

Rzeszów, 30.10.2017 r.

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



Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Bartłomieja Karpińskiego

**„Badania modelowe wpływu zmiany geometrii przestrzeni pierścieniowej
na jakość zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym”.**

Recenzja została opracowana na podstawie pisma: l.dz. 116/WM/2017 Pana Prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Kalińskiego, Prodziekana ds. Nauki Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej, w związku z przewodem doktorskim Pana mgr. inż. Bartłomieja Karpińskiego. Do pisma dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. Przedmiot recenzji

Praca Pana mgr. inż. Bartłomieja Karpińskiego „*Badania modelowe wpływu zmiany geometrii przestrzeni pierścieniowej na jakość zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym*” została wykonana pod opieką naukową Pana dr. hab. inż. Marka Szkodo, profesora Politechniki Gdańskiej. Treść rozprawy liczy 142 strony, które podzielono na 14 rozdziałów. Spis cytowanej literatury obejmuje 130 pozycji. Oprócz pracy dyplomowej, nie dostrzegłam tam innych prac Doktoranta. Do treści pracy dołączono spis rysunków, tabel i literatury oraz dwa streszczenia: w języku angielskim i polskim.

2. Tematyka, cel, zakres pracy

Tematyka pracy dotyczy analizy procesów przepływowych i wymiany masy w otworze wiertniczym w aspekcie zacementowania rur okładzinowych.

Badania geologiczne oraz wydobywanie węglowodorów wymagają wykonywania odwiertów. Uszczelnienie poziomów skał zbiornikowych w orurowanych otworach wiertni-

czych jest najistotniejszą operacją w procesie wydobywania. Absorpcja wody z płuczki podczas wiercenia powoduje pęcznienie ilów w odwiercie, co pośrednio powoduje niższą jakość zacementowania rur okładzinowych oraz powstawanie uszkodzeń i kanałów w płaszczu cementacyjnym. Może to prowadzić zarówno do skrócenia czasu eksploatacji rur okładzinowych jak również katastrof ekologicznych. Zatem przeciwdziałanie takim procesom jest niezwykle istotne. Wiąże się z tym rozwiązanie problemów technologicznych, z uwzględnieniem szeregu czynników obejmujących zarówno fazę projektowania jak i wykonania zabiegu cementowania,

Autor w pracy doktorskiej przeprowadził analizę efektu wpływu zmiany geometrii przestrzeni pierścieniowej pomiędzy rurami okładzinowymi a ścianą otworu wiertniczego na jakość zacementowania rur okładzinowych w oparciu o uzyskane wyniki doświadczalne. Badał zjawisko wypierania się cieczy wiertniczych przepływowych dla sześciu modelowych konfiguracji przepływowych na stanowisku do testów cementacyjnych. Odzwierciedlały one sześć typowych geometrii przeszkód imitujących spęczniały materiał ilowy w przestrzeni pierścieniowej obszaru przepływowego. Badano efekt zmiany geometrii w obszarze przepływowym na jakość zacementowania. Rezultaty uzyskane dla poszczególnych geometrii przedstawiono w postaci histogramów oraz zobrazowano na skanach uzyskanych z mikrotomografii komputerowej okładzin cementowych. Uzyskane wyniki wykorzystano następnie do wyznaczenia całkowitej liczby defektów oraz ich charakteryzacji, jak również identyfikacji ich wpływu na jakość płaszcza cementowego. Stwierdzono istotny efekt wpływu obecności przeszkód modelujących spęczniały il w obszarze przepływowym na jakość zacementowania rur okładzinowych.

Następnie wykonano badania eksperymentalne celem oceny użyteczności prototypu narzędzia o nazwie Protektor na stanowisku do testów narzędzi wiertniczych typu *reamer shoe*. Potwierdziły one skuteczność jego stosowania, ponieważ ścina on skutecznie spęczniałe minerały ilaste. Dodatkowo, powoduje efektywne wynoszenie zwiercin w obiegu płuczki wiertniczej na powierzchnię. Pracę zakończono dyskusją podsumowującą uzyskane wyniki. Uważam, że tematyka podjęta w recenzowanej pracy doktorskiej ma duże znaczenie teoretyczne i praktyczne oraz zawiera się w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Cel i zakres pracy zostały określone prawidłowo.

