

Wpłynęło: Data 20 SIE 2018  
Ldż. 363 WIM Dan

dr hab. inż. Szymon Grymek  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Gdańska  
ul. G. Narutowicza 11/12  
80-233 Gdańsk  
sgrymek@pg.edu.pl

Gdańsk, 18.07.2018

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Emila Smyka

### *Sterowanie strumieniem osiowosymetrycznym za pomocą strumienia syntetyzowanego*

PROMOTOR: dr hab. inż. Kazimierz Peszyński, prof. UTP

PODSTAWA PRAWNA: Pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy  
z dnia 18.06.2018 wraz z Umową o dzieło 72/WIM/2018.

### TEMATYKA ROZPRAWY

W przedstawionej rozprawie można wyróżnić dwa główne obszary badań: sterowanie przepływem (a dokładniej – kierunkiem przepływu) gazu oraz generowanie strugi syntetyzowanej.

Sterowanie przepływem płynów, zarówno jego natężeniem jak i kierunkiem, jest jednym z podstawowych zadań w inżynierii mechanicznej. Aktywne sterowanie kierunkiem przepływu gazu realizowane jest z wykorzystaniem zaworów rozdzielających (rozdzielaczy). Dla niedużych strumieni objętościowych już dzisiaj istnieje możliwość zastosowania rozdzielaczy (zaworów) płynowych. Nie mają one elementów ruchomych, co przekłada się na wzrost trwałości i niezawodności całego układu, a ich miniaturyzacja może pójść o wiele dalej niż klasycznych rozdzielaczy i dać możliwość wykorzystania w MEMS.

Technika strugi syntetyzowanej znalazła dotychczas zastosowanie w wielu dziedzinach: lotnictwie, motoryzacji, chłodnictwie i wymianie ciepła, sterowaniu warstwą graniczną, łożyskowaniu i innych, a prace badawcze i rozwojowe nad sposobami generowania strugi należą, jeżeli chodzi o pneumatykę, do jednych z intensywniej prowadzonych.

W rozprawie Doktorant synergicznie łączy oba obszary. Badając osiowosymetryczny trójdrogowy rozdzielacz płynowy oraz nowatorskie konstrukcje generatorów strugi syntetyzowanej zmierza ku rozdzielaczowi, w którym przepływ sterujący (doprowadzany dotychczas z zewnętrznego źródła) będzie zastąpiony przez strugę syntetyzowaną (jej generator będzie wbudowany w rozdzielacz).

Uwzględniając powyższe uważam, że wybór tematu pracy doktorskiej jest trafny, aktualny naukowo i ważny z technicznego punktu widzenia.

### STRUKTURA I ZAKRES ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr. inż. Emila Smyka pt. „Sterowanie strumieniem osiowosymetrycznym za pomocą strumienia syntetyzowanego” składa się z 6 rozdziałów, bibliografii, 4 załączników, spisu treści, wykazu oznaczeń oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Całość została zaprezen-

wana na 116 stronach jako zwarta pozycja książkowa. Bibliografia obejmuje 93 pozycje, w tym 5 z udziałem Doktoranta. Dodatkowo, co uważam za istotne, na stronie 2. znajduje się informacja że badania zostały zrealizowane dzięki finansowaniu w ramach programu „Diamentowy Grant”.

W **rozdziale pierwszym** (6 stron) zawarto krótkie wprowadzenie wraz z opisem stanu zagadnienia, hipotezę badawczą, dodatkowe cele naukowe i użyteczne oraz zakres rozprawy.

W **rozdziale drugim** (14 stron) przedstawiono terminologię i wybrane zagadnienia dotyczące strug syntetyzowanych i zaworów osiowosymetrycznych oraz rysunek obiektu badań (rozdzielacza) wraz opisem zasady działania.

W **rozdziale trzecim** (7 stron) opisano czujniki i metody pomiarowe stosowane w badaniach oraz ogólny plan badań wraz określeniem wymuszeń i wielkości mierzonych.

W **rozdziale czwartym** (34 strony) przedstawiono schematy stanowisk badawczych i wyniki badań własnych poświęconych analizie dwuelementowego generatora strugi syntetyzowanej. W kolejnych trzech podrozdziałach: porównano generatory dwuelementowe i jednoelementowe, określono możliwości sterowania prędkością strugi syntetyzowanej przez zmianę przesunięcia fazowego pomiędzy prądami zasilającymi elementy wykonawcze oraz określono wpływ zmiany dwóch wybranych cech konstrukcyjnych generatora na parametry strugi syntetyzowanej (badano pięć generatorów).

