

Prof. dr hab. inż. Lech J. Sitnik, profesor (em)  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Inżynierii Pojazdów  
Ul. Wyb. St. Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław 2023-07-23

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Artura Krzezińskiego  
p.t. „Analiza wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry strugi  
w zasobnikowym układzie wtrysku silnika o zapłonie samoczynnym”  
wykonana pod kierunkiem promotora pana prof. dr. hab. inż. Kazimierza Lejdy  
oraz promotora pomocniczego pana dr. inż. Adama Ustrzyckiego

Podstawa wykonania recenzji – pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej pana dr. hab. inż. Andrzeja Burghardta, prof. PRz nr RM-530-10-01/18/2023 z dnia 31 maja 2023r oraz umowa nr NN/530/118/2023 z dnia 29 sierpnia 2023.

Praca przedstawiona do recenzji p.t. „Analiza wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry strugi w zasobnikowym układzie wtrysku silnika o zapłonie samoczynnym” wykonana przez mgr. inż. Artura Krzezińskiego pod kierunkiem promotora prof. dr. hab. inż. Kazimierza Lejdy oraz promotora pomocniczego dr. inż. Adama Ustrzyckiego zawiera 156 stron ponumerowanych przy czym rozprawa doktorska zawarta jest na stronach od 5 do 152 natomiast strony 1 do 4 zawierają stronę tytułową oraz podziękowania, natomiast na stronach 153 do 156 zawarte są streszczenia w języku polskim i angielskim.

Na początku rozprawy doktorskiej umieszczono spis jej treści. Treść rozprawy przedstawiono w sześciu rozdziałach, które uzupełniono na początku o spis ważniejszych oznaczeń natomiast na końcu rozprawy zamieszczono spis literatury. Ponadto w rozprawie zamieszczono rysunki ponumerowane wg rozdziałów i tak w rozdziale 2. zamieszczono 27 rysunków, w rozdziale 4. zamieszczono 26 rysunków, w rozdziale 5. zamieszczono 37 rysunków. W podobnej manierze zamieszczono tabele przy czym w rozdziale 2. zamieszczono 6 tabel, w rozdziale 4. zamieszczono 4 tabele, natomiast w rozdziale 5. zamieszczono 23 tabele. Spisu rysunków oraz spisu tabel nie przedstawiono. Spis literatury obejmuje 171 pozycji.

W rozdziale 1. Zatytułowanym WSTĘP autor stara się, na podstawie dość ogólnikowych rozważań, wprowadzić czytelnika w problematykę stosowania silników spalinowych jako źródeł napędu środków transportu oraz maszyn. Wspomina również o zagrożeniu środowiska związkami chemicznymi emitowanymi przez silniki spalinowe.

Rozdział 2. CHARAKTERYSTYKA WTRYSKU PALIWA W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMO-CZYNNYM zawiera 5 podrozdziałów w których łącznie wyszczególniono 10 podrozdziałów. Przedstawiono w nim charakterystykę układów wtryskowych w silniku o zapłonie samoczynnym. Dalej przedstawiono charakterystykę procesu rozpylania paliwa i tworzenie mieszaniny paliwowo-powietrznej, a w szczególności mikro- i makrostrukturę rozpylonego paliwa. Autor przedstawia też opracowane przez siebie wymagania odnośnie paliw do zasilania silników o zapłonie samoczynnym omawiając; wymagania związane z prawidłowym funkcjo-

nowaniem systemu zasilania paliwem, wymagania związane z prawidłowym rozpaleniem paliwa oraz regulacje prawne dotyczące jakości paliw. Charakterystyka paliw stosowanych do zasilania silników o zapłonie samoczynnym to kolejny podrozdział pracy, w którym autor omawia; olej napędowy, biopaliwa i mieszaniny. Rozdział drugi kończy podrozdział, w którym autor przedstawia metody oceny parametrów procesu rozpylania paliw dzieląc je na metody wizyjne i laserowe.

Rozdział 3. CEL I ZAKRES PRACY zawiera trzy podrozdziały, w których autor przedstawia problematykę rozprawy, uzasadnienie wyboru tematyki pracy oraz tezę rozprawy.

