



Prof. dr hab. inż. Waldemar Kuczyński  
Politechnika Koszalińska  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Energetyki  
Katedra Energetyki  
75 – 620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17  
Tel. 94 3478-420, 437  
email: waldemar.kuczynski@tu.koszalin.pl



Koszalin 10.02.2025

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Nowakowskiej pt.:  
„Modelowanie przepływu płynów nienewtonowskich w zakresie minimalizacji strat energii”

Recenzję wykonano na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 19.11.2024 r., zleconej przez Przewodniczącego Rady prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego pismem o sygnaturze WISiE.63.73.2024 z dnia 19.12.2024 r

Rozprawa doktorska powstała i została zredagowana pod kierunkiem  
**prof. dr hab. inż. Andrzeja Frąckowiaka**

Funkcje promotora pomocniczego pełnił **dr inż. Bartosz Ziegler**

Recenzję wykonano zgodnie z ogólnymi wytycznymi przyjętymi dla tego rodzaju oceny.

### 1. Tytuł i przedmiot rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy doktorskiej brzmi: *Modelowanie przepływu płynów nienewtonowskich w zakresie minimalizacji strat energii*, a jej przedmiotem jest propozycja rozwiązania problemów związanych z koniecznością obniżenia energochłonności procesów przepływu płynów nienewtonowskich. W pracy przedstawiono weryfikację przeprowadzoną na drodze porównania wyników modelowania numerycznego, badań wykonanych reometrem kapilarnym z autorskimi dyszami oraz wizualizacji przepływów rozpatrywanych materiałów. W wyniku uzyskanych zestawień, za materiał bazowy do rozważań w zakresie tematu rozprawy doktorskiej przyjęto polipropylen. Eksperymenty prowadzono wykorzystując w reometrze kapilarnym, zmodyfikowane pod względem kształtu dysze o własnej konstrukcji. Stwierdzono, że odpowiednie ukształtowanie dysz może spowodować zmniejszenie strat ciśnienia podczas przepływu przez nie polipropylenu, co w konsekwencji może prowadzić do obniżenia energochłonności tego procesu. Modyfikacja dysz objęła swoim zakresem wydłużenie sekcji zmiany przekroju oraz ich kształtu. W sensie matematycznym, opis tego przekroju jest możliwy za pomocą wielomianu trzeciego stopnia. W ramach pracy doktorskiej, przebadano kilka dysz o różnej długości sekcji uzyskując informację o optymalnym jej kształcie. Pozwala to na identyfikację takiej dyszy, która spowoduje konkretne zmniejszenie



energochłonności, przez co jej konstrukcja może być zaproponowana do wykorzystania w urządzeniach, w których realizowane są przepływy płynów nienewtonowskich. Wniosek taki postawiono po wykonaniu badań eksperymentalnych z zastosowaniem wyżej wymienionych dysz. Obejmowały one również wykonanie wizualizacji procesu przepływu polipropylenu w tych konstrukcjach. Następnie przeprowadzono modelowanie numeryczne, wykorzystując pakiet obliczeniowy z zakresu CFD. Działania te zrealizowano dla sześciu geometrii – trzy dysze zbieżne oraz trzy dysze opisane równaniem wielomianowym. Porównanie uzyskanych wyników pozwoliło na poruszenie kwestii związanej z analizą wpływu kształtu nowo opracowanych dysz oraz dynamiki procesu wytłaczania na degradację wykorzystywanego nienewtonowskiego materiału. W ujęciu tym, również zaznaczono efekt zmiany energochłonności przebiegu tego typu wytwarzania elementów konstrukcyjnych maszyn i urządzeń.

**Podany tytuł rozprawy doktorskiej, tematycznie i merytorycznie odpowiada przyjętym założeniom przedstawionym w jej skróconym powyżej opisie.**

## **2. Struktura redakcyjna (układu) pracy**

Rozprawa doktorska zredagowana została na 109 stronach w 8 rozdziałach z **Omówieniem wyników i wnioskami końcowymi**. Na końcu znajduje się nieoznaczony rozdział o nazwie **Zakończenie**, a następnie wykaz literatury w części o tytule **Bibliografia**. **Opracowanie** kończy się **Wykazem rysunków i Tabel**. Rozprawa doktorska rozpoczyna się od **Podziękowań**, następnie umieszczono krótkie **Streszczenie** w języku polskim i angielskim **Spisu treści**, **Wykaz oznaczeń** i **Wstęp** są początkiem części merytorycznej tej rozprawy doktorskiej.