**Rozdział piąty** (14 stron) jest najistotniejszym rozdziałem z punktu widzenia uzasadnienia sformułowanej hipotezy. W podrozdziale 5.1 zbadano, wyznaczając profile prędkości strumienia głównego wzdłuż dwóch wzajemnie prostopadłych prostych przechodzących przez oś dyszy i do niej prostopadłych, osiowosymetryczność dyszy. W podrozdziale 5.2 wyznaczono, dla trzech różnych wartości strumienia objętości oraz pięciu wartości mocy czynnej zasilania generatora, wpływ strugi syntetyzowanej na profil prędkości strumienia głównego. Na tej podstawie stwierdzono, w jakich przypadkach przesterowanie strumienia głównego jest wystarczające. W kolejnym podrozdziale opisano konstrukcję rozdzielacza zbudowanego z wykorzystaniem badanej wcześniej dyszy. Skonstruowany rozdzielacz przebadano określając skuteczność przesterowania. Stwierdzono, że skuteczność ta spełnia zdefiniowane w pracy kryterium, co jednocześnie dowodzi słuszności postawionej hipotezy.

**Rozdział szósty** (6 stron) jest podsumowaniem rozprawy. Zawiera zestawienie osiągnięć badawczych i wskazuje kierunki dalszych badań.

Po zestawieniu bibliografii w rozprawie zamieszczono cztery załączniki. **Załącznik 1** zawiera dokumentację techniczną (rysunkową) nowo zaprojektowanego rozdzielacza. W **załączniku 2** opisano kalibrację sondy pomiarowej 55P16. **Załącznik 3** przedstawia opis i kod programu (w środowisku SciLab) do obliczeń prędkości charakterystycznej  $U_0$ . **Załącznik 4** to zbiór tablic z wyliczonymi (na podstawie pomiarów) wartościami objętościowych natężeń przepływu.

Strukturę rozprawy można uznać za typową i formalnie poprawną z jednym wyjątkiem – nie wyodrębniono rozdziału zawierającego hipotezę, cele i zakres pracy (jest podrozdziałem w rozdziale 1.). Po przeczytaniu rozprawy nasuwa się nowe spostrzeżenie. W rozdziale 2. i nawet w 3., czyli już po sformułowaniu hipotezy, znajdują się informacje uzasadniające to sformułowanie. W mojej ocenie rozprawa zyskałaby, gdyby zmienić nie tyle zawartość, co strukturę trzech pierwszych rozdziałów.

## OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

### Stan wiedzy i cele rozprawy

W ramach przeglądu stanu wiedzy Doktorant przedstawił zagadnienia dotyczące strug syntetyzowanych i ich generatorów oraz dysz i zaworów osiowosymetrycznych. Opisał ich współczesną wartość użytkową i możliwości rozwoju. Wyjaśnił związaną z nimi terminologię i uwypuklił problemy naukowe hamujące ich rozwój techniczny. Pokazał też, że rozdzielacz płynowy z wbudowanym gene-

ratorom strugi syntetyzowanej nie jest jego autorskim pomysłem, bo został już zaproponowany w patencie [48]. Słusznie zauważył jednak, że jest to patent udzielony na urządzenie, które teoretycznie powinno działać, a nie na działające. To spostrzeżenie stało się osią Jego rozprawy.

Pomijając zastrzeżenia co do struktury trzech pierwszych rozdziałów, całość przeglądu stanu wiedzy właściwie wprowadza czytelnika w problematykę rozprawy i w pełni uzasadnia proponowaną hipotezę. Materiały źródłowe (bibliografia) są aktualne, na odpowiednim poziomie naukowym i ściśle związane z tematyką rozprawy. Za pewną niezręczność można jedynie uznać brak bezpośredniego odniesienia się Doktoranta do rozprawy doktorskiej [24]. Rozprawa ta, w języku czeskim, na tytuł prawie identyczny z niniejszą rozprawą, lecz różni się celami i zakresem.

W kolejnym kroku Doktorant sformułował założenie naukowe, że *istnieje możliwość sterowania strumieniem głównym w dyszy osiowoosymetrycznej za pomocą strumieni syntetyzowanych*. Tak określona hipoteza, choć formalnie poprawna i wynikająca ze stanu wiedzy, po zapoznaniu się z całością rozprawy wydaje się zbyt wąska. Czuł też to chyba Doktorant piszą, że podstawowym celem badań jest udowodnienie słuszności hipotezy (co jest oczywiste) oraz *dowiedzenie, że zastosowanie silownika dwuelementowego zamiast jednoelementowego pozwoli na zwiększenie maksymalnego natężenia przepływu strumienia głównego, przy którym sterowanie nim nadal jest możliwe*.

Doktorant zdefiniował również dodatkowe cele naukowe i użyteczne:

- (1) porównanie generatora akustycznego dwuelementowego z jednoelementowym pod względem prędkości generowanych strug syntetyzowanych oraz sprawności;
- (2) określenie wpływu zamkniętej komory (za membraną) na prędkość generowanej strugi syntetyzowanej;
- (3) wykazanie możliwości sterowania prędkością strugi syntetyzowanej poprzez zmianę wartości przesunięcia fazowego prądu zasilającego poszczególne elementy wykonawcze generatora wieloelementowego;
- (4) wyznaczenie stosunku prędkości (strugi syntetyzowanej i głównej), przy którym następuje przesterowanie zaworu;
- (5) skonstruowanie rozdzielacza płynowego z wbudowanym generatorem strugi syntetyzowanej.

