Prof. dr hab. inż. Czesław Kuncewicz
Wydział Inż. Procesowej i Ochrony Środowiska
Politechniki Łódzkiej

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Story nt. „Badanie przepływów nienewtonowskich w mieszalniku wyposażonym w mieszadło PMT" wykonanej w Zakładzie Projektowania Systemów i Optymalizacji Procesowej na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
Promotor rozprawy: Prof. dr hab. inż. Zdzisław Jaworski

1. Wybór tematu rozprawy

Badania oraz opis matematyczny operacji z udziałem cieczy nienewtonowskich jest zawsze trudniejszy niż analiza tych samych operacji z udziałem cieczy newtonowskich, nawet jeśli mamy do czynienia z cieczami wysokolepkimi. Poziom komplikacji zwiększa się w przypadku cieczy o złożonych własnościach reologicznych takich jak ciecze lepkosprężyste czy ciecze reoniestabilne. Podczas mieszania może dojść do zmiany lokalnych właściwości płynu w zależności od lokalnej warunków hydrodynamicznych. Ten sam płyn może się zachowywać różnie w zależności od obszaru mieszalnika, który poddajemy analizie. Niestety w przemyśle przetwórczym, a szczególnie w układach heterogenicznych, z którymi mamy do czynienia w różnych procesach bio większość układów płynnych należy do kategorii właśnie cieczy nienewtonowskich. Najczęściej są to ciecze rozrzedzane ścinaniem z granicą lub bez granicy płynięcia z nałożonymi czasami własnościami sprężystymi. Dlatego z praktycznego punktu widzenia wybór w recenzowanej rozprawie doktorskiej nienewtonowskiego medium badawczego jest ambitny i jak najbardziej właściwy, tym bardziej że m.in. analizie poddano właśnie ciecz rozrzedzaną ścinaniem wykazującymi dodatkowo własności sprężyste.
Wiadomo od dawna, że mieszanie tego rodzaju cieczy z zasady powoduje powstawanie tzw. kawern w obszarze mieszadła i jego najbliższym otoczeniu, to jest obszarów o zwiększonej cyrkulacji cieczy, gdzie szybkość wszystkich procesów jest duża. Niestety poza tymi obszarami można obserwować prawie całkowitą stagnację cieczy mieszanej. Dużą rolę odgrywa tutaj swoiste sprzężenie zwrotne ujemne. Małe szybkości ścinania poza obszarem kawerny czyli m.in. poza obszarem mieszadła zwiększają lepkość cieczy, która spowoduje zmniejszone prędkości, to z kolei spowoduje zmniejszone szybkości ścinania itd. Jest to duży problem mieszania cieczy rozrzedzanych ścinaniem.
W przesłanej do recenzji pracy, Doktorantka w swoich badaniach skoncentrowała się na mieszadle PMT z sześcioma pochylonymi łopatkami (Prochem Maxto T) i jak wykazała (str. 61-63) mieszadła te lepiej sprawują się niż turbina Rushtona podczas nagazowywania mieszanej cieczy, mieszaniu brzeczek fermentacyjnych czy mieszaniu roztworów skrobi kukurydzianej. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest niższe zapotrzebowanie mocy

do napędu mieszadła PMT (rys. 5.16). Z punktu widzenia wyboru badanego układu mieszającego wybór ten jest również właściwy. Mam jednak małą uwagę. Jak stwierdza sama Doktorantka (str. 64), cyt. „Z praktycznego punktu widzenia geometria zbiornika, mieszadło mechaniczne oraz wartości parametrów procesowych powinny być dobrane tak, aby kawerna cieczy swoim zasięgiem objęła jak największą część mieszanego medium". Trudno nie zgodzić się z tą oczywistą opinią i granicznie należałoby dążyć do tego aby mieszalnik był całkowicie pozbawiony stref stagnacji. Badane mieszadło PMT było mieszadłem o średnicy równej 0.35 średnicy mieszalnika, a więc było to stosunkowo nieduże mieszadło i nawet przy bardzo dużych jego częstościach obrotowych w mieszalniku zawsze były obserwowane spore strefy stagnacji (rys.5.28, 5.29). Czy nie należałoby zatem przeprowadzić chociaż krótki eksperyment laboratoryjny lub numeryczny np. z mieszadłem wstęgowym lub wstęgowo-ślimakowym (lub innym) które moim zdaniem, ze względu na rozmiar swojej średnicy powinno się bardzo dobrze sprawdzić w tych warunkach, albo przynajmniej wspomnieć w swojej dysertacji o takiej możliwości czy też planach?
Pomimo powyższej uwagi nadal jestem przekonany o dobrym doborze badanego obiektu chociażby ze względu na istniejącą niszę badawczą (str. 37,38) dotyczącego tego typu mieszadeł.