3. Merytoryczny opis i ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Bartłomieja Karpińskiego składa się z 14 rozdziałów powiązanych ze sobą merytorycznie, tworzących spójną całość. Osiem pierwszych rozdzia-

łów (80 stron) ma charakter wprowadzający w problematykę, w pozostałych rozdziałach (56 stron) zawarto badania własne, wnioski oraz podsumowanie osiągniętych rezultatów.

Pracę przygotowano dość starannie pod względem edytorskim, zarówno tekst jak i rysunki nie zawierają istotnych błędów. Napisana jest zwięźle i przejrzysto, zilustrowana licznymi wykresami i rysunkami. Praca dotyczy ważnego zagadnienia z zakresu mechaniki oraz eksploatacji górotworu.

W części wprowadzającej omówiono grupy minerałów ilastych oraz poruszono tematy związane z problematyką cementacyjną w otworach wiertniczych. W szczególności omówiono wykrywanie iłłów w otworach wiertniczych oraz proces przygotowania studni cementacyjnych. Omówiono też szeroko metodologię wykrywania iłłów, oraz zagadnienia związane bezpośrednio z cementowaniem rur okładzinowych oraz poruszono kwestie powstawania i metody przeciwdziałania wadom. W części wprowadzającej, w rozdziale 9. został sformułowany cel, zakres oraz tezy pracy.

Wiele zagadnień przedstawionych w tej części pracy (np. rys. 33 – klasyfikacje minerałów ilastych, czy też rys. 34 – zjawisko wymiany jonowej) jest zbyt szczegółowo omówione. Nie dotyczą one bezpośrednio problemu rozwiązywanego w pracy i z powodzeniem można było je jedynie zasygnalizować podając literaturę, skąd je zaczerpnięto. Zwłaszcza, że Autor Natomiast brakuje istotnej informacji w którym określony by został stan badań z zakresu pracy doktorskiej w zakresie przepływowym tj badania przepływów pierścieniowych z modelowymi przeszkodami dla różnych rodzajów - pod względem reologicznym - płynów na podstawie literatury.

W kolejnych czterech rozdziałach, począwszy od 10. zawiera się opis badań własnych Autora. Przedstawione zostały szczegółowo opisy dwóch stanowisk badawczych: : I – do testów cementacyjnych, II – do testów narzędzi otworowych, (rozd.10), etapy badań oraz procedur badawczych (rozd.11), uzyskane rezultaty oraz analiza i dyskusja uzyskanych wyników (rozdz.12) Podsumowania rezultatów oraz wnioski z nich płynące zaprezentowano w rozdziale 13. Doktorant swoje prace koncentruje najpierw na doświadczalnym określeniu wpływu zmiany geometrii otworu wydobywczego przestrzeni pierścieniowej otworu wydobywczego na jakość zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym. Zmiana geometrii otworu spowodowana jest pęcznieniem obecnego tam materiału ilastego. Następnie bada skuteczność narzędzia wiertniczego, którego celem jest pośrednie przeciwdziałanie zawężaniu średnicy otworu poprzez ścinanie spęczniałego materiału ilastego przed cementowaniem.

Ocena przyjętej przez doktoranta strategii i metodologii badawczej jest pozytywna. Wysoko należy ocenić koncepcję obu stanowisk badawczych wybudowanych na Politechnice Gdańskiej, umożliwiających realizację prac.

Badania cementacyjne przeprowadzono z użyciem płuczki wiertniczej oraz zaczynu cementowego dla 6 przypadków geometrii przeszkód. Trzy z nich cechowały się innym stopniem przesłonięcia każda, a trzy pozostałe różniły się stopniem przewężenia obszaru przepływowego przestrzeni pierścieniowej. W celu przeprowadzenia analizy pod kątem detekcji oraz charakterystyki wad w płaszczu cementacyjnym, wykonano skany płaszcza po upływie 28 mikrotomografem Phoenix. Analizowano histogramy wyników uzyskanych ze skanów dla obszarów z dwóch sekcji pomiarowych: 100 mm przed zacementowaną przeszkodą oraz 100 mm za przeszkodą. Obszar obejmujący zacementowaną przeszkodę również miał wysokość 100 mm.