Są one merytorycznie interesujące i spójne z główną osią tematyczną rozprawy.

#### Układy pomiarowe i sterujące

Podstawowymi wielkościami mierzonymi w trakcie badań były prędkość i strumień objętości płynącego gazu (powietrza). Wykorzystywaną do tych pomiarów aparaturę Doktorant opisał w rozdziale 3. Były to:

- anemometr ciepłodrutowy CTA – jednowłóknowa sonda 55P16 wraz z anemometrem termicznym MiniCta 54T30 oraz czujnik temperatury 90P10 z modułem 55T40, wszystko firmy Dan-tec Dynamics;
- anemometr wiatrakowy *testo* 491 – przy podawaniu dokładności tego przyrządu chyba wkradła się mała nieścisłość;
- rotametry firmy VEB MLW Prüfgeräte - Werk Medingen Sitz Freital;
- termiczny miernik przepływu 4045 firmy TSI.

Tak dobrana aparatura pomiarowa wydaje się właściwa do rodzaju i zakresu prowadzonych prac badawczych. Jediną kwestią sporną, którą sformułowałem w pytaniach do Doktoranta jako problem (1), jest sposób wyznaczania współczynników funkcji kalibracyjnej anemometru CTA.

W rozdziale 4. Doktorant przedstawił schemat i opis układu zasilania generatora strug syntetyzowanych wraz z układem pomiaru mocy oraz jego wariant przystosowany do sterowania generatorem wieloelementowym z przesunięciem fazowym sygnałów zasilających. Trzon sterowanego układu zasilania stanowią: arbitralny generator funkcji Rigol DG4162 i wzmacniacz SeoUm Sa-3180B. Struktura układu zasilania i dobór jego elementów nie budzą wątpliwości do poprawności i skutecz-

ności ich działania. Co więcej, opisane w rozprawie odłączanie oscyloskopu (używanego w układzie zasilania do ustawiania przesunięcia fazowego) w trakcie pomiarów świadczy o pewnym doświadczeniu Doktoranta jako „pomiarowca”.

### Badania generatorów strugi syntetyzowanej

W pierwszym etapie prac nad strugami syntetyzowanymi jako potencjalnymi strugami sterującymi Doktorant przedstawił badania porównawcze osiąarów trzech konfiguracji osiowosymetrycznego akustycznego generatora: z jedną membraną, z jedną membraną i zamkniętą komorą oraz z dwoma membranami.

Badania eksperymentalne poprzedził analizą teoretyczną wpływu zamkniętej komory za generatorem na jego osiągi. Niestety, tej analizy nie można uznać za udaną co najmniej z kilku powodów:

- założenia i uproszczenia są niepełne, a niektóre wręcz mylące;
- cel wyprowadzenia zależności 4.8 jest niejasny i chyba niespójny z modelem na rysunku 4.4;
- do wyliczenia początkowej wartości siły naporu na tłok, przy znanej jego powierzchni i znanym ciśnieniu początkowym, nie jest potrzebne równanie stanu gazu doskonałego;
- równanie stanu gazu doskonałego podane jako zależność 4.2 jest błędne – brak ilości materii (w tym przypadku liczby moli gazu).

Ze względu na wątpliwą poprawność oraz marginalny wpływ na wnioski dotyczące tego etapu badań, analizę tę można uznać za niebyłą. Chcąc jednak zrozumieć motywację Doktoranta co do celowości tych rozważań sformułowałem swoją prośbę o korektę tego punktu rozprawy (4.1.1) jako problem (2) w pytaniach do Doktoranta.

W ramach badań eksperymentalnych Doktorant we właściwy sposób wyznaczył dla każdej konfiguracji generatora aproksymacyjną zależność charakterystycznej prędkości strugi syntetyzowanej od mocy zasilania. Wykorzystując te zależności poprawnie wyliczył przebiegi osiąarów (strumień pędu, strumień energii kinetycznej, sprawność). Ostatecznie wysnuł logiczny wniosek, że stosowanie generatora z dwoma elementami wykonawczymi jest korzystne pod względem energetycznym. Co więcej wykazał synergiczny efekt połączenia generatora z jedną membraną i generatora z zamkniętą komorą w generator z dwoma membranami. Prędkość charakterystyczna strugi syntetyzowanej tego ostatniego ma wyższą wartość niż suma algebraiczna wartości prędkości dwóch pierwszych generatorów. Po tym etapie można uznać, że Doktorant osiągnął deklarowane przez niego cele (1) i (2).

W drugim etapie prac Doktorant oceniał możliwość sterowania prędkością strugi syntetyzowanej poprzez zmianę przesunięcia fazowego prądów zasilających elementy wykonawcze generatora z dwoma elementami wykonawczymi. Takie sterowanie wydaje się atrakcyjniejsze (łatwiejsze w realizacji technicznej) niż sterowanie poprzez zmianę mocy czynnej prądu elektrycznego zasilającego generator. Niestety eksperymenty na stanowisku badawczym wykazały, że zmiana przesunięcia fazowego prądów zasilających poszczególne elementy generatora negatywnie wpłynęła na wartość prędkości maksymalnej strugi syntetyzowanej. Z uwagi na to Doktorant słusznie zrezygnował ze stosowania tego sposobu sterowania w trakcie dalszych badań. Kończąc ten etap zrealizował deklarowany cel (3).