We **Wstępie**, syntetycznie opisano przedmiot przeprowadzonych badań, wskazując na jeden z nienewtonowskich płynów. Jednocześnie umieszczono tutaj skrótowo informację dotyczącą rozróżnienia tego typu ośrodków oraz podstawowych zagadnień z obszaru mechaniki płynów. Wskazano, że przedmiotem badań są parametry związane z przepływem cieczy nienewtonowskich dla zadanej geometrii dyszy oraz ciśnienia, lepkości i temperatury płynu. Rozważano przyjęcie do badań różnego rodzaju ośrodki reprezentujące płyny nienewtonowskie, takie jak: krew, woda morska o dużym zasoleniu oraz polimer z grupy poliolefin, czyli polipropylen. Ze względu na odpowiednie parametry do badań przyjęto ten ostatni.

W tej części opracowania, przedstawiono również jego strukturę wraz z informacją, co znajdują się w poszczególnych rozdziałach.

W **Rozdziale 1. Terminologia zagadnień opisujących ruch płynów**, w dwóch podrozdziałach: **1.1. Podstawowe pojęcia dotyczące płynów nienewtonowskich** i **1.2. Wybrane metody badania płynów**, przeprowadzono krótką analizę literatury z rozpatrywanego zakresu. W pierwszym podrozdziale przypomniano, czym są płyny newtonowskie i nienewtonowskie. Podano klasyfikacje płynów newtonowskich oraz ich charakterystyczne cechy. Przypomniano najczęściej stosowane metody Newtona, Binghama, Carreau, Herschela-Bulkleya i Ostwalda-de Waele'a wykorzystywane do identyfikacji parametrów i przepływu tych płynów.

W drugim podrozdziale przypomniano metody badania cieczy nienewtonowskich skupiając się na teoretycznych i eksperymentalne. Opisano syntetycznie propozycję badań wizualizacyjnych lub symulacyjnych przy wykorzystaniu oprogramowania typu CFD.

**Rozdział 2. Analiza dotychczasowych postępów w dziedzinie omawianego zagadnienia**, to opis poszczególnych właściwości i metod ich badania w obecnym zakresie wiedzy literaturowej. W **podrozdziale 2.1. Reologia**, przytoczono w krótkim opisie właściwości płynów klasyfikujących je w zakresie ośrodków newtonowskich lub im przeciwnym. **Podrozdział 2.2. Mate-**

**riały biologiczne, jako przedmiot badań reologicznych**, opisuje właściwości krwi, jako płynu nienewtonowskiego oraz chorób, jakie mogą wystąpić w układzie krwionośnym. W tym ujęciu rozważano metody badań inżynierskich w zakresie jej przepływu w układzie krwionośnym z wykorzystaniem metod statystycznych oraz modeli numerycznych z zastosowaniem pakietów CFD. Zakres takich badań obejmuje takie choroby jak: miażdżyca, zaburzony przepływ krwi na śródbłonek, niedokrwienie naczyń krwionośnych, nadciśnienie, krzywizny wewnętrzne tętnic oraz węzły naczyniowe, zmieniająca się cyklicznie geometria naczyń spowodowana ruchem serca, wrażliwość ściany naczyń na uszkodzenie itp. Wszystkie związane są z zaburzeniami przepływu a ich identyfikacja ma charakter profilaktyczny, pozwalający wprowadzić odpowiednie leczenie potencjalnego pacjenta. Należy to jednak bardzo wiele problemów natury technicznej wynikających chociażby z oddziaływań termicznych. Badanie przepływów krwi w warunkach eksperymentalnych można wykonać tylko w bardzo niskich temperaturach, ponieważ ulega ona degradacji w parametrach otoczenia.

Kolejnym płynem nienewtonowskim na temat, którego prowadzono rozważania w tej części rozprawy doktorskiej, to woda morska. Wynika to z jej znacznego zmineralizowania oraz występowanie różnych form życia biologicznego. Umieszczono tutaj opis właściwości oraz sposób identyfikacji parametrów reologicznych wody morskiej.