2. Opis formalny pracy

Praca składa się z 8 rozdziałów i posiada tradycyjną strukturę tzn. zawiera studia literaturowe, cel pracy, badania doświadczalne oraz symulacje numeryczne, omówienie otrzymanych wyników i w ostatnim rozdziale zawarte jest podsumowanie oraz wnioski końcowe. Praca jest obszerna. Część merytoryczna mieści się na 173 stronach plus załącznik zawierający ok. 70 szczegółowych rysunków zawierających najczęściej rozkłady poszczególnych składowych prędkości w kawernach. Całość liczy równe 200 stron.
W pierwszych dwóch rozdziałach doktorantka opisała wszystkie obszary tematycznie związane z wykonywaną pracą doktorską, a dostępne Autorce w literaturze w przedmiotu. Omówiła rodzaje cieczy nienewtonowskich z opisem ich modeli reologicznych, podała definicje podstawowych liczb kryterialnych, z których będzie korzystała w dalszych etapach pracy, przedstawiła podstawy dopplerowskiej anemometrii laserowej oraz cyfrowej anemometrii obrazowej ze szczególnym uwzględnieniem metody PIV. Szczególnie dokładnie przedstawiła podstawy teoretyczne ostatniej z metod. Zajęło Jej to prawie 10 stron pracy. Opisała podstawy numerycznej mechaniki płynów z uwzględnieniem dwóch modeli tzn. modelu *k-epsilon* oraz *k-omega* opartych na uśrednieniu Reynoldsa równań Naviera-Stokesa. Przedstawiła wady i zalety obu modeli jak również wybranych pozostałych modeli m.in. modelu wielkowirowego LES. Przedstawiła istniejące dane literaturowe dotyczące wybranego mieszadła PMT oraz jego potencjalne zalety w porównaniu z klasycznym mieszadłem PBT (pitch blade turbine), będącym odmianą turbiny Rushtona. Co ważne, stwierdziła istnienie niewielu prac związanych z badaniem pola prędkości generowanym przez mieszadło PMT, a przede wszystkim brak jakiejkolwiek publikacji dotyczącej zastosowania numerycznej mechaniki płynów do badań efektów pracy tego mieszadła.
Ostatnia obserwacja była mocnym bodźcem do podjęcia przez Autorkę tej właśnie tematyki w swojej dysertacji doktorskiej co znalazło odzwierciedlenie w formalnym określeniu głównych celów podjętych w przedstawionej do oceny pracy. Cele te dotyczyły zbadanie możliwości określenia wielkości kawern na podstawie prac eksperymentalnych oraz metod CFD, określenia wpływu przegród na wielkość powstających kawern oraz możliwości określania stref w mieszalniku, w których przeważają właściwości sprężyste. Wszystkie cele zostały przedstawione bardzo dokładnie, aż na trzech stronach manuskryptu i moim zdaniem były one opisane nawet zbyt szczegółowe.

W następnym rozdziale Doktorantka przedstawiła parametry geometryczne układu mieszadło-mieszalnik (T = 0.222m, mieszadło PMT o średnicy D = 0.078m, H = T), zmierzone parametry reologiczne trzech cieczy tzn. wody, wodnego 0,2% roztworu Carbopolu oraz roztworu soli sodowej CMC o takim samym stężeniu. Na podstawie pomiarów stwierdziła, że dwie ostatnie ciecze są cieczami rozrzedzanymi ścinaniem spełniającymi prawo potęgowe Ostwalda de Waele, przy czym roztwory CMC dodatkowo posiadały właściwości sprężyste. Na podstawie badań własnych oraz danych literaturowych ustaliła, że powyżej szybkości ścinania γ = 8[s^{-1}] własności sprężyste roztworów CMC przeważają nad własnościami lepkimi. Przestawiła krzywe płynięcia w bardzo szerokim zakresie szybkości ścinania (do 3000[s^{-1}]). Następnie przedstawiła sposób generowania siatki numerycznej do obliczeń modelowych składającej się z niestrukturalnych tetraedrycznych komórek obliczeniowych. Wiele miejsca poświeciła opisowi doboru barwnika do wizualizacji wielkości kawern, w których obserwowana była wzmożona cyrkulacja cieczy. Po testach do dalszych prac wybrała roztwór rodaminy 6G.