W trzecim etapie Doktorant przeprowadził badania wpływu cech konstrukcyjnych (średnica dyszy oraz wysokość korpusu) na osiągi generatorów dwuelementowych. Wykonał 5 wersji konstrukcyjnych generatora. We wszystkich elementami wykonawczymi były głośniki uniwersalne SP-6/4SQS firmy Monacor International o mocy znamionowej 3 W oraz impedancji 4  $\Omega$ . Korpusy zaś wykonano metodą druku 3D z polilaktydu (PLA) i obrobiono mechanicznie, aby stępić ostre krawędzie.

Badania wykonano przy zasilaniu prądem elektrycznym o częstotliwości od 10 Hz do 1000 Hz.

W trakcie eksperymentów określono częstotliwość naturalną i częstotliwość Helmholtza badanych generatorów; porównano ich wartości z wartościami wyliczonymi według formuł z literatury. Słusznie zauważono, że żadne z dotychczas stosowanych formuł nie są zadowalająco dokładne w przy-

padku generatorów wieloelementowych. Następnie dla wszystkich generatorów wyznaczono współczynnik CR (współczynnik sprzężenia) i na podstawie jego wartości (zawsze większej od 1) wysnuło ostrożny wniosek, że prawdopodobnie prędkość charakterystyczna strugi syntetyzowanej będzie tym wyższa im mniejsza będzie objętość komory roboczej. Potwierdzało by to znany z literatury model matematyczny [61]. Równie ostrożnie stwierdzono, że mniejsze wartości wysokości korpusu generatora i średnicy dyszy korzystnie wpływają na osiągi energetyczne (sprawność oraz strumień energii kinetycznej) generatora.

Całość badań eksperymentalnych wydaje się nie budzić zastrzeżeń. Ostrożność we wnioskowaniu również znajduje moje uznanie. Jak podaje Doktorant, jest ona uzasadniona złożonymi zjawiskami zachodzącymi w generatorze i niezbyt licznymi, w jego ocenie, eksperymentami.

### Badanie dyszy osiowosymetrycznej i rozdzielacza płynowego

Badania dyszy osiowosymetrycznej Doktorant poprzedził sprawdzeniem czy rzeczywiście jest ona osiowosymetryczna. W tym celu wyznaczono profile prędkości przepływu w dwóch wzajemnie prostopadłych i przechodzących przez oś dyszy płaszczyznach. Profile prędkości znacząco różniły się. Poprawnie wyjaśniono przyczyny tych rozbieżności i słusznie stwierdzono, że ich wpływ na wyniki badań będzie pomijalny.

W dalszej części badań określono wpływ strugi sterującej, będącej strugą syntetyzowaną, na przepływ główny w dyszy osiowosymetrycznej. Eksperymenty przeprowadzono przy trzech wartościach głównego strumienia objętości oraz pięciu wartościach mocy zasilania generatora strugi syntetyzowanej. Ich celem było wykazanie, że istnieje możliwość sterowanej zmiany głównego strumienia objętości wpływającego z dyszy od co najwyżej 25% do ponad 75%. Polegały na wyznaczeniu dla różnych kombinacji sygnałów wejściowych profilu prędkości w jednej płaszczyźnie na wylocie z dyszy. Na tej podstawie wyliczono wartości dwóch wirtualnie zdefiniowanych strumieni objętości. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie minimalnego stosunku prędkości (strugi syntetyzowanej i głównej), przy którym następuje przesterowanie zaworu – realizacja celu (5) – oraz pierwsze potwierdzenie słuszności postawionej hipotezy.

Chociaż badania nad dyszą osiowosymetryczną uważam za poprawną, a wnioski z nich wyciągnięte przez Doktoranta za uprawnione, to dwa zagadnienia wymagają poruszenia. Po pierwsze, Doktorant wszystkie wartości strumieni objętości wyraża w  $[m^3 \cdot s^{-1}]$ , a nie w, jakkolwiek zdefiniowanych,  $[Nm^3 \cdot s^{-1}]$ . W przypadku tych konkretnych badań, przy pomiarze strumienia objętości w jednej płaszczyźnie przekroju dyszy, nie ma to wpływu na dalsze wnioskowanie. Ale nie zawsze tak musi być – stąd moje zainteresowanie wyrażone w pytaniach do Doktoranta jako problem (3). Po drugie, Doktorant zauważył, że dopływający strumień objętości nie jest równy sumie strumieni wypływających. Wyjaśnił to w następujący sposób: *Jest to spowodowane wzrostem turbulencji przepływu, które wzbudzone są przez strumień sterujący*. Trudno się z tym zgodzić. Jeżeli strumienie nie zostały sprowadzone do warunków normalnych, to oczywistą przyczyną jest różnica gęstości; jeżeli zostały to tego stanu rzeczy należy dopatrywać się w błędach pomiarowych oraz asymetrii profili prędkości (o której wspominał sam Doktorant) w połączeniu z wykorzystaniem wzorów (5.2) i (5.3), które zakładają pełną symetrię.

