

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Szada-Borzyszkowskiej
pt.: "Wpływ warunków hydraulicznych i geometrii samowzbudnej głowicy pulsacyjnej
na charakterystykę wytwarzanej strugi wodnej"

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (L.dz. PK/WM/Dz/7/347/2019), do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Tekst recenzowanej rozprawy zawiera się na 233 stronach i podzielony jest na dziewięć rozdziałów, plus wykaz ważniejszych (wybranych) oznaczeń. Tytuł rozprawy właściwie odzwierciedla jej treści, zaś podjęta tematyka jest aktualna i istotna, zarówno w aspekcie naukowym, jak i praktycznym, co słusznie podkreśla Autorka. Praca została wykonana w, kierowanym przez profesora Józefa Borkowskiego - promotora rozprawy, Centrum Niekonwencjonalnych Technologii Hydrostrumieniowych Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, którego dorobek twórczy i wyposażenie badawcze umożliwia realizację prac poznawczych i wdrożeniowych na bardzo wysokim, rozpoznawalnym nie tylko w kraju, ale i w skali międzynarodowej, poziomie.

We wstępie (s. 8-10) omówiono, pokrótce, celowość podjęcia tematyki, na tle prac zespołów badawczych w świecie, umiejscawiając badania własne dotyczące wpływu warunków hydraulicznych i geometrii samowzbudnej głowicy pulsacyjnej na charakterystykę wytwarzanej strugi wodnej, wzorując się między innymi na opublikowanych rozwiązaniach, które powstały w chińskim Instytucie Ropy Naftowej. We wstępie bardzo ogólnie podano też zakres rozprawy.

Rozdział 2 (s. 11-38) to analiza stanu zagadnienia w literaturze. Dotyczy to, z konieczności skrótowego, opisu realizowanych badań pulsującej strugi i teoretycznego opisu przepływu turbulentnego cieczy, struktury i właściwości wysokociśnieniowego strumienia wodnego oraz charakterystyki strugi wodnej. Opisano metody generowania impulsów w strudze, z uwzględnieniem zagadnień dotyczących ściśliwości wody, ciągłości przepływu i zachowania masy w cyklu pracy urządzenia generującego impulsy hydrauliczne, zachowania energii mechanicznej oraz dotyczące równania Bernoulliego, umożliwiającego wyznaczenie

prędkości wypływu pulsującej strugi wodnej, a także problematykę dynamiki elementów roboczych urządzenia generującego impulsy hydrodynamiczne i zależności opisujące prędkość i ciśnienie strugi wodnej na wypływie. Informacje te potwierdzają wiedzę Doktorantki z zakresu mechaniki płynów, zaś niektóre z przytoczonych równań ogólnych, zdaniem recenzenta, można było pominąć, mając na uwadze objętość rozprawy. W dalszej części przedstawiono charakterystykę, zasygnalizowanej wcześniej, głowicy pulsacyjnej oraz wybrane wyniki opublikowanych badań. Przegląd literatury zakończony jest wnioskami, uzasadniającymi własne badania, dla poznania warunków i właściwości wytwarzanej strugi przez samowzbudną wodną głowicę pulsacyjną. Zamieszczony w rozprawie przegląd prac świadczy o wszechstronnej wiedzy Autorki z obszaru realizowanego doktoratu.

W rozdziale 3 (s. 39-41) podano cel główny i cele szczegółowe rozprawy oraz dwie hipotezy badawcze, które sumarycznie precyzują podjęte zadania naukowe. W sposób opisowy podano również zakres pracy. Szkoda, że nie zamieszczono ogólnego schematu realizacji rozprawy, która zawiera kilka istotnych i wyodrębnionych etapów, a więc analizę teoretyczną przepływów turbulentnych, symulacje numeryczne dla modelu głowicy przeznaczonej do drążenia otworów i, oddzielnie, obróbki innych powierzchni, a także wielowątkowe badania eksperymentalne.