W rozdziale piątym dotyczącym badan eksperymentalnych Doktorantka wykreśliła krzywą mocy dla badanego mieszadła PMT w szerokim zakresie zastępczej liczby Reynoldsa od $Re \cong 2$ do Re = 100 000. Uzyskane wyniki dobrze się zgadzały z podobnymi wynikami uzyskanymi dla tego samego mieszadła przez promotora pracy prof. Zdzisława Jaworskiego w pracy ujętej w spisie literatury pod pozycją [17]. Generalnie, w wielu miejscach swojej rozprawy doktorskiej Doktorantka odwoływała się do wyników tej pracy i uważam to za jej pozytyw. Należy zauważyć, że obie prace były wykonane w różnych laboratoriach przy stosowaniu różnych technik pomiarowych, w ten sposób uzyskane zgodności wynikowe dodatkowo weryfikowało wyniki uzyskane przez Autorkę. W wyniku pomiarów pól prędkości metodami LDA i PIV Doktorantka pozytywnie weryfikuje obie metody, a następnie metodą PIV określa rozkłady prędkości osiowych i promieniowych w pionowych przekrojach mieszalnika przechodzących przez przegrodę umieszczoną w równych odległościach od dwóch sąsiednich przegród. Na tej podstawie wykreśla doświadczalne linie prądu w płaszczyźnie r-z nad i pod mieszadłem. Uzyskane wyniki są logiczne, klarownie przedstawione i w dużym stopniu są one zgodne z naszym intuicyjnym wyczuciem. Następnie określa wartości bezwymiarowych liczb przepływu $K_{C,PIV}$ = 1,55 dla wody oraz i podobną, ale inną wartość $K_{C,CMC}$ = 0,96 dla 0.2% roztworu CMC. W tekście zamieszczonym na str. 111÷113 Autorka sugeruje, że jest to wynik innego typu cieczy (ciecz newtonowska i nienewtonowska), do których odnoszą się te wartości. Moim zdaniem obserwowana różnica jest raczej wynikiem diametralnie różnych zastępczych liczb Reynoldsa (tab. 5.4). W przypadku roztworów CMC było to mieszanie w zakresie przejściowym, a nie burzliwym jak w przypadku wody, pomimo tych samych częstości obrotowych mieszadła. Jestem ciekaw opinii Doktorantki na ten temat.

Na końcu rozdziału Autorka przedstawiła rozmiary kawern dla mieszadła PMT oraz turbiny Rushtona dla 0,2% roztworu Carbopolu i stwierdziła, że obszar intensywnego mieszania dla mieszadła PMT był zawsze większy niż dla mieszadła TR, a dodanie przegród powoduje zawsze zmniejszenie tego obszaru. Stąd wniosek, że mieszadła PMT są bardziej efektywne w swoim działaniu niż mieszadła TR. Obserwowany przekrój kawern miał zazwyczaj kształt lekko zniekształconego torusa i był jednoznaczny do zidentyfikowania na poszczególnych zdjęciach. Jest to zasługa dobrze przygotowanych i wykonanych ostrych zdjęć, co ułatwiło dokładne określenie średnicy i wysokości generowanych kawern.