Rozdział 4. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI PALIW PODDANYCH ANALIZIE zawiera 3 podrozdziały. Przedstawiono w nich autorski zakres i metodykę badań, charakterystykę stanowiska badawczego oraz analizę wyników.

Rozdział 5. WPŁYW PARAMETRÓW WTRYSKU WYBRANYCH PALIW NA PROCES FORMOWANIA STRUGI zawiera 3 podrozdziały, w których autor przedstawił swój zakres i swoją metodykę badań, charakterystykę stanowiska badawczego oraz własną analizę wpływu parametrów wtrysku na makrostrukturę strugi paliwa.

Rozdział 6. WNIOSKI KOŃCOWE zawiera 3 podrozdziały, w których autor przedstawił opracowane przez siebie wnioski o charakterze poznawczym, użytkowym oraz rozwojowym.

Jak zauważono wyżej, w pracy zawarto również jej streszczenie w języku polskim oraz angielskim.

### Uwagi ogólne

Tytuł pracy „Analiza wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry strugi w zasobnikowym układzie wtrysku silnika o zapłonie samoczynnym” zdaje się świadczyć o tym, iż zamiarem autora jest przeprowadzenie badań, w tym badań z użyciem silnika o zapłonie samoczynnym, Jednak tak nie jest, w istocie swojej, badania są prowadzone ale z użyciem układu hydraulicznego, w warunkach modelowych, istotnie odbiegających od tych jakie panują w pracującym silniku spalinowym.

Dodatkowo autor uzasadniając wybór tematyki pracy (pkt. 3.2.) stwierdza, „Najistotniejsze argumenty, które wpłynęły na wybór tematu rozprawy oraz uwarunkowania, które determinują działania w tym zakresie, to:

- w jaki sposób zastosowanie etanolu wpływa na parametry fizykochemiczne mieszaniny,
- jak właściwe ukształtowanie i rozpad strugi mieszaniny przyczynią się do:
  - wzrostu mocy silnika,
  - zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa,
  - obniżenia emisji substancji szkodliwych.”

z czego jednoznacznie wynika, iż zamiarem autora było prowadzenie badań z wykorzystaniem silnika spalinowego. Potwierdzenie tego przypuszczenia zawarte jest dalej w podpunkcie 3.3. zatytułowanym „TEZA ROZPRAWY” autor stwierdza „mając na uwadze aktualny stan wiedzy odnośnie tego typu paliw, a także generowanych parametrów operacyjnych oraz emisję toksycznych składników spalin, sformułowano następująca tezę dysertacji: **poprzez odpowiedni dobór parametrów wtrysku mieszanin oleju napędowego z etanolem można modyfikować parametry makrostruktury strugi rozpylonego paliwa doprowadzanej do cylindra silnika.”**

Badań z wykorzystaniem silnika nie prowadzono zatem trudno uznać by zapisy te oddawały treść pracy. Ponadto teza jest trywialna gdyż **poprzez „odpowiedni” dobór parametrów wtrysku płynu (np. mieszanin oleju napędowego z etanolem) można, z całą pewno-**

**ścią, modyfikować parametry makrostruktury strugi rozpylonego płynu (w tym paliwa) doprowadzanej do cylindra silnika. Tak postawiona teza nie wymaga dowodu.**

Praca, w swojej istocie, dotyczy formowania strugi płynu po jego przetłoczeniu przez opór hydrauliczny. Analizując treść pracy można dojść do wniosku, iż autor ogranicza się m.in. do kwestii wyznaczenia niektórych parametrów strugi płynu po jego przetłoczeniu przez opór hydrauliczny. Z systemowej analizy<sup>1</sup> wynika natomiast, że parametry strugi zależą od parametrów i właściwości fizycznych płynu przed oporem hydraulicznym, makro- i mikrogeometrii oporu hydraulicznego oraz parametrów płynu zawartego w przestrzeni do której wprowadzana jest struga, a także makro- i mikrogeometrii tej przestrzeni. Dodatkowo jeśli brany jest pod uwagę proces degradacji oporu hydraulicznego istotne są również jego parametry materiałowe. Rozważania dotyczące omawianych kwestii znaleźć można m.in. w Lech Sitnik, *Ekopaliwa silnikowe*” Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004 (ISBN 83-7085-767-1) – nie cytowanej w pracy.