Następny **podrozdział 2.3. Polimery, jako przedmiot badań reologicznych**, traktuje o tego typu substancjach, jako płynach nienewtonowskich. Podano tutaj definicję polimerów, jako „zbudowanych z wielu części” substancji chemicznych charakteryzujących się dużą masą cząsteczkową. Składają się one z wielokrotnie powtórzonych struktur zwanych merami. Przedstawiono klasyfikację najpopularniejszych tego typu związków oraz zakres ich wykorzystanie w przemyśle i różnych dziedzinach życia. Dostępność i właściwości fizyczne polimerów, dają możliwość wykorzystania ich w badaniach reologicznych i mechanicznych na drodze eksperymentalnej oraz symulacji numerycznych. Konkretnie parametry mające wpływ na właściwości polimerów umieszczono **podrozdz. 2.3.1. Degradacja i relaksacja polimerów**, gdzie wyspecyfikowano czynniki fizyczne i chemiczne powodujące te zjawiska. **Podrozdz. 2.3.2. Przetwórstwo tworzyw polimerowych**, to informacje o metodach i urządzeniach stosowanych do wytwarzania różnych elementów z polimerów. Zalicza się do nich m.in.: wytłaczanie, wtryskiwanie, prasowanie a tutaj: tłoczenie, przetłaczanie, formowanie płyt, walcowanie i kalandrowanie oraz odlewanie. Narzędzia, jakie się stosuje w tych procesach, to: wtryskarka, wytłaczarka lub forma odlewnicza. W podrozdziale tym umieszczono skrócony opis budowy poszczególnych urządzeń wraz z rysunkami schematów ich budowy. Zamieszczono również informacje o procesach realizowanych na tych urządzeniach.

**Podrozdz. 2.3.3. Energetyczne aspekty przetwórstwa tworzyw sztucznych**, odnosi się do aspektów energochłonności procesów przetwarzania polimerów w gotowe produkty lub części konstrukcyjne maszyn i urządzeń. Skupiono się tutaj na zużyciu energii potrzebnej do przeprowadzenia procesów przemysłowych za pomocą urządzeń wskazanych w poprzednim podrozdziale. Podano również informacje o typowych problemach, jakie występują w zakresie nakładów energetycznych w odniesieniu do konstrukcji wytłaczarek, wtryskarek lub formach odlewniczych.

**Rozdział 3. Cel i zakres pracy**, jak sama nazwa wskazuje zawiera informację o motywacji podjęcia tematu pracy i celach, jakie zostały w związku z tym postawione oraz metodach ich realizacji. Podstawowym celem było zmniejszenie strat ciśnienia podczas przepływu przez dysze wtryskarki polipropylenu traktowanego, jako płyn nienewtonowski. Wiązało się to z koniecznością modyfikacji kształtu kanału i przewodu dyszy przepływowej. W sensie matematycznym, jak podaje Autorka opracowania, opisuje się go funkcją ciągłą z pierwszą pochodną lub przy jej braku w wybranych punktach jej przebiegu. W oparciu o te informacje postawiono trzy tezy doty-



czące proponowanej modyfikacji oraz możliwości opisu kształtu dyszy za pomocą wielomianu trzeciego stopnia. Następnie określono zakres prowadzonych prac badawczych mających doprowadzić do realizacji postawionego celu. Dotyczy on budowy stanowiska badawczego do wizualizacji przepływu polipropylenu, wykonanie symulacji numerycznych metodą CFD i opracowania wielomianu, co pozwoli na modyfikację dysz. Badania zachowania się polipropylenu podczas przepływu przez zmodyfikowane dysze umieszczone w reometrze kapilarnym, porównanie wyników badań symulacyjnych i wizualizacyjnych.

W badaniach eksperymentalnych zidentyfikowano podstawowe parametry reologiczne polipropylenu.

Kolejne rozdziały opracowania obejmują część praktyczną, w których przedstawiono sposób prowadzonych badań eksperymentalnych i symulacji numerycznych oraz uzyskane wyniki.

W **Rozdziale 4. Wizualizacja przepływu płynu newtonowskiego i nienewtonowskiego**, umieszczono informację o sposobie realizacji eksperymentu mającego na celu wykonanie wizualizacji przepływu płynów newtonowskich i nienewtonowskich. W tym celu zbudowano stanowisko, na którym montowano w osłonie transparentnej elementy przepływowe symulujące kształt badanych dysz. Ich wymiary geometryczne zdefiniowano wielomianem trzeciego stopnia. Eksperyment prowadzono przy użyciu wody oraz wodnego roztworu karboksymetylocelulozy, jako płynu nienewtonowskiego, z domieszką opiłek aluminium w celu identyfikacji rozkładu stref przepływu. Uzyskane wyniki wizualizacji posłużyły do symulacji komputerowych, na podstawie, których zaproponowano modyfikacje kształtu dyszy.

