniach?
- 8) Spis literatury obejmuje 71 pozycje, nie wszystkie są cytowane w tekście. Jaka jest tego przyczyna?
- 9) Pod względem edytorskim praca jest napisana dość poprawnie, układ pracy jest spójny i logiczny, redakcja nie budzi zastrzeżeń, jednak wyniki obliczeń (np. rys 53 i dalsze) zawierają objaśnienia które nie są czytelne, należało te rysunki powiększyć.
10. Zgodnie z Ustawą, praca powinna zawierać streszczenie napisane w języku polskim.

5. Ocena końcowa

Na podstawie przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Szewczyka ustaliłam, że jej tematyka jest nowatorska i aktualna, zakres prowadzonych badań bardzo rozległy i spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Prezentuje rozwiązanie bardzo złożonego problemu i przedstawia oryginalne i wartościowe rezultaty z dziedziny budowa i eksploatacja maszyn w aspekcie maszyn i urządzeń wydobywczych. Dobrze nawiązuje do stanu aktualnej wiedzy i praktyki, a w wielu elementach wnosi do nich nowe treści, co wskazuje na dojrzałość badawczą Doktoranta. Ogólna ocena rozprawy jest pozytywna

4. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z przedstawioną rozprawą mgr. inż. Pawła Szewczuka zatytułowaną „*Wpływ geometrii przestrzeni pierścieniowej i ruchu kolumny rur na wypieranie cieczy w odwiercie wydobywczym*” stwierdzam, że rozprawa ta stanowi oryginalne rozwiązanie trudnego problemu naukowego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn i spełnia wymagania określone Ustawą o Stopniach i Tytule Naukowym z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami). Doktorant wykazał ogólną wiedzę teoretyczną oraz zdolność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wnoszę zatem o przyjęcie przez Radę Wydziału rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr. inż. P. Szewczuka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Dr hab. Anna Kucaba-Pietal, Prof. PRz