Autor przeprowadził badania modelowe wizualizacji strugi płynu (ppkt. 5.3. rozprawy), w specjalnym stanowisku. Struga formowana była w tzw. komorze wizualizacyjnej, która jak się wydaje (autor nie zamieścił żadnych danych geometrii tej komory) dalece odbiega swą geometrią od geometrii komór spalania w silnikach o zapłonie samoczynnym. Ponadto autor stwierdza (str. 93. rozprawy) „Paliwo było wtryskiwane do komory wizualizacyjnej o stałej objętości, w której panowało ciśnienie atmosferyczne”. Autor nie podaje żadnych informacji o temperaturze panującej w komorze wizualizacyjnej. Biorąc powyższe pod uwagę oraz odnosząc się do warunków wtrysku paliwa w silnikach o zapłonie samoczynnym, gdzie realizowany jest proces wtrysku (przy czym pod pojęciem procesu rozumieć należy, za J. G. Millerem „dynamiczną zmianę energomaterii lub informacji zachodzącą w czasie”) należy stwierdzić, iż opisane w rozprawie badania modelowe przeprowadzone zostały w warunkach tak dalece odbiegających od tych jakie panują w silnikach o zapłonie samoczynnym, że treść rozprawy nie odpowiada w pełni jej tytułowi, który, moim zdaniem, mógłby brzmieć „**Analiza wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry strugi tej mieszaniny**”.

Praca moim zdaniem wymaga przeredagowania. W szczególności, biorąc pod uwagę powyższe, należałoby zastanowić się nad usunięciem ppkt. 2.1. od str. 11 do str. 29. Podrozdział ten nie zawiera żadnych istotnych informacji. Wydaje się, że celowym byłoby podanie jednego wykresu na którym przedstawiono by zbiorczo przebieg ciśnienia oraz masowego (objętościowego) natężenia przepływu paliwa przez wtryskiwacz w funkcji czasu w układach zasilania o różnej konstrukcji. Wykres taki zamieszczony np. w rozdziale 5. rozprawy mógłby być informacją odnośnie tego co jest w jej ramach modelowane i analizowane i z czego wynika zakres i metodyka badań.

Celowym wydaje się również dokonanie zmian układu pracy poprzez przeniesienie do rozdziału 4. podpodrozdziałów z rozdziałów 2. oraz 3. w kolejności

2.3.3. Regulacje prawne

2.4.1. Olej napędowy

2.4.2. Biopaliwa

2.4.3. Mieszaniny

2.3.1. Wymagania związane z prawidłowym funkcjonowaniem systemu zasilania paliwem

2.3.2. Wymagania związane z prawidłowym rozpylaniem paliwa

a dalej oraz dalej to co obecnie jest w punkcie 4. tj. 4.1. ...

---

<sup>1</sup> Lech Sitnik, *Ekopaliwa silnikowe*” Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004 (ISBN 83-7085-767-1)

- Do rozdziału 5. podpodrozdziały z rozdziału 2. w kolejności
- 2.2.1. Makrostruktura strugi rozpalonego paliwa
  - 2.2.1. Mikrostruktura strugi rozpylonego paliwa
- oraz do podpunktu 5.2. podpunkty
- 2.5.1. Metody wizyjne
  - 2.5.2. Metody laserowe.

Ponadto, po lekturze pracy, nasuwają się dalsze uwagi ogólne:

1. w pracy nie zastosowano formy bezosobowej,
2. w całej pracy użyto pojęcia procentowego udziału przy czym, w zasadzie, tylko na rysunkach 5.31 do 5.36 podano, że jest to udział objętościowy (v/v),
3. w większości przypadków, w dyskusji zagadnień, użyto sformułowania „odpowiedni” vide teza pracy oraz np. 6 razy str. 22. – bez podania co jest tym „odpowiednim”,
4. manierą autora jest posługiwanie się cytatami z literatury bez odnoszenia się do nich, (zwłaszcza odnoszenia się krytycznego).