Warunki przepływowe przez nowy kształt zamodelowanej dyszy, zostały następnie zweryfikowane na drodze kolejnego modelowania z wykorzystaniem pakietu CFD.

W **Rozdziale 5. Symulacje numeryczne przy użyciu CFD**, w kolejnych podrozdziałach: **5.1. Środowisko CFD – charakterystyka**, **5.2. Geometria modelu badawczego**, **5.3. Tworzenie siatki elementów objętościowych**, **5.4. Parametry wejściowe**, **5.5. Wyniki eksperymentu symulacyjnego**, opisano metodykę tworzenia i optymalizację modelu obliczeniowego, przyjętych warunków brzegowych w oparciu o założenia konstrukcyjne oraz wyniki obliczeń. Procedura została wykonana w środowisku ANSYS Fluent z pakietu CFD. Modelowanie prowadzono w oparciu o wielomian trzeciego stopnia w odniesieniu do spadku ciśnienia na kolejnych dyszach. Konstrukcyjnie, zmiana polegała na wydłużeniu kanału dolotowego oraz optymalizacji konta zwężenia tej przestrzeni. Zaproponowano dysze o kodyfikacji A, B i C, w zależności od wydłużenia kanału dolotowego. Określono je, jako dysze zbieżne (standardowe) oraz wielomianowe (zmodyfikowane uzyskane na drodze modelowania numerycznego). Wszystkie symulacje prowadzono w zakresie identyfikacji najefektywniejszego zmniejszenia strat ciśnienia podczas przepływu stopionego polimeru. Ważnym było również uzyskanie odpowiedzi o możliwej degradacji struktury stopionego polimeru. Weryfikacji uzyskanych wyników przedstawionych w formie graficznej zrzutów ekranu z procesu modelowania, dokonano porównanie z eksperymentem przeprowadzonym na opisanych powyżej dyszach. Zostały one zamontowane w reometrze kapilarnym, a opis umieszczono w kolejnym rozdziale.

**Rozdział 6. Wyniki badań eksperymentalnych**, zawiera informację o sposobie wykonania badań eksperymentalnych oraz o ich wyniku. W **podrozdz. 6.1. Specyfikacja aparatury zastosowanej w eksperymencie**, umieszczono zdjęcia wraz z opisem reometru kapilarnego wykorzystanego w badaniach. Oprócz tego zdjęcia i rysunki z opisem badanych dysz, a także krótki opis sposobu wykonania tych badań. Rodzaj badanego materiału opisano w **podrozdz. 6.2. Specyfikacja materiału zastosowanego w eksperymencie**. Wykorzystano tutaj polipropylen, w postaci granulatu, który rozgrzewano w reometrze kapilarnym rejestrując ciśnienie i przepływ w przestrzeni między cylindrem a mechanizmem posuwu tłoka. Podano również uzasadnienie wykorzy-

stania polipropylenu wskazując na jego szerokie zastosowanie we współczesnym świecie oraz producencką kartę charakterystyki. Wymieniono dwa typy tego materiału Polipropylen PP-H i Polipropylen PP-C wraz z opisem właściwości. Umieszczono również zdjęcie wyrobów wytworzonych z tego materiału. Wyniki badań zawarto w **podrozdz. 6.3. Wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w reometrze kapilarnym**. W opisie z poprzedniego podrozdziału wskazano na identyfikację ciśnienia i prędkości przepływu przez kapilarę. Realizowano to za pomocą właściwości konstrukcyjnych samego reometru. Wyniki przedstawiono w formie zestawień tabelarycznych.

**Rozdział 7. Wpływ wytłaczania w kanale o nowym kształcie na degradację materiału**, przedstawiono wyniki badań dotyczące degradacji termicznej i mechanicznej przetłaczanego polipropylenu. Pierwsze zagadnienie poruszono w **podrozdz. 7.1. Wpływ temperatury – degradacja termiczna**, stwierdzają brak wystąpienia istotnych zmian właściwości badanego polipropylenu. Porównanie wyników wykazało, że temperatura medium różniła się od założonej 230°C maksymalnie o 0,2%, co stanowi nieznaczną odchyłkę od normy.