Stwierdzono, że we wszystkich sytuacjach z przeszkodami w jego obszarze przepływowym, sumaryczna ilość defektów i wad zacementowania była większa w porównaniu z próbką referencyjną bez przeszkody. Wykazano też, że każdy badany rodzaj przeszkody w przestrzeni pierścieniowej powoduje w obu strefach zacementowania: przed i za przeszkodą różny udział procentowy dużych i małych defektów zacementowania. Dokonano oceny ilościowej i jakościowej uzyskanych wyników. Zrealizowany zakres badań pozwolił na powiązanie uzyskanych wyników i obserwacjami (np. powstawanie tzw. *mud cake* 'ów)

W dalszej części pracy, podrozdział 11.2, przedstawiono analizę wyników badań eksperymentalnych prototypu narzędzia otworowego „Protektor”, odcinającego spęcznie materiały ilaste, która wykazała skuteczność jego działania i potrzebę stosowania. Ścięcie materiału jest możliwe przez wprowadzenie narzędzia umieszczonego na końcu przewodu rur okładzinowych bezpośrednio przez procesem cementowania odwiertu. Stwierdzono, że stosowanie narzędzia Protektor umożliwia również efektywne wynoszenie zwiercin w obiegu płuczki wiertniczej na powierzchnię.

Główne osiągnięcia pracy to:

- określenie efektu wpływu obecności spęczniałych materiałów ilastych w obszarze przepływowym na jakość płaszcza cementowego,
- jakościowa i ilościowa analiza stopnia zacementowania modelowych odcinków orurowania
- wyjaśnienie, że w dwóch obszarach – przed i pod przeszkodą – efekt wpływu przeszkód na płaszcz cementowy ma różny charakter,

- zdefiniowanie dwóch najpoważniejszych wad w płaszczu cementowym oraz ich powiązanie przyczynowo skutkowe,
- zaprojektowanie i budowa stanowiska badawczego do wykonania badań eksperymentalnych przedmiotowego zjawiska,
- opracowanie i budowa stanowiska badawczego do badania narzędzi wiertniczych typu *reamer shoe*,
- ocena efektywności pracy prototypu narzędzia otworowego typu *reamer shoe* o nazwie PROTEKTOR,
- wskazanie, że jego stosowanie poprawia efektywne wynoszenie zwiercin w obiegu płuczki wiertniczej przyczynia się do usuwania ilów, więc pośrednio do tworzenia się przeszkód.

Doktorant podjął się trudnego i pracochłonnego zadania zamodelowania fizycznych zjawisk odpowiedzialnych za jakość zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym. Zaproponował eksperymentalne badania, wykonał stanowiska badawcze oraz serię pomiarów współczesnymi narzędziami pomiarowymi. Na gruncie otrzymanych serii pomiarowych defektów w płaszczu cementowym Autor dokonał ich jakościowej i ilościowej analizy w oparciu o statystykę, aby określić efekt procesu zmniejszenia pola przepływu przez przeszkodę na jakość zacementowania. Oceniał również wpływ przydatności nowego narzędzia Protektor, które przez ścinanie spęczniałych ilów przed procesem cementowania pośrednio może zapobiegać powstawaniu przeszkód w pierścieni pierścieniowej ponieważ umożliwia sprawne wynoszenie zwiercin przez płuczkę na powierzchnie.

Można stwierdzić że Doktorant wykazał się właściwymi dla realizacji pracy kompetencjami w zakresie planowania i prowadzenia prac eksperymentalnych oraz analizy otrzymywanych wyników badań. Metody i narzędzia badawcze użyte przez Autora są odpowiednie dla przyjętego zakresu i celów pracy, a sposoby przedstawienia wyników badań oraz ich analizy są zgodne z przyjętymi standardami w tym zakresie. Nowa wiedza będąca efektem przeprowadzonych prac może znaleźć zastosowania w przemyśle wydobywczym przy opracowaniu nowych technologii oraz maszyn wydobywczych

4. Uwagi polemiczne i redakcyjne

Analiza treści rozprawy skłania do stwierdzenia, że pewne poruszane w niej kwestie powinny zostać wyjaśnione i sprecyzowane w trakcie publicznej obrony. W szczególności dotyczy to następujących kwestii o charakterze merytorycznym:.