W pracy poruszane są kwestie „ekonomiczne” przy czym poza stwierdzeniami, że występują, nie podano żadnych danych, z których można by wnioskować o ekonomii. Praca, z założenia dotyczy kwestii technicznych – czy zatem godzi się by wspominać o kwestiach ekonomicznych, zwłaszcza, że mieszaniny zawierające węglowodory oraz składniki o niższej wartości opałowej (czasami znacznie niższej – jak np. alkohol etylowy) charakteryzują się również niższą wartością opałową w stosunku do oleju napędowego. Skutkuje to z reguły wyższym ich zużyciem, co w efekcie prowadzi do potencjalnie wyższego kosztu ich stosowania.

### Uwagi szczegółowe

Wracając do omówienia treści pracy (tak jak jest ona przedstawiona do recenzji) należy stwierdzić, że podrozdział 2.2. zawiera bardzo skromny zasób informacji. Przywołano w nim dość bezkrytycznie literaturę, dotyczącą strugi rozpylonego płynu, z roku 1976 [106, 153] czy też roku 1990 [63]. Nie wydaje się by od roku 1990 nie opublikowano prac godnych analizy. Wydaje się natomiast, że autor mógłby scharakteryzować przedstawiane w 2.2. pojęcia własnymi fotografiami strugi z naniesionymi na nie danymi graficznymi – zwłaszcza, że w podrozdziale 5.2. możliwości takie przedstawia.

W podrozdziale 2.3.1. autor przedstawia „Wymagania związane z prawidłowym funkcjonowaniem systemu zasilania paliwem” Wydaje się, że 2.3.1. mógłby być poddany weryfikacji. Weryfikacja dotyczy głównie tego, że przywołane cytaty z literatury np. charakterystyka reologiczna z 1997 [123]. Dzisiejsze paliwa wg normy z roku 2022 [162] z pewnością odbiegają parametrami od tych stosowanych w latach dziewięćdziesiątych zatem celowość przywoływania np. rysunku 2.22 powinna być poddana głębszej analizie.

Szersza uwaga wynikająca z lektury podrozdziału 2.3.1. odnosi się do stosowanego w całej pracy stwierdzenia o fizykochemicznych właściwościach paliwa (mieszaniny). Autor stwierdza (np. str 39) „Spełnienie tych zadań jest uzależnione od właściwości fizykochemicznych oleju napędowego, takich jak [9]

- lepkość,
- gęstość,
- smarność,
- zawartość zanieczyszczeń stałych i wody, właściwości niskotemperaturowe.”,

które z wymienionych właściwości są właściwościami fizycznymi, a które chemicznymi, by je łącznie określić mianem fizykochemicznych.

Rozważań zawartych w 2.3.1. autor nie konfrontuje z wymogami zawartymi w aktualnych normach dotyczących paliwa. Np. na str. 41. Stwierdza „Zwykle zawartość wody w ON nie powinna przekraczać 200 ppm. Czyżby wartość ta różniła się, zdaniem autora, od zapisanej w normie (str. 50 pracy) wartości 200 mg/kg?

W podpodrozdziale 2.3.2. autor stwierdza „Natomiast zbyt duży zasięg strugi paliwa spowoduje, że paliwo będzie się osadzać na ściankach komory spalania i denku tłoka co również powoduje niecałkowite spalanie tworząc nagar.” Jak w takim razie realizowany jest proces spalania w silnikach MAN?

Przywołanie rysunku 2.23. budzi wątpliwości Rysunek ten pochodzi z publikacji z roku 2008 [9]. Zastanawiającym jest, że podano w nim dane odnośnie poszczególnych typów węglowodorów, a nie ich mieszanin, a to mieszaniny węglowodorowe stanowią podstawowy składnik paliw silnikowych. Na rysunku, w przedziale gęstości 0,815 do 0,845, g/cm<sup>3</sup> właściwej dla współczesnego oleju napędowego, nie występuje żadna wartość pomiarowa zatem nie jest pewnym czy przedstawiona aproksymacja jest uzasadniona.