Wyniki badań dotyczące oddziaływań mechanicznych przedstawiono w **podrozdz. 7.2. Degradacja mechaniczna**. Analizując zestawienie zidentyfikowanych naprężeń powierzchniowych w polipropylenie porównano wszystkie uzyskane dla każdej z przebadanych dysz wyniki. Stwierdzono, że najmniejsze ryzyko pojawienia się degradacji mechanicznej występuje w dyszy zbieżnej o wymiarze charakterystycznym A oraz w dyszy zbieżnej o wymiarze charakterystycznym B.

Opracowanie w sensie merytorycznym zamyka **Rozdział 8. Omówienie wyników i wnioski**, gdzie Autorka starała się dokonać oceny końcowej swojej pracy. W zestawieniu informacji uzyskanych podczas badań poszczególnych dysz, wykazano, jakie rozwiązanie konstrukcyjne dyszy spowoduje najmniejsze straty ciśnienia.

Następnie w opracowaniu umieszczono **Zakończenie**, które z jednej strony można traktować, jako całościowe podsumowanie tej dysertacji, ale z drugiej równie dobrze mógłby to być wstęp do tego opracowania.

Kolejna część tego opracowania to **Bibliografia** składający się ze 88 pozycji. Wykaz ten składa się z pozycji zwartych, artykułów, norm i odniesień do stron internetowych. Pośród nich znajduje się jedna autorska Doktorantki.

Oceniając strukturę redakcyjną opracowania, stwierdzam, że pod względem relacji części teoretycznej do merytorycznej jest zachowana odpowiednia proporcja. Zastosowany język pod względem merytorycznym i branżowym jest poprawny. Odnotowuje się nieliczne błędy stylistyczne i redakcyjne, które nie mają wpływu na część merytoryczną.

**Struktura przedstawionego do oceny opracowania w tej formie nie budzi zastrzeżeń i można ją ocenić pozytywnie.**

### 3. Cel i zastosowane metody

Cel i zakres pracy podano w **Rozdziale 3**, gdzie zdefiniowano również tezy. W mojej ocenie, bardziej są to hipotezy do udowodnienia, ponieważ możemy jedynie przypuszczać, że zaproponowane modyfikacje kształtu dyszy mogą dać te oczekiwane wyniki. Szczególnie w przypadku tzw. tezy 3, stwierdzenie jest kategoryczne a na tym etapie tak nie powinno być postawione.

W dalszej części podano zakres zadań mających spowodować osiągnięcie przyjętego celu pracy, jakim było: *uzyskanie zmniejszenia strat ciśnienia podczas przepływu wybranego płynu nienuetonowskiego, jakim jest polipropylen.*

W mojej ocenie zdanie to klarowniej oddawałoby postawione założenie gdyby brzmiało np.: *celem pracy było uzyskanie zmniejszenia strat ciśnienia podczas przepływu, przez dysze urządzeń przetłaczających polimer, wybranego płynu nienuetonowskiego, jakim jest polipropylen.* Niemniej jest to tylko propozycja.

W kolejnej części tego rozdziału podano metody, jakie postanowiono wykorzystać podczas realizacji rozprawy doktorskiej. Wskazano na badania eksperymentalne w zakresie wizualizacji przepływów, wykorzystania pakietu CFD Ansys FLUENT do zamodelowania kształtu zmodyfikowanych dysz oraz identyfikacji parametrów przepływowych. Wymienione działania można uznać za określenie metodologii.

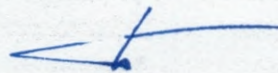
**W ogólnej ocenie można stwierdzić, że cel, zakres i zastosowane metody realizacji rozprawy doktorskiej, zostały prawidłowo sformułowane.**

#### 4. Omówienie wyników badań

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy zagadnień modelowania przepływu cieczy nienuetonowskich w jednym konkretnym obszarze jej zastosowania. Rozpatrzono, jako podstawę tego doktoratu możliwość obniżenia strat ciśnienia podczas przepływu polipropylenu, przez dysze urządzeń przetłaczających polimery. Wykorzystanie tego materiału jest obecnie powszechne, wiele przedmiotów użytkowych lub części maszyn i urządzeń jest wytwarzanych z tych tworzyw. Problemy technologiczne podczas tych procesów wiążą się często, z zaleganiem topionego granulatu tych substancji właśnie w dyszach urządzeń, za pomocą, których, formuje się pożądane kształty wytworów lub półproduktów. Spowodowane to może być samym kształtem wewnętrznym dyszy, wzrostem oddziaływań ciśnieniowych będących wynikiem występujących naprężeń powierzchniowych, degradacja termiczną, mechaniczną, hydrolityczną, biodegradacją lub środowiskową. Propozycja modyfikacji kształtu dyszy, prowadząca do obniżenia przede wszystkim oddziaływań ciśnieniowych i zmniejszenie naprężeń powierzchniowych jest jak najbardziej wskazana. Uzyskanie optymalnego wymiaru tego elementu, może spowodować przede wszystkim obniżenie kosztocłonności procesu produkcyjnego na drodze zmniejszenia potencjalnych strat materiału.

