

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adriana Czajkowskiego

„Konstrukcja, badania i optymalizacja systemu pomiaru strumienia pracującego w warunkach długookresowego użytkowania w środowisku wody twardej”

Recenzję opracowano na podstawie umowy z Politechniką Śląską nr UMC/1406/2024 z dnia 08.04.2024r.

I. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Łączna objętość pracy to 150 stron z podziałem na 12 rozdziałów. W skład pracy wchodzi także 5 załączników. Zasadnicza część pracy obejmuje 100 stron, 63 rysunki oraz 6 tabel. W treści rozprawy zawarto:

- 1) Cel ogólny i zakres pracy**, gdzie podano motywację podjęcia tematyki oraz cele rozprawy doktorskiej oraz przedstawiono w 11 punktach poszczególne zadania stanowiące zakres pracy.
- 2) Wprowadzenie i uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy**, gdzie rozszerzono motywację podjętej pracy w kontekście Przemysłu 4.0 oraz Cele Zrównoważonego Rozwoju. Dokonano analizy literatury w kontekście tworzenia się wpływu osadu kamiennego na pracę różnych instalacji. Przeanalizowano sposoby usuwania osadu kamiennego. Dokonano krytycznego, pod kątem planowanego zastosowania, przeglądu znanych rozwiązań przepływomierzy. Uzasadniono wybór przepływomierza termicznego, jako rozwiązania spełniającego postawione wymagania do pomiaru masowego wody wysokozmineralizowanej (twardej).
- 3) Koncepcja pomiaru i konstrukcji przepływomierza**, gdzie przedyskutowano koncepcję konstrukcji przepływomierza oraz pomiarów. W szczególności omówiono wpływ grubości osadu kamiennego na wartość stałej czasowej podczas nagrzewania i chłodzenia czujnika temperatury. Następnie przywołano wybrane zagadnienia z

teorii mechaniki płynów, w szczególności dotyczące profili prędkości w kanale, liczb kryterialnych (Reynoldsa oraz Prandtla). Następnie zdefiniowano stałą czasową dla pomiaru temperatury oraz omówiono strategię pomiaru w przypadku istnienia osadu kamiennego.

- 4) **Metodyka badawcza i zakres wykonanych prac**, gdzie omówiono wybór narzędzi badawczych. Do badań numerycznych wykorzystano komercyjny pakiet Ansys-CFX. Następnie omówiono strategię badań, w której wyszczególniono: i) budowę stanowiska eksperymentalnego i pomiary wstępne; ii) budowę modelu numerycznego Ansys CFX i kalibrację modelu; iii) budowę modelu Simscape do modelowania fizycznego i kalibracja modelu; iv) analizy numeryczne potwierdzające lub wykluczające przyjęte założenia, a w szczególności czy możliwe są pomiary stałej czasowej dla wyższych liczb Reynoldsa, w zakresach przepływu burzliwego, gdzie występuje duże nachylenie charakterystyki czasowej.
- 5) **Model numeryczny przepływomierza**, gdzie przedstawiono geometrię numeryczną modelu w dwóch wariantach, przedstawiono wpływ rozmiaru siatki obliczeniowej na wyniki, wybrano odpowiedni model turbulencji, przedyskutowano dobór kroku czasowego, przedstawiono wyniki obliczeń, których głównym wynikiem była wartość stałej czasowej w funkcji liczby Reynoldsa (w zakresie od 1200 do 120000).
- 6) **Fizyczny model Simscape w środowisku MatLab**, gdzie omówiono autorski model sieci fizycznej stworzony w oprogramowaniu Matlab-Simulink oraz szczegółowo omówiono elementy składowe modelu oraz wykorzystane modele matematyczne.
- 7) **Stanowisko laboratoryjne i badania eksperymentalne**, gdzie omówiono i przedstawiono stworzone na cele pracy stanowisko eksperymentalne, w którym zamontowano prototypową wersję czujnika do pomiaru stałej czasowej, przedstawiono wyniki pomiarów chłodzenia czujnika w czasie dla różnych temperatur oraz strumieni przepływu wody. W szczególności wykonano pomiary dla czystego czujnika oraz pokrytego osadem kamiennym. Pomiary wykonano dla niższych zakresów liczb Reynoldsa. Wyniki eksperymentalne wykorzystano do kalibracji modelu stworzonego w środowisku Matlab.
- 8) **Wyniki badań analitycznych**, gdzie zdefiniowano co jest wynikiem pomiaru, jako parametr będący zbliżony do stałej czasowej, przedstawiono charakterystykę pracy czujnika, zaprezentowano fazy pracy czujnika uwzględniając ruch warstwy przyściennej. Przedyskutowano założenia upraszczające dla czujnika oraz parametry wpływu (zmienne ciśnienie oraz temperatura wody), stwierdzono, że wpływ wysokości skoku temperatury powyżej lub poniżej stanu ustalonego nie ma zauważalnego wpływu na uzyskany wynik pomiaru stałej czasowej, a tym samym wyznaczonej wartości przepływu. Omówiono system pomiaru grubości osadu