Rozdział 2.4. zatytułowany został „CHARAKTERYSTYKA PALIW STOSOWANYCH DO ZASILANIA SILNIKÓW O ZS”. We wstępie tego rozdziału autor stwierdza m.in. „Silniki o zapłonie samoczynnym mogą być zasilane różnymi paliwami pochodzenia mineralnego roślinnego i syntetycznego [93]”. Powstaje pytanie skąd pochodzą substraty paliw syntetycznych. Dalej autor pisze o oleju napędowym, iż „Składa się on z produktów pochodzących z przeróbki ropy naftowej” – jak to stwierdzenie koresponduje z danymi zawartymi w tabeli 2.4 (str. 50)? W dalszej części wstępu do 2.4. autor stwierdza „Z wymienionych powodów ciągle prowadzi się poszukiwania paliw alternatywnych, które mogą zastąpić częściowo lub całkowicie klasyczne paliwa pochodzące z przeróbki ropy naftowej na rzecz paliw roślinnych.” Choć pogląd taki panował na początku XXI wieku (np. w roku 2008 [139]) to dziś jest on praktycznie nieaktualny. Autor omawiając ustawodawstwo (w 2.3.3.) nie odniósł się do najnowszych trendów i kierunków w UE stąd to przestarzałe stwierdzenia – z drugiej strony jest to skutek bezkrytycznego cytowania prac opublikowanych względnie dawno. Autor używa też dalszych pojęć i tak obok paliw pochodzenia mineralnego roślinnego oraz syntetycznego wymienia również paliwa alternatywne i zastępcze przy czym te ostatnie powstają gdyż istnieje „możliwość wyprodukowania paliwa z krajowych surowców kopalnianych i produktów rolnych.” Może byłoby dobrze ujednoczyć pojęcia opierając się choćby na dostępnym w kraju ustawodawstwie UE – dotyczy to całej pracy, a nie tylko omawianej tu jej części. Wydaje się, że można przyjąć roboczą definicję iż paliwem silnikowym jest płyn którego właściwości odpowiadają wymogom normatywnym.

Na str. 52 rozprawy jest napisane „Czwarta generacja biopaliw jest zagadnieniem przyszłości. Produkcja paliw tej generacji powinna uwzględniać procesy CCS (Carbon Capture and Storage), które polegają na wychwytywaniu i składowaniu węgla na etapie wytwarzania biopaliwa”. Pomieszenie z poplątaniem. CCS jest metodą wychwytu dwutlenku (ditlenku) węgla (CO<sub>2</sub> Capture and Storage), a ditlenek węgla z pewnością nie służy do wytwarzania biopaliw (proszę pokazać instalację do takiej produkcji). CO<sub>2</sub> można wykorzystać do wytwarzania e-paliw powstających z wykorzystania do tego celu wodoru.- vide ustalenia w UE.

Omawiając mieszaniny (ppkt. 2.4.3 str. 53) autor praktycznie nie wspomina o badaniach z wykorzystaniem alkoholi ciężkich np. n-Butanolu. Jest to poniekąd zrozumiałe, gdyż badania nad stosowaniem tych alkoholi przyspieszyły w ostatnich 10 latach, a autor najwyraźniej nie miał sposobności gruntownego zapoznania się z tą problematyką (choć cytuje jedną pracę temu poświęconą [124] z roku 2021. Szkoda, gdyż stosowanie alkoholi ciężkich

eliminuje niedogodności (str. 54) stosowania alkoholi lekkich np. etanolu, a alkohole ciężkie mogą być wytwarzane w tych samych instalacjach co np. etanol).

Kolejnym podrozdziałem rozprawy jest „2.5. METODY OCENY PARAMETRÓW PROCESU ROZPYLANIA PALIW”. Podrozdział ten nie zawiera żadnych istotnych informacji, ponadto nie jest zakończony żadnymi wnioskami np. o przydatności wybranych metod do prowadzenia badań projektowanych w rozprawie. Wydaje się zatem, że po sformułowaniu takich wniosków, podrozdział ten mógłby być przeniesiony do rozdziału 5. Rozprawy.