Rozdział 4 (s. 42-58), zatytułowany "Teoretyczna analiza przepływów turbulentnych i pulsacyjnych", zawiera bardzo ogólny opis przepływów i metod ich symulacji, a także opis metodyki badań numerycznych realizowanych w dalszej części pracy. Podano też założenia dla badań symulacyjnych, które wykonywano z wykorzystaniem programu SolidWorks Flow Simulation oraz zakres wartości czynników wejściowych i badanych (wyjściowych), dla dwóch analizowanych typów głowic. Podano również przyjęty plan eksperymentów numerycznych i postać zapisu wyników symulacji oraz sposób weryfikacji statystycznej. Rozdział ten kończą bardzo ogólne wnioski.

Rozdział 5 (s. 59-155), to obszerna i ważna część pracy, przedstawiająca wyniki i analizę przeprowadzonych badań numerycznych modeli głowic pulsacyjnych. Są to badania weryfikacyjne, obejmujące rozkłady prędkości strugi wodnej na wylocie z głowicy, która została opracowana i przebadana w Chinach. Informacje te znajdują się w cytowanej literaturze, pozycja [85]. Na rys. 5.2 i 5.3 zamieszczono porównanie wyników numerycznych badań własnych z danymi literaturowymi. Mam pytanie, co zdaniem Doktorantki wpłynęło na stwierdzone w porównaniach różnice w rozkładach prędkości strugi, ciągłej i pulsacyjnej? Szczególnie interesujące są tu badania wpływu usytuowania otworów bocznych w głowicy na rozkład prędkości i ciśnienia w jej wnętrzu. Analizowano otwory nachylone pod kątem 120°

oraz położone stycznie i prostopadle względem osi głowicy, przy nominalnym ciśnieniu wody 150 MPa. Założono średnicę dyszy wlotowej 2,5 mm i jej wysokość 6, 8, 10 i 12 mm, kąt natarcia komory wirowej 100, 110 i 120° oraz skokowy zakres jej średnicy i wysokości w zakresie 20-50 mm, średnice otworów bocznych 2, 3, 4, 5, 6, 7 i 8 mm, a także średnicę dyszy wylotowej 4, 5, 6, 7, 8 i 9 mm. Stwierdzono, iż najkorzystniejszym rozwiązaniem jest prostopadłe położenie otworów bocznych, w stosunku do komory wirowej. W dalszej części badań symulacyjnych, jako zmienne przyjęto średnicę, wysokość i kąt natarcia komory wirowej, wysokość dyszy wlotowej, średnicę otworów bocznych i dyszy wylotowej. Wyznaczono wielomian pierwszego stopnia, opisujący wpływ analizowanych parametrów konstrukcyjnych głowicy na średnią prędkość strugi na wylocie z dyszy oraz przeprowadzono poprawną weryfikację statystyczną. Również ten etap badań komputerowych kończą wnioski o charakterze ogólnym i szczegółowym. W rozdziale tym zamieszczono także wyniki badań numerycznych modelu głowicy pulsacyjnej do drażnienia otworów (podrozdz. 5.2) i oddzielnie, do hydrostrumieniowej obróbki i czyszczenia powierzchni technicznych (podrozdz. 5.3). Analizowano wpływ szerokości powierzchni pierścieniowych komory wirowej, wymiarów dyszy wylotowej, wymiarów komory wirowej, średnicy otworów bocznych i wymiarów dyszy wlotowej (tab. 5.11 i 5.22). Na rys. 5.25 i dalszych oraz w tab. 5.14 i następnych, podano między innymi wartość średnią prędkości strugi. Mam pytanie, skąd wynika takie określenie? W podrozdz. 5.2.10 podano wynikowe wymiary geometryczne głowicy do drażnienia otworów, które wyznaczono na podstawie komputerowych badań własnych. Stwierdzono, iż obowiązują one dla zakresu ciśnienia 15-150 MPa. Mam pytanie, na jakiej podstawie można było przyjąć takie założenie, gdyż eksperymenty numeryczne prowadzono przy ciśnieniu 150 MPa, i na ile parametry te (zmienne) różniły się od danych literaturowych. Podrozdz. 5.2 kończą liczne wnioski szczegółowe. W przypadku badań modelowych głowicy pulsacyjnej do obróbki i czyszczenia powierzchni przeprowadzono między innymi analizę oddziaływania liczby otworów bocznych (2, 3 i 4) i ich rozmieszczenia, względem komory wirowej, na generowanie pulsacji wysokociśnieniowej strugi wodnej. Badano wpływ geometrii głowicy na prędkość wypływu strugi wodnej i charakterystykę przepływu zastosowanego czynnika przez otwory boczne. Na uwagę zasługują szczególnie badania symulacyjne wpływu smukłości dyszy wlotowej na wartość prędkości strugi wodnej, wpływ średnicy otworów bocznych oraz kształtowanie się prędkości strugi w wyodrębnionych przekrojach głowicy, co zbiorczo ilustruje rys. 5.64. Rozdział, dotyczący badań numerycznych, kończy dwadzieścia sześć wniosków szczegółowych.