kamiennego oraz pomiaru strumienia przepływu. Przedstawiono wyliczone stałe czasowe dla różnych grubości osadu kamiennego i ich zależność od strumienia masowego wody. Omówiono błędy interpolacji wynikające z konieczności wyznaczania wartości pośrednich grubości osadu oraz przepływu na podstawie skatalogowanych charakterystyk. Przedstawiono wstępną konstrukcję czujnika w proponowanym przepływomierzu.

- 9) **Analiza potencjalnych błędów pomiarowych**, gdzie przeanalizowano możliwe błędy pomiarowe proponowanego przyrządu i sposobu pomiaru stałej czasowej. Zwrócono uwagę na wpływ dokładności pomiaru czasu w kontekście silnej nieliniowości zmiany stałej czasowej wraz ze strumieniem przepływu wody. Zwrócono uwagę na trudności pomiarowe dla dużych strumieni masowych wody, dla których charakterystyka cechuje się bardzo dużym gradientem. Następnie omówiono błąd nadmiernej długości drogi pomiarowej. Przeanalizowano możliwość optymalizacji czasu pomiaru oraz długości i masy czujnika. Następnie przeanalizowano wpływ miejsca zamontowania przepływomierza w oparciu o obliczenia numeryczne. Zwrócono uwagę na powstającą asymetrię rozkładu temperatury na czujniku znajdującym się blisko przeszkody miejscowej wywołującej zaburzenie przepływu przed czujnikiem (kolanko). Stwierdzono, że zaburzenie wywołane przeszkodą miejscową nie ma znaczącego wpływu na wartość stałej czasowej.
- 10) **Dyskusja osiągniętych celów pracy**, gdzie stwierdzono, że, zakres działania proponowanego rozwiązania przepływomierza sięga wartości liczby Reynoldsa na poziomie 100000. Tym samym stwierdzono, że cel pracy został osiągnięty.
- 11) **Kierunki dalszych prac i badań**, gdzie przedstawiono propozycję przyszłych zadań badawczych obejmujących 10 punktów.
- 12) **Podsumowanie i wnioski końcowe**, gdzie stwierdzono, że zaproponowany system pomiaru strumienia pracującego w warunkach długookresowego użytkowania w środowisku wody twardej jest rozwiązaniem spełniającym założone cele oraz przyjęte wymagania pracy.

II. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

W pracy powołano się na 151 pozycji literatury w skład której wchodzi: wydawnictwa zwarte, artykuły naukowe, instrukcje, raporty oraz zasoby internetu. W literaturze są dwie pozycje, których współautorem jest doktorant: artykuł naukowy, bezpośrednio nie związany z tematyką badawczą zawartą w pracy oraz patent prezentujący "sposób wykrywania wewnętrznego osadu kamiennego w układach hydraulicznych oraz urządzenie do realizacji tego sposobu", który jest związany bezpośrednio z pracą doktorską. Duża część

piśmiennictwa to artykuły naukowe opublikowane w ostatnich latach w renomowanych czasopismach naukowych, zarówno w czasopismach międzynarodowych jak i polskich.