Treść rozdziału 3. została omówiona wcześniej, zatem można przejść do bardzo istotnego rozdziału 4., w którym autor przedstawia własne badania właściwości paliw. We wprowadzeniu do tego rozdziału autor w swoim stylu stwierdza „Dobór odpowiednich parametrów wtrysku ma wpływ na prawidłową pracę silnika spalinowego, parametry operacyjne oraz czystość emitowanych do otoczenia spalin. Nic dodać nic ująć. Cytuję to zdanie gdyż tego typu stwierdzenia są manierą autora. Jakie są zatem te „odpowiednie” parametry. Co to znaczy prawidłowa praca silnika spalinowego. Jakie są te parametry operacyjne (może odpowiednie oraz prawidłowe). Wreszcie czy we współczesnych silnikach, zwłaszcza o zapłonie samoczynnym, wyposażonych w rozbudowane systemy oczyszczanie spalin – emisje z silników mają podstawowe znaczenie? Dalej autor stwierdza „Aby paliwa zastępcze mogły być wykorzystane do zasilania silnika o zapłonie samoczynnym konieczne jest określenie ich właściwości fizykochemicznych”. Jeśli jakiś płyn mógł być zakwalifikowany do paliwa (również o potocznej nazwie „zastępcze” jego parametry muszą odpowiadać wymogom normatywnym. Zatem jeśli jakiś płyn jest paliwem (nawet „zastępczym”) to nie występuje konieczność badania jego parametrów gdyż robią to powołane do tej czynności certyfikowane jednostki przed dostarczeniem paliwa do odbiorców.

Odróżnianie cieczy palnej od paliwa ułatwiłoby autorowi prowadzenie badań i redagowanie rozprawy doktorskiej .

W normie PNEN 590 zacytowanej w rozprawie na str. 50 (Tabela 2.4.), wymieniono 22 parametry oleju napędowego. Autor stwierdza (str. 69) „zakres badań parametrów paliw obejmował:

- oznaczenie gęstości w temperaturze 15°C,
- oznaczenie lepkości kinematycznej w temperaturze 40°C,
- badanie smarności,
- określenie składu frakcyjnego (w tym wyznaczenie krzywej destylacji),
- oznaczenie temperatury zapłonu,
- oznaczenie temperatury zablokowania zimnego filtra, oznaczenie ciepła spalania oraz dolnej wartości opałowej.”,

autor nie wyjaśnia jednak powodu dla którego badał akurat te sześć parametrów (a nie inne). Trzeba tu wspomnieć, że rozprawa dotyczy analizy wpływu dodatku etanolu na parametry strugi – co rodzi pytanie, które z wymienionych wyżej parametrów są istotne dla oceny strugi płynu. Ponadto autor nie odnosi się do kwestii tego, że ten sam parametr może być oznaczany zgodnie z różnymi normami, np. gęstość może być wyznaczana zgodnie z czterema procedurami zawartymi w trzech polskich normach.

Autor jest nieprecyzyjny w opisach czynności. Na str. 69 podaje „Do mieszaniny zawierających od 5% do 30% etanolu dodano 5% dodecanolu”. Pytanie czy 5% to 5% v/v czy też 5% m/m?

Poważne wątpliwości budzi jednak fakt, iż z treści rozprawy wynika, że poszczególne parametry mieszanin oznaczono jedynie jednokrotnie – Rys. 4.13 do Rys. 4.26. Jest to nie zrozumiałe. Autor dysponował dostępem do aparatury pomiarowej, a wykonanie oznaczeń

z jej wykorzystaniem nie nastęczało większych trudności. Już przebadanie choćby po 6 próbek oleju napędowego np. pobranych na różnych stacjach paliwowych, stanowiłoby podstawową bazę do dalszych rozważań – zwłaszcza, że rozważania zawarte w rozdziale 4. stanowią o warsztacie naukowym autora. Autor wykazał bowiem dowodnie, iż badanie mieszanin zawierających składniki o bardzo zróżnicowanych właściwościach może napotykać na istotne bariery innymi słowy, że procedury i urządzenia adekwatne do oznaczania parametrów oleju napędowego mogą nie być przydatne w oznaczaniu parametrów mieszanin, w których udział węglowodorów nie jest dominujący. Dowód, dotyczący tej uwagi, zilustrowany jest Rys. 4.15 oraz Rys. 4.18 do 4.24. Pod Rys. 1.15 Autor stwierdza (str. 83.) „Jedynie dla paliw o oznaczeniu ON-ET25 oraz ON-ET30 nie udało się wyznaczyć krzywych destylacji. Aby uzyskać dla tych paliw krzywe destylacji należałoby wykonać pomiar w warunkach destylacji przeprowadzonej przy obniżonym ciśnieniu, co wymagałoby zastosowania innej aparatury.” – zatem powyższa uwaga recenzenta wynika explicite z przeprowadzonych badań autora.