W kolejnym kroku przeprowadzono badania rozdzielacza płynowego z wbudowanym generatorem strugi syntetyzowanej skonstruowanego z wykorzystaniem wcześniej badanej dyszy osiowosymetrycznej. Dla sześciu różnych wartości głównego strumienia objętości oraz trzech różnych wartości mocy zasilania generatora strugi syntetyzowanej zmierzono strumienie objętości w kanałach: wewnętrznym i zewnętrznym. Wyniki badań w większości pokrywają się z wynikami dla samej dyszy i prowadzą do podobnych wniosków. Jedynie bez komentarza pozostawiono fakt różnicy wartości mocy zasilania generatora przy zbliżonych wartościach głównego strumienia objętości w przypadku badań dyszy i rozdzielacza. Prośbę o ten komentarz sformułowałem w pytaniach do Doktoranta

jako problem (4). Po tym etapie badań można twierdzić, że słuszność hipotezy sformułowanej przez Doktoranta została wystarczająco uzasadniona.

### Projekt rozdzielacza płynowego

Jednym z celów (5) użytecznych wskazanych przez Doktoranta był projekt rozdzielacza płynowego z wbudowanym generatorem strugi syntetyzowanej. Cel ten z powodzeniem zrealizował, co opisał (niestety) w wielu miejscach rozprawy – punktach: 4.3, 5.1 i 5.3. W Załączniku 1. zamieścił dokumentację techniczną rysunkową (niestety nie całego rozdzielacza, lecz tylko dyszy osiowoosymetrycznej z wbudowanym generatorem strugi syntetyzowanej bez kanałów wylotowych).

W dokumentacji Doktorant nie ustrzegł się drobnych usterek:

- element na rysunku 18.01.002 ma nazwę *Rdzeń ustalający*, a w tabelce rysunku złożeniowego 18.01.000 – *Rdzeń osiowoosymetryczny*;
- w tabelce rysunku złożeniowego 18.01.000 dwukrotnie występuje numer 13, a brak numeru 11;
- na rysunku 18.01.000 elementy 11, 13 i 14 dobrane zostały z nietypowej (nieдоступnej w Polsce) normy AS1421 (Australian Standard *ISO metric hexagon socket set screws*). Dlaczego nie z norm PN 82314, ISO 4026 lub DIN 913? Taka nietypowa norma może sugerować, że dokumentacja wykonana została *post factum*;
- opis elementu 11 w tabelce rysunku złożeniowego 18.01.000 nie daje możliwości jego doboru;
- brak osi symetrii na rysunkach: 18.01.000 i 18.01.002;
- brak pojedynczych wymiarów na rysunkach: 18.01.004 i 18.01.005;
- brak pomocniczych linii wymiarowych na rysunkach: 18.01.002 i 18.01.003;
- podano pasowania zamiast tolerancji na rysunkach: 18.01.005, 18.01.006 i 18.01.007.

Analiza dokumentacji zrodziła we mnie dwa pytania do Doktoranta: jedno dotyczące przyjętej chropowatości kanałów zaworu, drugie dotyczące możliwości zmiany położenia rdzenia 2. Oba pytania sformułowałem w kolejnym punkcie jako problemy (5) i (6).

Mimo podanych uwag i usterek pozytywnie oceniam rozwiązanie przez Doktoranta zadania projektowego i uznaję jeden z deklarowanych przez niego celów (5) za osiągnięty.

### Podsumowanie rozprawy

W podsumowaniu rozprawy Doktorant przedstawił skrótoowo zakres wykonanych badań i główne wnioski z nich płynące. Wskazał na te, które uzasadniają prawdziwość postawionej hipotezy. Krytycznie odniósł się do ograniczeń swoich badań (a zatem i wniosków). Za swój wkład w rozwój wiedzy na temat strug syntetyzowanych i aktywnego sterowania strumieniem uznał w szczególności badania nad generatorami dwuelementowymi. Jako perspektywy kontynuacji badań wskazuje głównie opracowanie modeli matematycznych i badania eksperymentalne generatorów wieloelementowych oraz miniaturyzację zarówno generatorów jak i dysz osiowoosymetrycznych.

Całość podsumowania jest spójna, logiczna i zasługuje na akceptację (z wyłączeniem kwestii wynikających z punktu 4.1.1 – analiza teoretyczna wpływu zamkniętej komory na działanie generatora strug syntetyzowanych).