Dobór zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej należy uznać za poprawny i spójny z poruszaną tematyką badawczą.

III. Wskazanie oraz ocena celu pracy

Cel ogólny pracy został sformułowany następująco: „wstępne opracowanie nowej konstrukcji urządzenia do pomiaru przepływu wody użytkowej, wpisującego się w założenia Przemysłu 4.0 i Internetu rzeczy, zdolnego do wieloletniej pracy w trudnych warunkach pomiarowych uwzględniających wodę zakamienioną”, natomiast cel badawczy: „sprawdzenie możliwości wykonania pomiaru strumienia wody metodą termiczną w zakresie przepływu burzliwego za pomocą pomiaru wartości stałej czasowej”.

Cele pracy mają charakter praktyczny jak również badawczy. Dodatkowe założenie, że działanie proponowanego urządzenia pomiarowego powinno cechować się możliwie niską wrażliwością na obecność tworzących się warstw osadu kamiennego, należy uznać za ważne oraz ambitne. Podsumowując, postawione cele pracy są wystarczające dla rozprawy doktorskiej.

IV. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

W pracy zastosowano następujące metody badawcze:

- 1) pomiary eksperymentalne w celu wyznaczenia stałych czasowych w funkcji strumienia masowego przepływu,
- 2) modelowanie numeryczne przepływu w rurze z zamontowanym przyrządem pomiarowym, w środowisku Ansys CFX,
- 3) modelowanie całego systemu w oprogramowaniu Matlab Simscape,

Ad 1. Na potrzeby pracy zbudowano stanowisko eksperymentalne do pomiaru stałej czasowej, w skład którego wchodził autorski czujnik temperatury PCP. W celu uwzględnienia osadu kamiennego podjęto próbę wykorzystania warstwy gipsu oraz zebranego kamienia z czajnika elektrycznego. Ostatecznie do modelowania warstwy osadu wybrano zmatowioną wcześniej taśmę samoprzylepną. Zbudowane stanowisko pomiarowe, konstrukcja elementu grzejnego oraz czujnika temperatury, oraz warstwy osadu należy uznać za poprawne. Do rejestracji zmian temperatury w czasie wykorzystano w pracy 4- kanałowy termometr

YC-747UD. W pracy brak jest informacji o sposobie kontrolnego pomiaru strumienia masowego wody.

Ad 2. Wykonano model numeryczny przepływu w kanale prostym oraz zakrzywionym wykorzystując oprogramowanie komercyjne ANSYS CFX. Wykonano badania zbieżności siatki numerycznej. Nie podano informacji na temat użytego modelu matematycznego (brak równań, opisu)

Ad 3. W pracy stworzono i skalibrowano model fizyczny w środowisku MatLab-Simscape. Do tego celu przyjęto wyniki pomiarów dla niższych liczb Reynoldsa. Dla wyższych liczb Reynoldsa wyniki dopasowano metodą ekstrapolacji.

Zastosowane metody badawcze są poprawne i adekwatne do pracy doktorskiej. Użyte oprogramowanie jest profesjonalne i wykorzystywane w podobnych obliczeniach. Eksperyment zaprojektowany i przeprowadzony prawidłowo.

V. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Badania eksperymentalne zostały omówione w rozdziale 7. rozprawy doktorskiej. Przedstawiają one przebiegi czasowe chłodzenia przepływowego czujnika temperatury PCP w celu wyznaczenia stałej czasowej chłodzenia. Wykonano dwie serie pomiarów, z czujnikiem PCP bez i z izolacją, dla różnych temperatur oraz strumieni masowych. W pracy przedstawiono tylko wybrane przebiegi, brakuje całościowego zestawu wyników w postaci np. tabelarycznej. W pracy stwierdzono, że uzyskane wyniki mają jedynie wartość jakościową i zostały wykonane tylko dla przepływów laminarnych. Następnie wykonano pomiary stałej czasowej czujnika PCP dla przypadku bez osadu i z osadem kamiennym. Wykonano je także tylko w zakresie przepływów laminarnych. Wyniki podsumowano na rysunku 7.8, gdzie do wyników eksperymentalnych dopasowano funkcję ekstrapolując wyniki dla wyższych strumieni masowych wody. W pracy nie podano wzoru dopasowanych funkcji.