Uwaga ta poparta jest również wynikami badań autora dotyczącymi oznaczania smerności mieszanin.

Rys. 4.6. jest rysunkiem obrazującym hipotetyczny przebieg, w funkcji czasu, momentu tarcia  $M_T$  przy narastającym obciążeniu  $P$  wraz z charakterystycznymi punktami momentu  $M_T$  oraz siły  $P_T$  jak też momentu zatarcia  $M_T$  przy sile  $P_{Oz}$ .

Hipotetyczny przebieg jak na Rys. 4.6. zaobserwowano jedynie w odniesieniu do oleju napędowego – Rys. 4.18 oraz oleju napędowego z niewielką domieszką alkoholu etylowego (i dodecanolu) – Rys. 4.19. W pozostałych przypadkach tj. z większą domieszką alkoholu etylowego hipotetyczne przebiegi (Rys. 4.6.) nie występują. Może to oznaczać że zarówno procedura oznaczania jak też analiza wyników w odniesieniu do mieszanin o wyższej zawartości składników innych jak węglowodorowe, nie są możliwe i należy je zweryfikować i zmodyfikować.

W zakończeniu rozdziału 4. Autor stwierdza (w swoim stylu) „Wyniki ciepła spalania oraz wartości opałowej badanych paliw umożliwiają dobranie odpowiedniej korekty czasu wtrysku w celu uzyskania odpowiednich parametrów pracy silnika o zapłonie samoczynnym z zasobnikowym układem zasilania.” – zatem zdaniem autora jeśli eksploatowane są silniki z klasycznymi układami zasilania to już z pewnością nie można dokonać „odpowiedniej” korekty gdyż możliwe jest to tylko w przypadku silników „z zasobnikowym układem zasilania”. Myślę, że zdanie to może być mottem działania rzesz inżynierów zajmujących się rozwojem silników, a przede wszystkim powinno być dyskutowane w UE jako remedium na niedogodności silników spalinowych, które po roku 2035 mają być w UE passe.

Kolejnym rozdziałem rozprawy jest rozdział 5. Jest to z pewnością ten rozdział pracy, w którym przedstawione powinny być badania odnoszące się do tytułu. W rzeczywistości, jak to opisano wyżej, przeprowadzone badania oraz ich wyniki odnosić się mogą do części tytułu. Abstrahując od tego rozdział 5. jest rzeczywistym osiągnięciem autora. Dotyczy to zwłaszcza metodyki przeprowadzonych badań. Trzeba tu stwierdzić bowiem, że w rozdziale tym zamieszczono pełny ich cykl tj. od opisanie programu poprzez wykonanie pomiarów, a na statystycznej ich weryfikacji kończąc.

Z powinności recenzenta trzeba jednak zwrócić uwagę na niektóre niedociągnięcia w tekście. Występują powtórzenia np. str. 93 oraz str. 122.

Z danych zobrazowanych rysunkami 5.7 do 5.13 wynika, że zarejestrowany maksymalny zasięg strugi zależny jest zarówno od składu mieszaniny wtryskiwanej do komory wizualizacyjnej, jak też od geometrii poszczególnych oporów hydraulicznych tj. w tym przypadku otworków rozpylacza. Spostrzeżenie to potwierdzone jest danymi zilustrowanymi rysun-

kami 5.15 do 5.28. Autor nie odnosi się jednak do tej kwestii skupia się na podaniu wartości średnich (i odchyień od nich rys. 5.29 i 5.30). Szkoda gdyż podanie np. chropowatości (które prawdopodobnie są różne w każdym z otworków rozpylacza) mogłoby wnieść wkład do wiedzy o rozpylaniu płynów po ich przetłoczeniu przez walcowy – w założeniu – opór hydrauliczny.