1. Proszę o doprecyzowanie dwóch zdań, których treść w obecnej formie budzi zastrzeżenia.
(str. 15) „*Porowatość i rozkład wielkości porów wpływają na zachowanie stałych materiałów porowatych. W tym na zachodzące w nich przepływy płynów i gazów.*”
2. Na stronie 93 pojawia się nieznane w mechanice płynów określenie „współczynnik lepkości plastycznej płuczki”. Proszę o wyjaśnienie.
3. Na własności reologiczne płynu zawieszin wpływa nie tylko ich skład ale też wielkość ziaren poszczególnych składników. Czy badano właściwości reologiczne użytej płuczki do badań o składzie podanym w tabeli 15, o której Doktorant pisze, że jest tiksotropowa? (str. 93). Na jakiej podstawie zostało oparte to stwierdzenie?
4. Na stronie 105 podano błędny wzór na określenie liczby Reynoldsa (wzór 15), która określa stosunek sił bezwładności do lepkości. Następnie w oparciu o ten błędny wzór przeprowadzono obliczenia jej wartości (wzór 16) i klasyfikację przepływu. Proszę podać właściwy wzór oraz prawidłowe wyliczenie wartości liczby Reynoldsa.
Również proszę się odnieść w tym kontekście do ostatniego zdania na str. 105
5. Odniesienia w tekście kończą na na 93 pozycji literaturowej dołączonego spisu literatury zawierającej 130 pozycji. Proszę o wyjaśnienie przyczyn rozbieżności między literaturą cytowaną w tekście a dołączoną.

Analiza pracy wskazuje, że Doktorant dołożył starań, aby jej strona redakcyjna nie budziła zastrzeżeń. Nie ustrzegł się jednak od usterek językowych, których dwie dla przykładu podaję, a które w raporcie naukowym nie powinny się znaleźć:

Przełom stron 11 i 12: *Wyniki zostały.. obrobione..*

Strona 92: *krzywe przepływu delikatnie się różniły, jednak zawsze wyglądały podobnie*

Kolejna uwaga dotyczy jednostek używanych w pracy. W Polsce obowiązuje układ SI i w tych jednostkach powinny być podawane wszystkie wielkości fizyczne w rozprawie doktorskiej.

Na rysunkach ukazujących wady płaszcza cementacyjnego - Rys 50, 51 i kolejne - legendy objaśniające zastosowaną skalę kolorów są mało czytelne.

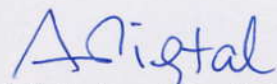
5. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Ocena pracy jest pozytywna. Rozprawa doktorska mgr. inż. Bartłomieja Karpińskiego prezentuje rozwiązanie złożonego problemu i przedstawia oryginalne i wartościowe rezultaty. W wyniku badań i analiz modelowanego zjawiska zidentyfikował przyczyny nieefektywnego

zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym oraz przeprowadził ich szeroka dyskusję zarówno w aspekcie naukowym jak i eksploatacyjnym otworu wydobywczego. Ponadto ocenił w wyniku badań skuteczność prototypowego urządzenia „Protektor”, umożliwiającego ścinanie spęczniałych minerałów ilastych. Przez to osiągnął zamierzony cel i wykazał dojrzałość badawczą przy jego realizacji.

6. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z przedstawioną rozprawą mgr. inż. Bartłomieja Karpińskiego zatytułowaną „*Badania modelowe wpływu zmiany geometrii przestrzeni pierścieniowej na jakość zacementowania rur okładzinowych w otworze wiertniczym*” **stwierdzam, że rozprawa ta stanowi oryginalne rozwiązanie 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 zdolnością do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wnoszę zatem o przyjęcie przez Radę Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr. inż. B. Karpińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



dr hab. Anna Kucaba-Pietal, Prof. PRz