W rozdziale 6 zaprezentowano metodologię budowy modelu w środowisku Matlab-Simscape. Przedyskutowano poszczególne elementy zaproponowanego modelu fizycznego, które zaprezentowano na rysunkach 6.2. Poszczególne elementy modelu nie zostały opisane w sposób zadowalający, schematy są nieczytelne. W rozdziale 7.2 przedstawiono rezultat kalibracji modelu Simscape, wykorzystującego wyniki pomiarów rzeczywistych, zostało to przedstawione na rysunku 7.9. Nie do końca jest jasne jaka była procedura kalibracji modelu, zwłaszcza, że jego najbardziej dynamiczna część (dla

najwyższych liczb Reynoldsa) nie była reprezentowana przez eksperyment, niemniej jednak kształt uzyskanych charakterystyk wydaje się racjonalny i poprawny. W rozdziale 8.2 użyto modelu do zbadania wpływu wysokości skoku temperatury powyżej, lub poniżej, stanu ustalonego na wartość symulowanego pomiaru przepływu. Wyniki przedstawiono na rysunkach 8.3 oraz 8.4. Na tej podstawie stwierdzono, że wpływ wysokości skoku temperatury powyżej lub poniżej stanu ustalonego (rys.8.3b, rys. 8.4) nie ma zauważalnego wpływu na uzyskany wynik pomiaru stałej czasowej.

Opis oraz wyniki obliczeń modelu numerycznego, przepływu wody w kanale, z lokalnym grzaniem (modelującym czujnik PCP) zostały przedstawione w rozdziale 5, gdzie przedstawiono wyniki wpływu rozmiaru siatki numerycznej. Ocena wpływu wielkości siatki numerycznej wydaje się dyskusyjna, gdyż badanie zbieżności prowadzi się zagęszczając siatkę do momentu aż nie zmienia się wynik obliczeń. Nie do końca jest jasne co oznacza termin „wartość graniczna uśrednionej temperatury”. Nie jest jasne dlaczego wybrano siatkę G, ponadto zachowanie się „z, mierzonego parametru” zachowuje się niefizycznie, gdyż wraz z gęstością siatki, najpierw rośnie, a później maleje.

W tabeli 5.3 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych, na które składa się zależność stałej czasowej chłodzenia od liczby Reynoldsa w zakresie od 1200 do 120000.

Podsumowując, wyniki badań zostały przedstawione i omówione w sposób akceptowalny, niemniej jednak niska jakość rysunków, oraz brak opisu niektórych ważnych kwestii, utrudnia czytanie pracy w tym zakresie.

Kwestie dyskusyjne zostały przedstawione w punkcie X. recenzji.

VI. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Uzyskane wyniki badań mają wysoką wartość, jeżeli chodzi o ich praktyczne zastosowanie. Mogą się bezpośrednio przyczynić do budowy komercyjnego czujnika PCP do bezinwazyjnego pomiaru wody w instalacjach sanitarnych, (oraz innych pracujących w podobnych reżimach). Dodatkowo, należy podkreślić, że przepływomierz został opracowany z myślą o pracy w środowisku, gdzie istnieje duże ryzyko powstawania osadu kamiennego. Zaproponowane rozwiązanie uzyskało ochronę patentową

VII. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

Kwestie dyskusyjne zostały przedstawione w punkcie X. recenzji

VIII. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Cel i zakres rozprawy doktorskiej mają zarówno charakter poznawczy jak i stosowany. Pomimo istnienia wielu sposobów pomiaru strumienia przepływu wody, zaproponowana metoda jest rozwiązaniem oryginalnym, w szczególności w zakresie detekcji osadu kamiennego oraz możliwości prowadzenia pomiaru mimo istnienia osadu kamiennego. Poprawna i efektywna kalibracja zaproponowanego czujnika PCP wymagała przeprowadzenia badań eksperymentalnych, na potrzeby których stworzono autorski czujnik PCP. Do oryginalnych osiągnięć Doktoranta można zaliczyć:

- 1) zbudowanie dedykowanego stanowiska pomiarowego, w szczególności autorskiego prototypu przepływomierza PCP,
- 2) zdefiniowanie i zbudowanie autorskiego modelu fizycznego w środowisku Matlab-Simscape, uwzględniającego pomiar przepływu uwzględniającego pomiar grubości osadu kamiennego,
- 3) przeprowadzenie szeregu symulacji, pokrywających szerokie spektrum parametrów, w celu dokonania kalibracji czujnika PCP,
- 4) opracowanie metodologii pomiaru strumienia wody uwzględniającej pomiar grubości osadu kamiennego,
- 5) zaproponowanie konstrukcji przepływomierza PCP.

Podsumowując, rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dotyczącego możliwości przeprowadzenia nieinwazyjnego pomiaru strumienia wody uwzględniającego osad kamienny, wykorzystując tylko jeden parametr, stałą czasową chłodzenia, aczkolwiek w dysertacji nie zdefiniowano w sposób jawny tezy pracy.

IX. ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w sposób zadawalający. W rozdziałach 2 i 3 opisano istniejące metody pomiarowe strumienia wody, dokonano krytycznej analizy, w celu wyboru rozwiązania docelowego. Przedstawiono problem powstawania oraz metody usuwania osadu kamiennego z rur. Omówiono wybrane

zagadnienia związane z mechaniką płynów oraz innych zjawisk związanych z tematyką pracy.

Prace przeprowadzone w ramach rozprawy doktorskiej zawierają budowę autorskiej instalacji eksperymentalnej wraz z uproszczonym prototypem przepływomierza PCP, zdefiniowanie i budowę autorskiego modelu fizycznego w środowisku Matlab-Simscape oraz przeprowadzenie obliczeń numerycznych przepływu w kanale. W ramach pracy wykonano badania eksperymentalne jak również modelowe, oraz przeprowadzono poprawną dyskusję wyników. Na tej podstawie można stwierdzić, że Doktorant posiada wszechstronne i wysokie umiejętności prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

X. Inne uwagi oraz elementy dyskusyjne

- 1) Niestaranne i nieczytelne rysunki, w szczególności zbyt mała czcionka, błędy w jednostkach, brak wyjaśnienia symboli i skrótów pojawiających się na rysunkach. Znacząco utrudnia to czytanie pracy.
- 2) Niestety żadna część prac badawczych i wyników nie została opublikowana w czasopiśmie naukowym ani w materiałach konferencyjnych.
- 3) W pracy zamiennie używa się pojęcia przepływu laminarnego oraz podwarstwy laminarnej podwarstwy lepkiej, jakby było to tym samym.
- 4) Wzór 3.1, należy doprecyzować, że chodzi o średnią prędkość płynu.
- 5) Przepływ turbulentny niekoniecznie opisuje stwierdzenie „... płyn porusza się chaotycznie, tworząc zawirowania”.
- 6) Strona 32: w pracy napisano: „Dla płynów i gazów jest zdefiniowana równaniem”, raczej chodzi o: cieczy i gazów, bo w mechanice płynów, termin „płyn” oznacza zarówno gaz jak i ciecz.
- 7) Strona 33: myśl zawarta w akapicie „Wysokie wartości liczby Prandtla wskazują, że przewodnictwo cieplne jest bardziej efektywne niż transport pędu, co jest typowe dla gazów. Natomiast niskie wartości oznaczają, że przenoszenie pędu jest bardziej znaczące niż przewodnictwo cieplne, co ma miejsce w przypadku cieczy. Dla powietrza, wartość liczby Prandtla w przybliżeniu wynosi 0.71, podczas gdy dla wody wynosi około 7 i nie jest zależna od ciśnienia i temperatury.” wydaje się logicznie sprzeczna. W pierwszej części napisane jest, że wysokie wartości Pr są typowe dla gazów, w drugiej stwierdzono, że Pr dla gazów wynosi 0.71.
- 8) W pracy wykorzystano oprogramowanie Ansys CFX, jednak nigdzie nie opisano użytego modelu matematycznego, wykorzystanych równań, itd.
- 9) Rozdział 4.1, odnośnie obliczeń numerycznych stwierdzono „Ta metoda badawcza nie nadaje się do masowych obliczeń z wykorzystaniem szerokiego zakresu