W ocenianej rozprawie doktorskiej porównano kształty, które sklasyfikowano, jako dysze: A- zbieżne i A - wielomianu III stopnia, B- zbieżne i B - wielomianu III stopnia, C- zbieżne i C - wielomianu III stopnia. Kodyfikacja A, B i C odnosiła się do konkretnego kształtu wewnętrznego, natomiast określenie „zbieżna” do tzw. dyszy standardowej. Zaproponowane modyfikacje odnoszą się do określenia „wielomianu III stopnia”. Analiza porównawcza oparta o wyniki symulacji modelowej oraz badań eksperymentalnych, może być wykorzystana do wskazania konkretnej konstrukcji, jako najmniej energochłonnej pod względem zmniejszenia oddziaływań ciśnieniowych.

Natomiast w sferze dyskusyjnej chciałem zauważyć, że w opracowaniu brakuje właśnie konkretnych wskaźników pokazujących zmniejszenie energochłonności procesów produkcyjnych z zastosowaniem klasycznych i zmodyfikowanych dysz wtryskarek polimerów. W Rozdziale 6 pojawia się porównanie rozważanych konstrukcji w identyfikacji procentowych udziałów strat ciśnienia. W Rozdziale 7 wskazanie braku degradacyjnych oddziaływań termicznych i mechanicznych w odniesieniu do zaproponowanych nowych konstrukcji dysz, nie ma jednak informacji o



tym o ile np. zmniejszyłoby się zużycie energii mechanicznej a przez to elektrycznej w tych procesach. Kolejnym ważnym elementem byłoby określenie zminimalizowania strat materiału w wyniku zmniejszenia możliwości zalegania nieprzetworzonego granulatu w dyszach.

Wskazane powyżej zagadnienia, jak wspomniano we wstępie mają charakter dyskusyjny i jestem przekonany, że uzyskam na nie odpowiedzi podczas publicznej obrony tej rozprawy doktorskiej.

**Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i Recenzent liczy na ich rozwinięcie podczas publicznej obrony.**

## 5. Podsumowanie

Podsumowując, należy stwierdzić, że przedstawiona do recenzji praca doktorska nie wykazuje nieprawidłowości, o których jest mowa w ogólnych wytycznych. Analiza przedstawionego do oceny materiału wskazuje również na aplikacyjny charakter wykonanych symulacji modelowych zweryfikowanych badaniami eksperymentalnymi. Propozycja rozwiązania konstrukcyjnego, mającego doprowadzić do obniżenia strat materiałowych oraz energetycznych w dyszach wtryskiwaczy polimerów jest niewątpliwie innowacyjną propozycją. W związku z powyższym należy stwierdzić, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi próbę oryginalnego rozwiązania problemu konstrukcyjnego i jednocześnie naukowego.

## 6. Ocena pracy i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawione do oceny opracowanie jego treść i cechy merytoryczne, stwierdzam, że spełnia ono wymogi dysertacji doktorskiej. Określony zakres tematyczny, sposób realizacji założonych przez Autorkę celów wskazuje na osiągnięcie odpowiednich kompetencji wymaganych zapisami ustawy dla osób ubiegających się o stopień naukowy doktora.

**Podsumowując** stwierdzam, że przedłożona mi do oceny praca zawiera oryginalne ujęcie problemu naukowego i świadczy o opanowaniu przez jej Autorkę **mgr inż. Aleksandrę Nowakowską** naukowych metod doświadczalnych i obliczeniowych, stosowanych w **dyscyplinie inżynieria środowiska**, górnictwo i energetyka a tym samym wyczerpuje warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz.U.2018 poz. 1668 z późn. zm.) co uzasadnia **dopuszczenie** jej do publicznej obrony o co wnioskuję.

*Robert Kucyński*