## PODSUMOWANIE PROBLEMÓW WYMAGAJACYCH WYJAŚNIENIA

### Problem (1)

W załączniku 2. opisano kalibrację sondy CTA z wykorzystaniem programu STREAMWARE BASICS. Z opisu wynika, że kalibrację prowadzono w zakresie prędkości od 0 do ponad 20 m/s i wyliczono wartość współczynnika  $n = 0,552519$ . Pojawiające się w rozprawie wartości pomierzonej prędkości są znacznie mniejsze od 20 m/s. Wartości  $n$  podawane w literaturze to 0,45 lub 0,5 (o czym wspomniano w rozprawie). Czy prowadzono próby optymalizacji doboru wartości współ-

czynników funkcji kalibracyjnej ze względu na błąd kalibracji? Jeżeli nie, to jak Doktorant wyobraża sobie taką optymalizację?

#### Problem (2)

W punkcie 4.1.1 rozprawy przedstawiono analizę wpływu zamkniętej komory za generatorem na jego osiągi. Punkt ten wydaje się niejasny, bezcelowy i błędnie zrealizowany. W związku z tym należałoby:

- wyjaśnić generalny cel zamieszczenia tej analizy;
- wyjaśnić, dlaczego formuła 4.8 najlepiej ilustruje ten wpływ;
- skorygować i rozszerzyć założenia i uproszczenia;
- poprawnie wyprowadzić zależność 4.8.

#### Problem (3)

W całej rozprawie strumienie objętości (objętościowe natężenia przepływu) wyrażane są w metrach sześciennych na sekundę ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). W pneumatyce i innych dziedzinach związanych z techniką płynów ściśliwych wyrażane są one najczęściej w normalnych metrach sześciennych na sekundę ( $\text{Nm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Ta „normalność” może być różnie rozumiana – w warunkach normalnych opisanych w: DIN 1344, ISO 2533 lub innych, w warunkach normalnych zdefiniowanych indywidualnie, w warunkach znormalizowanej atmosfery odniesienia ANR według ISO 8778. Czy w ramach badań dokonywano normalizacji strumieni objętości (tylko o tym nie poinformowano)? Jeżeli nie, to co było przyczyną takiej decyzji i dlaczego nie obawiano się jej skutków?

#### Problem (4)

Wyniki badań dyszy osiowosymetrycznej podane w punkcie 5.2 informują, że przy pełnym przesterowaniu (zgodnym z założeniem) dla głównego strumienia objętości  $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  moc zasilania generatora wynosiła 0,5 W (tabela 5.2) bądź 1,0 W (tabela 5.3). Wyniki badań rozdzielacza płynowego przedstawione w tabeli 5.7 prezentują zarówno dla strumienia równego  $0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , jak i równego  $0,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , moc zasilania generatora 2.0 W. Wydaje się, że wymaga to komentarza.

#### Problem (5)

Z dokumentacji technicznej wynika, że dla większości elementów (w tym również dla kanałów rozdzielacza) Doktorant przyjął chropowatość ścianek  $Ra = 1,25 \mu\text{m}$ . Czy przeanalizowano wpływ tej chropowatości na chropowatość hydrauliczną kanałów rozdzielacza? Jaka by musiała być wartość  $Ra$  aby dla tego rozdzielacza i warunków prowadzonych eksperymentów kanały rozdzielacza można było traktować jako hydraulicznie gładkie?

#### Problem (6)

W punkcie 5.1 na stronie 71 Doktorant napisał: „postanowiono zwiększyć rozmiar szczeliny pierścieniowej poprzez cofnięcie rdzenia dyszy o 6 mm.” Patrząc na dokumentację techniczną sposób tego cofnięcia nie wydaje się oczywisty. Jak je technicznie zrealizowano?

### OCENA EDYTORSKA I JEZYKOWA ROZPRAWY

Ocena nomenklatury wykorzystanej w rozprawie jest łatwa jeżeli dotyczy terminów zdefiniowanych w jakichkolwiek dokumentach normatywnych. W pozostałych sytuacjach użycia danego terminu nie można uznać za błąd, co najwyżej za niezręczność powodującą dyskomfort czytelnika i utrudniającą zrozumienie zagadnienia. W przypadku ocenianej rozprawy w takiej sytuacji stawia czytelnika użycie pojęcia „strumień” (w tytule, w hipotezie i wielokrotnie w treści rozdziałów). W pneumatyce (i nie tylko) termin „strumień” kojarzy się z pojęciami: „prędkość”, „intensywność”,

„natężenie” – przykładowo pojęcie „strumień masy” jest tożsamy z pojęciem „masowe natężenie przepływu”. Doktorant używa terminu „strumień” zarówno w sposób uważany przeze mnie za właściwy (na przykład „strumień pędu”), jak i w miejscach gdzie ja zastosowałbym określenia „struga” bądź „przepływ”. Zauważa (w rozdziale 1.), że wielu autorów używa pojęcia „struga syntetyzowana”, a nie „strumień syntetyzowany”, ale go to nie inspirowa do refleksji.