W rozdziale VI Autorka zamieściła wyniki symulacji numerycznych z użyciem komercyjnego programu obliczeniowego ANSYS Fluent poprzez rozwiązanie zdefiniowanych równań transportu metodą objętości skończonych z nałożoną dyskredytacją domeny obliczeniowej. Na początku zoptymalizowała gęstość siatki numerycznej oraz przeprowadziła obliczenia dla trzech mediów: wody oraz dwóch roztworów Carbopolu i CMC. Dla wody uzyskała rozkłady

trzech składowych prędkości wewnątrz mieszalnika stwierdzając, że uzyskane wyniki obliczeń numerycznych zarówno co do wartości bezwymiarowych liczb mocy i wielkości nacisku osiowego oraz zestandaryzowanych składowych prędkości są zgodne z wynikami eksperymentalnymi (tab. 6.2 oraz tab. 6.3). Świadczy to o poprawności zbudowanego modelu numerycznego. Podobnie dobre dopasowanie wyżej wymienionych parametrów otrzymała dla cieczy rozrzedzanej ścinaniem, czyli 0,2% roztworu Carbopolu co uzasadniło tezę, że uzyskane wyniki symulacji można było uznać za wiarygodne i można je było poddać dalszej, bardziej szczegółowej analizie. Jedynie dla roztworu CMC wykazującego umiarkowane właściwości sprężyste obserwowany rozrzut był znacząco większy niż w dwóch poprzednich przypadkach. Jak zaznacza sama Autorka, brak uwzględnienia właściwości sprężystych roztworu CMC mógł być, i moim zdaniem był, przyczyną nieco gorszego dopasowania eksperymentu do wyników obliczeń numerycznych. Uzyskana niezgodność była rzędu 8÷10%, co nie jest zresztą złym wynikiem

Najważniejszym i merytorycznie najciekawszym rozdziałem pracy jest rozdział VII, w którym połączono większość wyników opisanych w poprzednich rozdziałach. Na początku rozdziału porównano pola średnich prędkości uzyskane z rozwiązań CFD dla trzech testowanych cieczy, przy czym dla roztworu CMC w obliczeniach numerycznych uwzględniano tylko jego właściwości lepkie. Jak podkreśla sama Autorka (str. 141) „istnieje duży wpływ reologicznych parametrów mieszanego medium na cyrkulację cieczy w mieszalniku", gdyż w przypadku wody oraz roztworu CMC przy tych samych częstościach obrotowych mieszadła, mieszadło PMT działało jako mieszadło osiowe, natomiast w przypadku roztworów Carbopolu dominowała składowa promieniowa strumienia cieczy wyrzucanej z obszaru mieszadła. Jest to istotna różnica. Czy nie należało już w tym miejscu przeanalizować, czy przyczyna tej zaskakującej niezgodności nie leży raczej w wartościach zastępczej lepkości cieczy η_{APP} niż w typie cieczy? W dużym stopniu zostało to wykonano na str. 145, gdzie Autorka podaje lepkości pozorne obu roztworów, które różnią się nawet kilkunastokrotnie. Dlatego, moim zdaniem, przy omawianiu wielu rysunków w tekście pracy należało się raczej posługiwać wartością pozornej liczby Reynoldsa niż częstością obrotową mieszadła N (na szczęście przy wielu rysunkach podane są wartości Re). Przecież dla tych samych częstości obrotowych mieszadła charakter ruchu cieczy w mieszalniku może być całkowicie inny. Jakie jest zdanie Doktorantki w tej sprawie?

W dalszej części rozdziału, na podstawie rozwiązań modelu numerycznego Autorka, określiła średnice kawern D_C przyjmując jako kryterium graniczne minimalną wartość prędkości obwodowej równej 0,01 prędkości obwodowej końca łopatki mieszadła. Uwzględniając, że maksymalne prędkości obwodowe w kawernie wynosiły około połowy prędkości końca łopatki mieszadła, to przyjęcie prędkości rzędu 3 - 4% średniej prędkości cieczy w kawernie jako kryterium do określanie wielkości kawerny w kawernie, należy uznać za wybór rozsądny. Potwierdzają to zresztą porównania tak określonych wielkości kawern z ich wielkościami określonymi innymi metodami, które przedstawiono na rys. 7.5, rys. 7.9 oraz tab. 7.1.

Za najcenniejsze osiągnięcie Doktorantki uważam właśnie opracowanie dwóch równań korelacyjnych określających średnice i wysokości kawerny (szczególnie średnice) podanych w formie równań 7.3 i 7.4, gdzie kryterium podziału zakresów ważności obu równań jest wewnętrzna średnica przegród D_f. Mam pytanie. W ostatnim akapicie na str. 148 pojawia się po raz pierwszy nienazwany, bezwymiarowy moduł zawierający siłę F będącą sumaryczną sumą sił stycznych i osiowych w mieszalniku. Moduł ten bardzo dobrze koreluje wyniki obliczeń numerycznych, ale skąd się on pojawił w pracy? Czy jest to Pani propozycja, a jeśli tak, to jaka jest jej historia?