zmienności parametrów ze względu na nieakceptowalnie długi czas obliczeń tak wielu przypadków.” Stwierdzenie zbyt mocno sformułowane, owszem nadaje się oraz jest szeroko używana do badań przepływów w szerokim zakresie parametrów.

- 10) W pracy przedstawiono tylko wybrane przebiegi (np. rysunki 7.6, 7.7) brakuje całościowego zestawu wyników w postaci np. tabelarycznej.
- 11) W pracy stwierdzono, że uzyskane wyniki mają jedynie wartość jakościową i zostały wykonane tylko dla przepływów laminarnych. Czy dla przepływów laminarnych są także tylko jakościowe? Czy mogły służyć do kalibracji modeli matematycznych?
- 12) Nie do końca jest uzasadnione stwierdzenie: „Przeprowadzone pomiary są natury jakościowej, a nie ilościowej. Ograniczone możliwości badawcze pozwoliły na rejestrację przepływów jedynie w zakresie przepływu laminarnego (wysokie stałe czasowe).” Jak wysokie? Czy raczej zbyt niskie stałe czasowe?
- 13) Ocena wpływu wielkości siatki numerycznej wydaje się dyskusyjna, gdyż badanie zbieżności prowadzi się zagęszczając siatkę do momentu aż nie zmienia się wynik obliczeń. Nie do końca jest jasne co oznacza termin „wartość graniczna uśrednionej temperatury”. Nie jest jasne dlaczego wybrano siatkę G, ponadto zachowanie się „z, mierzonego parametru” zachowuje się niefizycznie, gdyż wraz z gęstością siatki, najpierw rośnie, a później maleje.
- 14) Rysunek 5.2: jak wytłumaczyć, że parametr nie zbiega monotonicznie to wartości granicznej, co powinno mieć miejsce wraz z zagęszczeniem siatki, z definicji najgęstsza siatka daje najbardziej wiarygodne wyniki.
- 15) Rozdział 5.3: Z pracy wynika, że na wylocie założono model adiabatyczny, co to oznacza? W pracy nie ma przedstawionych wszystkich warunków brzegowych, co jest kluczowe dla odtworzenia obliczeń.
- 16) Rozdział 5.3: Z treści pracy wynika, że grzałka generowała ciepło objętościowo, wskazuje na to jednostka W/m³, czy było tak w rzeczywistości?
- 17) Rozdział 5.3: W pracy stwierdzono: „Zależność liczby Reynoldsa i strumienia od stałej czasowej pozornie jest oczywista, jednak jak można zauważyć na wykresie, obszar przepływu burzliwego występuje przy wyższej Re, aniżeli wskazuje na to literatura”, nie jest jasne jak można wyciągnąć taki wniosek z rysunku 5.6.
- 18) Rysunek 7.8, jaka była grubość warstwy osadu? Czy badania były prowadzone dla różnych grubości warstw osadu?
- 19) Rysunek 7.8, Czy linie na wykresie są aproksymacją (jaki jest wzór tej aproksymacji)? czy wynikami modelu?
- 20) W pracy stwierdzono: „Wstępne charakterystyki potwierdzają zależności obliczone poprzez model numeryczny. Pomiary wykazały zależność chłodzenia pierścienia od strumienia przepływającego płynu (w tym wypadku wody).” Gdzie w pracy są te

charakterystyki ? Jaka była zgodność numeryki z pomiarami ? Czy przeprowadzono analizę błędów pomiarowych?