Przechodząc do pozostałych kryteriów oceny walorów edytorskich i językowych muszę stwierdzić, że o ile rysunki i wykresy zamieszczone w rozprawie wykonane zostały starannie i są czytelne, to resztę zawartości cechuje pewna niedbałość o słowo. Wyrazem tego są dość liczne usterki językowe i edytorskie (ważniejsze, zauważone zebrałem w tabeli poniżej). Niektóre z tych usterek (na przykład nr 1 czy 41), przy odrobinie złej woli można by uznać za błędy merytoryczne.

Również angielska wersja streszczenia rozprawy wydaje mi się niskiej jakości. Chociaż nie czuję się ekspertem w tej dziedzinie pozwoliłem sobie umieścić w poniższej tabeli (pozycje 63 do 67) kilka oczywistych i rzucających się w oczy usterek.

Z powyższych względów jakość językową i edytorską całości rozprawy zmuszony jestem uznać jedynie za dostateczną.

NR	STRONA	JEST	POWINNO BYĆ
1	7	strumień pędu, $N \cdot m^{-2}$	strumień pędu, N
2	7	liczba Struhala	liczba Strouhala
3	11	klasyczny zaworów kierunkowy	klasycznych zaworów kierunkowych
4	11	tendencje	tendencję
5	11	Tą zasadę	Tę zasadę
6	12	prędkość generowanych strumieni	prędkości generowanych strumieni
7	12	synchronizacji pracy	synchronizacji działania
8	13	dwuelementowego, oraz	dwuelementowego oraz
9	13	z tył membrany	z tyłu membrany
10	14	w trzecim– badano	w trzecim badano
11	14	zanalizowano	zbadano <i>lub</i> określono
12	14	dyszy, poprzez pomiar profilu prędkości	dyszy wyznaczając profil prędkości
13	14	na pomiarze profilu prędkości	na wyznaczeniu profilu prędkości
14	14	dalszego kierunku rozwoju badań	kierunku dalszego rozwoju badań
15	17	zatem określić jest jako funkcję	zatem określić jako funkcję
16	17	na strumieniu momentu	na strumieniu pędu
17	18	amplitudy pracy elementu wykonawczego $\alpha$	wartości parametru $\alpha$
18	23	Siłownik ... w [68]. Są wyposażone w	Siłownik ... w [68]. Jest wyposażony w
19	23	a ich wizualizacje– [70].	a ich wizualizacje w [70].
20	24	na porwanie prędkości	na <i>poznanie?</i> <i>porównanie?</i> prędkości
21	25	dającą możliwość	dającą możliwość
22	25	pierwszych zaworów osiowosymetrycznych zaworów osiowosymetrycznych	pierwszych zaworów osiowosymetrycznych
23	25	patent [49]	patent [48]



24	29	używane się głównie anemometrów	używa się głównie anemometrów <i>lub</i> używane są głównie anemometry
25	29	ciepłodeutowych	cieplodrutowych
26	29	trybie stałego natężenia przepływu	trybie stałego prądu <i>lub</i> trybie stałego natężenia prądu elektrycznego
27	31	poprzez pomiar	poprzez pomiar
28	32	średnicy pomiarowej $\phi$ 60	średnicy pomiarowej $\phi$ 60
29	32	$u = 0,2 \pm 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$u = 0,2 + 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
30	33	zgodnie z tezą pracy	zgodnie z hipotezą pracy
31	33	pomiar możliwości sterowania	ocena możliwości sterowania <i>lub</i> określenie możliwości sterowania
32	33	przedstawiono ponadto będą badania	przedstawiono będą badania <i>lub</i> przedstawiono ponadto badania
33	34	zbadano wpływu przesunięcia	zbadano wpływ przesunięcia
34	35	Badania zostaną przeprowadzono	Badania zostały przeprowadzone <i>lub</i> Badania przeprowadzono
35	35	rozstrzygnięto o poprawności	rozstrzygnięto o słuszności <i>lub</i> rozstrzygnięto o prawdziwości
36	36	pomiarów oscylator odłączano,	pomiarów oscyloskop odłączano,
37	39	pracowały w częstotliwości	działały z częstotliwością
38	39	periodyczny ruch	okresowy ruch
39	43	przedstawionych na rys. 4.6:	przedstawionych na rys. 4.7:
40	43	przypadek 1 – ... ... przypadek 1 – ...	przypadek 1 – ... ... przypadek 3 – ...
41	44	$0,33 \cdot 10^{-2} \text{ J} \leq M_0 \leq 6,59 \cdot 10^{-2} \text{ J} \dots$ $0,02 \cdot 10^{-2} \text{ J} \leq M_0 \leq 0,22 \cdot 10^{-2} \text{ J} \dots$ $0,54 \cdot 10^{-2} \text{ J} \leq M_0 \leq 15,86 \cdot 10^{-2} \text{ J} \dots$	$0,33 \cdot 10^{-2} \text{ W} \leq E_0 \leq 6,59 \cdot 10^{-2} \text{ W} \dots$ $0,02 \cdot 10^{-2} \text{ W} \leq E_0 \leq 0,22 \cdot 10^{-2} \text{ W} \dots$ $0,54 \cdot 10^{-2} \text{ W} \leq E_0 \leq 15,86 \cdot 10^{-2} \text{ W} \dots$
42	46	trzeciej potęgi prętowości	trzeciej potęgi prędkości
43	48	związek ze nieodpowiednim	związek z nieodpowiednim
44	50	eksperymentów zmierzona wpływ	eksperymentów zmierzono wpływ
45	53	w przypadku zmiana mocy siłownika	w przypadku zmiany mocy zasilania siłownika
46	54	poliaktydu (PLA)	polilaktydu (PLA)
47	54	związku ze konstrukcją	związku z konstrukcją
48	55	na rys. 4.15 $\Phi d$	d
49	63	są $> 1$ ,	są większe od 1,
50	65	zasilanych o prądem o częstotliwości	zasilanych prądem o częstotliwości
51	75	prędkość ... w zakresie $u = 0,07 + 1,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dla $Q_{01}$ , $u = 0,07 + 0,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dla $Q_{02}$ oraz $u = 0,07 + 0,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	prędkość ... w zakresie $u = 0,07 + 1,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dla $Q_{01}$ , $u = 0,07 + 0,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dla $Q_{02}$ oraz $u = 0,07 + 0,53 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