W rozdziale 6 (s. 156-181) przedstawiono metodykę badań laboratoryjnych, w tym użyte stanowiska badawcze, metody pomiarowe, zastosowane samowzbudne głowice pulsacyjne i obrabiane materiały oraz metodykę dotyczącą planowania eksperymentów własnych. Wyposażenie laboratorium w nowoczesną aparaturę umożliwiło wykonanie wiarygodnych i inspirujących badań doświadczalnych. Mam pytanie, czym kierowano się przy wyborze głowic użytych w eksperymentach? Na jakiej podstawie przyjęto warunki stałe i zmienne badań?

Rozdział 7 (s. 182-225) zawiera wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych. Analizowano między innymi pulsacje wytworzonej strugi wodnej, czyli zmienność ciśnienia w czasie (także siły impulsu), oraz obrazy zmian hydrodynamicznych w strudze. W przypadku drążenia otworów zmieniano ciśnienie nominalne w zakresie 10-25 MPa. Wyznaczono też zależność wpływu ciśnienia wody na charakterystykę wytworzonych impulsów wodnych. Mam pytanie, co oznacza ciśnienie p w tab. 7.1 i na rys. 7.5? Analizowano kształtowanie się impulsów w strudze wodnej działającej w środowisku powietrznym i środowisku wodnym. Porównano również częstotliwość występowania takich impulsów i ich zmienność w funkcji ciśnienia wody. Przeanalizowano wpływ pulsacji strugi wodnej na głębokość erodowania betonu komórkowego. Podobne badania, charakterystyki strugi, wykonano w przypadku zastosowania odpowiedniej głowicy do obróbki powierzchni płaskich. Wyniki badań eksperymentalnych podsumowano wnioskami, nie wyodrębniając przy tym wniosków o charakterze poznawczym i utylitarnym.

Rozdział 8 (s. 226-227) to ogólne podsumowanie rozprawy oraz informacje o wyznaczonych optymalnych parametrach głowic. Brak jest podania kryteriów, na jakiej podstawie podjęto takie decyzje? Podano również skrótowo kierunki dalszych badań, które wynikają z realizacji pracy.

Rozdział 9 (s. 228-233) zawiera wykaz cytowanej literatury, w tym cztery pozycje współautorskie Doktorantki. Dobór piśmiennictwa uważam za trafny i aktualny, jedynie nie zawsze zachowano jednolitość zapisu poszczególnych pozycji.