W ostatniej części rozdziału VII Doktorantka określiła obszary w mieszalniku, w których dominują właściwości sprężyste nad właściwościami lepkimi roztworu CMC. Kryterium

podziału uzależnione było od właściwości lepkich i sprężystych roztworu oraz od lokalnej szybkości ścinania w mieszalniku. Wykreślone mapy szybkości ścinania (obliczonych w przestrzeni 2D) wykazały, że obszar o przewadze właściwości sprężystych roztworu CMC mógł maksymalnie wynieść nawet 43% (str. 158) co oznacza, że właściwie należałoby uwzględniać te właściwości w obliczeniach numerycznych. Jest to jedno z zaleceń, które Doktorantka umieściła na końcu pracy.
W ostatnim rozdziale pracy zawierającym podsumowanie i wnioski końcowe Doktorantka w sposób syntetyczny, może czasami nazbyt szczegółowy, przedstawia najważniejsze wyniki pracy. Nie będę ich dokładnie omawiał, ale zgadzam się nimi w całości. Mam jedynie uwagę do przedstawionych zaleceń na przyszłość. Moim zdaniem, w zaleceniach powinno się znaleźć zdanie o konieczności dalszych prac nad nowymi konstrukcjami mieszadeł przeznaczonych przede wszystkim do mieszania cieczy rozrzedzanych ścinaniem. Wspominałem już o tym na początku recenzji. Jak wynika z przybliżonych obliczeń nawet dla dużych częstości obrotowych mieszadła PMT (8÷12obr/s) często ponad połowa objętości cieczy w mieszalniku znajduje się poza obszarem intensywnej cyrkulacji (rys. 5.28, rys. 5.29). Najprawdopodobniej rozwiązań tego problemu należałoby szukać wśród rodziny mieszadeł wstęgowych lub wśród nieznanych nam jeszcze konstrukcji, które zapewniłyby rozsądną cyrkulację w możliwie największej objętości mieszalnika (nawet w całej objętości mieszalnika). Należałoby pamiętać oczywiści o mocy mieszania. Jakie jest zdanie Doktorantki na ten temat?

3. Ocena merytoryczna pracy oraz uwagi

Recenzowana praca jest pracą teoretyczno-doświadczalną stanowiącą w dużym stopniu zamkniętą całość. Na podstawie wykonanych doświadczeń w bardzo szerokim zakresie zmian parametrów procesowych oraz rodzajów mediów Doktorantka porównuje uzyskane wyniki doświadczalne z podobnymi wynikami uzyskanymi z rozwiązań modelowych. Należy podkreślić dużą dokładność prezentowanych wyników będących efektem dobrze zaplanowanych i pieczołowicie wykonanych eksperymentów fizycznych i numerycznych, a przebieg doświadczeń był czasami opisywany nawet przesadnie szczegółowo. Model numeryczny procesu zbudowany był prawidłowo, zastosowane procedury obliczeniowe adekwatne do stawianych celów, a uzyskane wyniki prawidłowo opisane. Doktorantka umiejętnie połączyła oba rodzaje wyników uzyskując w efekcie możliwość wykonania całościowej analizy umożliwiającej identyfikację wielkości obszarów o zwiększonej cyrkulacji cieczy, czyli tzw. kawern w mieszalniku podczas mieszania cieczy rozrzedzanych ścinaniem. Doktorantka pewnie poruszała się w zagadnieniach związanych z mechaniką płynów i obliczeniami numerycznymi jak również dobrze opanowała techniki pomiarowe. Potrafiła prawidłowo opracować uzyskane wyniki z zastosowaniem metod statystycznych, właściwie je zinterpretować oraz wyciągnąć logiczne wnioski szczegółowe. Krótka uwaga: może należało częściej podawać swoją, autorską interpretację uzyskanych wyników patrząc na nie ze zjawiskowego punktu widzenia, tzn. nie tylko je opisywać ale próbować odpowiedzieć nas pytanie dlaczego tak wyszło. Zdaję jednak sobie sprawę, że nie zawsze było to możliwe. Całość pracy napisana jest dobrym, klarownym językiem, szata graficzna bez zarzutu, a prezentowane wykresy czytelne. Spis literatury zawiera 155 pozycji i w absolutnej większości są to publikacje z czasopism o międzynarodowej cyrkulacji z ostatnich 10 - 15 lat i zawiera on najważniejsze pozycje związane z tematem pracy.
Po zapoznaniu się z całością przesłanej do recenzji pracy stwierdzam, że Doktorantka pomimo swojego młodego wieku, jest osobą dojrzałą naukowo potrafiąca zaplanować badania naukowe, dobrać odpowiedni arsenał badawczy, krytycznie ocenić uzyskane wyniki oraz samodzielnie rozwiązać postawione przed Nią zadanie badawcze.