52	76	Tabela 5.2. $Q, m^0 \cdot s^{-1}$	$Q, m^3 \cdot s^{-1}$
53	77	nie są optymalne ani najlepsze, jakie udało się uzyskać jednakże	nie są optymalne, jednakże <i>lub</i> nie są najlepsze jakie udało się uzyskać, jednakże
54	77	oraz do wyznaczyć	oraz wyznaczyć
55	77	w oparciu o badaną dyszę.	z wykorzystaniem badanej dyszy.
56	77	o wymiarach(rys. 5.5):	o wymiarach (rys. 5.5):
57	78	z PCV-U według normy PN EN 1401-1	z PVC-U według normy PN EN 1401-1
58	81	Błąd! Nieprawidłowy odsyłacz do zakładki: wskazuje na nią samą.	W tabeli 5.7.
59	87	niezawodności i finansów.	niezawodności i kosztów.
60	87	zawór	zaworu
61	115	różnego typu zaworach lub rozdzielaczach	różnego typu zaworach sterujących
62	115	przebadani dyszę	przebadano dyszę
63	116	universities centers	university centers <i>lub lepiej</i> university centres
64	116	in Netherlands	in the Netherlands
65	116	and USA..	and the USA.
66	116	valves and flow separator	control valves (zawór rozdzielający $\neq$ flow separator)
67	116	it is the subject of this work	It is the subject of this work.

## PODSUMOWANIE RECENZJI

Zaprezentowana do recenzji rozprawa doktorska ukazuje, że Doktorant analizując stan wiedzy w zakresie napędu i sterowania pneumatycznego dostrzegł **oryginalny problem naukowy**. Problem ten określił **formułując** założenie naukowe (**hipotezę**), że możliwe jest sterowanie osiowosymetrycznym trójdrogowym rozdzielaczem płynowym z wykorzystaniem strugi syntetyzowanej. **Dowiodł słuszności** swego założenia wykorzystując metody doświadczalne, charakterystyczne dla dziedziny *budowa i eksploatacja maszyn*. Prowadząc badania, w szczególności rozważania teoretyczne, nie ustrzegł się przed popełnieniem kilku błędów, lecz nie miały one wpływu na końcową konkluzję co do słuszności hipotezy.

Dodatkowo, w ramach rozprawy, Doktorant zrealizował zadanie inżynierskie – wykorzystując wyniki badań, określił założenia projektowe i skonstruował udany prototyp rozdzielacza płynowego z wbudowanym generatorem strugi syntetyzowanej.

Oczywistym wydaje się stwierdzenie, że Doktorant przy realizacji badań naukowych i zadań inżynierskich musiał wykazać się **dostateczną wiedzą** w zakresie: mechaniki, termodynamiki i inżynierii mechanicznej oraz umiejętnościami w zakresie: techniki pomiarowej, analizy wyników eksperymentu, formułowania wniosków, projektowania urządzeń mechanicznych, technik komputerowych i innych.

Mimo, że strona językowa i edytorska ocenianej rozprawy jest słaba, dało się odtworzyć zakres działań i tok rozumowania Doktoranta. Wymagało to jednak dużego wysiłku oraz cierpliwości. Jeżeli w przyszłości Doktorant nie udoskonał techniki pisanie prac naukowych, to swój niewątpliwą potencjał jako naukowca i inżyniera może zaprzepaścić.

Konkludując, po zapoznaniu się z przedstawioną mi do recenzji rozprawą doktorską oceniam, że Doktorant mgr inż. Emil Smyk **spełnia wymagania** stawiane w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm. Dz. U. z 2005 r. nr 164, poz. 1365 z późn. zm.) i **wnioskuje o dopuszczenie** Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego, a w szczególności do publicznej obrony.