W tekście rozprawy zauważyłem też usterki, głównie redakcyjne i interpunkcyjne. Zaznaczyłem je bezpośrednio na otrzymanym wydruku pracy. Wymieniam poniżej niektóre z nich:

s. 9 i dalsze, zbyt często używane są określenia: ... takiej strugi ..., takiej obróbki ..., ... takiej głowicy ..., itp

s. 9, w. 13d, powinno być: rolę

- s. 10, w. 4g i w całej pracy, wyodrębniono głowicę do obróbki powierzchni, a czy przy wykonywaniu otworu również nie jest kształtowana powierzchnia?
- s. 11, w. 2g, powinno być: uwzględnia
- s. 11, w. 13d, lepiej: grupy materiałów
- s. 11, w. 6g, zbędne: a także
- s. 14, podpis rys. 2.1, zbędny wyraz: oraz
- s. 18, w. 9d, powinno być: ... faz, a ...
- s. 19, w. 3d, powinno być: ... skalnych, które ...
- s. 23, w. 8d, powinno być: ... mechanizm ...
- s. 32, w. 6d, powinno być: ... w głowicy ...
- s. 36, w. 7g, lepiej: ... na świecie ...
- s. 37, w. 1-4g, styl zdania?
- s. 42, w. 9g, powinno być: badań...
- s. 52, w. 12-15d, informacje te powtórzono w dalszej części, zaś pominięto ... p ... (ciśnienie)
- s. 57, w. 6-7g, styl zdania!
- s. 58, w. 4g, określenie: proces interesujący!
- s. 59, w. 7-9g i 7-9d, powtórzenie informacji
- s. 63, w. 1-2g, powtórzenie informacji ze s. 62 - w. 5d
- s. 78, tab. 5.10 i inne, zapis nie tylko w języku polskim
- s. 90, w. 1d, powinno być: MPa
- s. 111, tab. 5.23 i dalsze, prędkość na otworach bocznych – styl!
- s. 121, tytuł tab. 5.27, powinno być: badań
- s. 124, tab. 5.28, lepiej: średnia prędkość strugi na wypływie z dyszy
- s. 127, tab. 5.29, jakich pomiarów to dotyczy?
- s. 128, wzór (5.3) i dalej: w języku polskim, w zapisie liczb, część całkowitą oddziela przecinek
- s. 134, w. 4g, powinno być: ...wartość prędkości ...
- s. 137, tab. 5.33, jakich pomiarów to dotyczy?
- s. 182, w. 12d, co oznacza określenie: ... podjęto się powtórzenia wyników ich badań ...?
- s. 195, w. 4d, cały wiersz – zapisany bez spacji
- s. 201, w. 5d, powinno być: ... badań ...
- s. 212, w. 3d: brak spacji
- s. 227, w. 2d: ... drogą wprowadzenia przez otwory boczne ... - styl!
- s. 228, w. 4d, brak numerów stron.

Reasumując stwierdzam, że pewne nieścisłości oraz uwagi redakcyjne jakie nasunęły mi się podczas czytania pracy nie umniejszają jej znaczącej wartości merytorycznej, a postawione w recenzji pytania mają cel dyskusyjny. Autorka rozwiązała zadanie naukowe i wykazała się ogólną wiedzą z zakresu analizowanej tematyki. Udowodnione zostały postawione hipotezy badawcze i osiągnięty został zamierzony cel. W rozprawie udowodniona zostało założenie, że: "Parametry geometryczne samowzbudnej głowicy pulsacyjnej, jak również hydrauliczne warunki pracy, decydują o jej funkcjonowaniu i przesądzają o właściwościach wytwarzanej strugi wodnej oraz o jej zachowaniach. Struga wodna wytwarzana w korzystnych warunkach funkcjonowania samowzbudnej głowicy pulsacyjnej w istotnym stopniu oddziałuje na zmienność jej struktury wewnętrznej oraz na jej właściwości dynamiczne, a także wpływa na zwiększenie technologicznej efektywności erodowania materiałów technicznych". Na uwagę zasługuje też aplikacyjny charakter pracy.

W moim przekonaniu, rozprawa doktorska pt.: "Wpływ warunków hydraulicznych i geometrii samowzbudnej głowicy pulsacyjnej na charakterystykę wytwarzanej strugi wodnej" autorstwa mgr inż. Moniki Szada-Borzyszkowskiej odpowiada obowiązującym warunkom ustawowym i zwyczajowym, mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna (wcześniej - budowa i eksploatacja maszyn), a zatem wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