Uwagi i zapytania

Podczas czytania pracy nasunęło mi się kilka uwag oraz zapytań:

- str. 17, 10d. Cyt. "Lepkość płynu określa jego zdolność do przekazywania pędu pomiędzy sąsiadującymi, niemieszającymi się warstwami, które poruszają się ze stałą prędkością". Lepkość płynu rzeczywistego jest jedną z jego cech i występuje chyba zawsze niezależnie charakteru ruchu.
- str. 31. W równanie (2.28) brak zgodności wymiarowej. Czy w mianowniku tego równania nie powinno być wyrażenia $(\rho N^2 D^4)$? Podobnie w równaniu (2.30). Moim zdaniem właściwa definicja bezwymiarowej liczby nacisku *Th* lub *Mo* jest podana dopiero w tabeli 5.7 w części doświadczalnej pracy i na szczęście wartości liczbowe modułu *Th* były obliczane z właściwej definicji. Po co były wprowadzane dwa oznaczenia tej samej wielkości?
- str. 31. Czy w równaniu (2.29) składnik f_{ax2} nie powinien być równy zero? Składnik ten dotyczy strumienia cieczy przepływającego prostopadle do osi mieszalnika (równolegle do dna). Nie powinien on wpływać na wartość siły osiowej.
- str. 34, 15g. Równość strumienia cieczy w płaszczyźnie r-z wynika raczej z zasady zachowania masy lub równania ciągłości strugi przy założeniu $\rho=const$, a nie z założenia kątowej symetrii przepływu. Równania (2.34) ÷ (2.36) dotyczą tego samego strumienia cieczy obliczanego tylko z różnych składowych prędkości.
- str. 34, ostatnie zdanie. Równanie (2.37) jest tylko równaniem definicyjnym i parametry płynu oraz wartość liczby Reynoldsa nie odgrywają tutaj żadnej roli.
- str. 83, rys. 5.1 oraz 5.2. Dlaczego przedstawiono wykresy $\tau = f(\gamma)$ w układzie normalnym, a nie układzie dwulogarytmicznym, w którym dla cieczy pseudoplastycznych uzyskuje się linie prostą? W pracy wykorzystywano zaledwie około 5% początkowego zakresu szybkości ścinania zamieszczonego na wyżej wymienionych rysunkach (oś x). Może tylko dla tego zakresu parametry *K* i *n* były inne niż dla całego zakresu γ?
- str. 97, tab. 5.4. Do oceny dokładności pomiarów używano współczynnika zmienności V_S. Czy nie lepiej było użyć klasycznego sposobu powyższej oceny z użyciem testu t-Studenta oraz przedziałów ufności?

Usterki korektorskie:

- str. 31, 8d. Brak słowa „można"
- str. 57. Literówka w równaniu (2.52): str. 59. Literówka w słowie „Parandtla": str. 67, 5d. Literówka

5. Podsumowanie końcowe

Podsumowując stwierdzam, że pomimo pewnych uwag krytycznych zawartych w recenzji, praca doktorska mgr inż. Anny Story jest wykonana na dobrym poziomie naukowym i ma duże szanse na zastosowanie jej wyników w praktyce. Praca posiada wiele elementów oryginalności i w moim pełnym przekonaniu wypełnia w całości wymagania ustawy o tytułach i stopniach naukowych i wnioskuję do Rady Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie o jej przyjęcie i dopuszczenie Autorki pracy do publicznej obrony.

Łódź dn., 16 sierpnia 2017r