- 21) W pracy stwierdzono: „Zauważono podobnie jak w modelu obliczeniowym przesunięcie przepływu turbulentnego w kierunku wyższych wartości Re ”, na jakiej podstawie ? Nie jest to zbyt jasno wyjaśnione w pracy. Występowanie podwarstwy laminarnej niekoniecznie oznacza, że przepływ jest laminarny.
- 22) Rozdział 7.2, W pracy stwierdzono: „zgodność fragmentu charakterystyki jest wystarczająca do potwierdzenia poprawności modeli. Wydaje się to być wystarczająco racjonalne założenie, zgodność chociażby fragmentu charakterystyki w tak złożonym modelu nie może wynikać z przypadku.” Nie wydaje się to być wystarczającym argumentem, zwłaszcza, że brakuje punktów pomiarowych w najbardziej dynamicznej części charakterystyki.
- 23) Rysunek 7.9, nie wyjaśniono oznaczeń legendy przez co rysunek jest nieczytelny.
- 24) Rysunek 8.2, nie wyjaśniono kolejnych faz przepływu: a,b,c,d,e,f.
- 25) Rysunek 8.6, jest jednym z głównych wyników pracy, wyniki te są jednak mało czytelne i niezbyt dokładnie omówione w pracy. Między innymi można zauważyć, że poszczególne krzywe, w ramach tego samego ciśnienia, charakteryzują się różną dynamiką chłodzenia. Jak jest tego interpretacja fizyczna ?
- 26) Rozdział 8.4, jak był liczony błąd pomiaru z rysunku 8.8 ?
- 27) W rozdziale 8.4 stwierdzono „Charakterystyki będące wynikiem pomiarów wykazują przebieg tożsamy jakościowo i bardzo zbliżony ilościowo z modelem numerycznym.”, gdzie jest to pokazane/widoczne ?
- 28) Rysunek 8.9 jest niejasny. Jak/gdzie jest odczytana stała czasowa z wykresu (jakiego wykresu?) oraz stała czasowa z pomiaru. Z legendy można się domyślać, że są to przebiegi dla przypadku z/bez kamienia ?

XI. Podsumowanie

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Adriana Czajkowskiego powstała w ramach Doktoratu Wdrożeniowego. Przedstawia ona rozwiązanie ważnego problemu praktycznego, ale również ma wysoki walor badawczy. Opracowana metoda oraz metodologia pomiarowa ma wysokie walory aplikacyjne i jest potencjalnie ważna z punktu widzenia optymalizacji pracy sieci przepływowych, niekoniecznie ograniczonych do sieci sanitarnych.

Autor dysponuje niezbędnym zasobem wiedzy teoretycznej oraz praktycznej w obszarze przeprowadzonych badań i swobodnie tą wiedzę stosuje. Zdobyty zakres wiedzy teoretycznej Autor użył do wykonania oryginalnych i trudnych badań eksperymentalnych

oraz modelowych. W mojej opinii recenzowana rozprawa jednoznacznie wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktoranta zadań badawczych.

Ponadto uważam, że praca w pełni mieści się w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka i spełnia warunki zawarte w ustawie o stopniach i tytułach naukowych. Zamieszczone w recenzji uwagi krytyczne oraz dyskusyjne nie umniejszają jej wartości merytorycznej. Moja ogólna ocena pracy doktorskiej mgr. inż. Adriana Czajkowskiego jest jednoznacznie pozytywna. Należy podkreślić, iż wykonane urządzenie pomiarowe uzyskało złoty medal podczas Międzynarodowych Targów Wynalazków Kaohsiung International Invention and Design EXPO 2020 (KIDE) na Tajwanie oraz srebrny medal podczas Wystawy Wynalazków IIDC – International Invention and Design Competition 2020 w Hongkongu.

XII. Wniosek końcowy

Wnioskuje o przyjęcie rozprawy doktorskiej Adriana Czajkowskiego pt.: „*Konstrukcja, badania i optymalizacja systemu pomiaru strumienia pracującego w warunkach długookresowego użytkowania w środowisku wody twardej*” i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ziemowit Malecki