Autor starał się przedstawić (średni) maksymalny zasięg strugi stosowanej mieszaniny oraz średni kąt wierzchołkowy strugi w funkcji udziału etanolu w mieszaninie – Rys. 5.31 do Rys. 5.36. Zamysł należy uznać za interesujący. Przeprowadzono aproksymację wielomianem trzeciego stopnia. Jednak nie podano danych opisujących predykcję modelu. Wydaje się również, że na rysunkach nie podano przedziałów ufności analizowanych średnich – co pozwoliłoby zorientować się o jakości modelu jeszcze przed analizą predykcji.

Należy pozytywnie ocenić starania autora, w których dokonał on analizy istotności wpływu „dwóch czynników wejściowych na czynnik wynikowy” (w ujęciu systemowym powinno być na odpowiedź obiektu). Nie ma większych zastrzeżeń do przeprowadzonych obliczeń – choć podano jedynie ich wyniki końcowe. Natomiast nasuwa się uwaga, że tego typu analizy są stosowane gdy nie ma możliwości budowy modelu matematycznego. Analizy takie opracowano „w erze przedkomputerowej” gdy nie było możliwości prowadzenia szerszych obliczeń. Wadą tego typu analiz jest fakt, iż ew. można ocenić wpływ na przebieg procesu poszczególnych czynników wymuszających ale nie można ocenić wpływu koincydencji tychże czynników.

Na marginesie proszę sprawdzić indeksy w równaniach (5.7) do (5.13), a ponadto wyjaśnić kwestie liczby stopni swobody gdyż z Tabeli 5.21 powinno wynikać, że „stopnie swobody” są identyczne.

W podsumowaniu analizy istotności autor stwierdza, „że lepkość kinematyczna nie ma istotnego wpływu na zasięg maksymalny czoła strugi, natomiast ciśnienie wtrysku ma istotny wpływ na jej maksymalny zasięg.” I dalej, „że lepkość kinematyczna oraz ciśnienie wtrysku nie mają istotnego wpływu na kąt wierzchołkowy strugi”. Rodzi się zatem pytanie jakie czynniki sprawiają, że strugi są różne – vide zdjęcia i wykresy w rozdziale 5. Z tekstu rozprawy wynika jednak, że autor nie jest przekonany co do słuszności statystycznej weryfikacji istotności wpływu poszczególnych czynników i stwierdza (str. 138) „Analizując wyniki badań nie jesteśmy w stanie wykluczyć pośredniego wpływu lepkości kinematycznej na zasięg czoła strugi oraz kąt wierzchołkowy strugi [153]. (1990)”. Warto może by autor zechciał wyjaśnić bezpośredni i pośredni wpływ lepkości kinematycznej oraz kwestię „przecieków” (str. 140) na geometrię strugi.

Treść rozprawy kończy rozdział 6. „WNIOSKI KOŃCOWE”. Autor pogrupował wnioski i przedstawił je jako „6.1. WNIOSKI O CHARAKTERZE POZNAWCZYM”, z 25 podpunktami, „6.2. WNIOSKI O CHARAKTERZE UTYLITARNYM” z 3 podpunktami oraz „6.3. WNIOSKI ROZWOJOWE” – tekst jednolity. Choć wniosków jest względnie wiele, to trudno się z niektórymi pogodzić i przejść nad zawartymi sformułowaniami „do porządku dziennego”.

W preambule rozdziału autor stara się wprowadzić czytelnika w problematyka rozprawy (co powinno mieć miejsce na jej początku we wstępie), podając między innymi „Na wymienione parametry ma wpływ makrostruktura strugi rozpylonego paliwa, która jest zależna od wielu czynników, zarówno właściwości fizykochemicznych paliwa (m.in. gęstość, lepkość), parametrów przebiegu wtrysku (np. ciśnienie wtrysku, struktura rozpylenia oraz konstrukcji i precyzji wykonania elementów rozpylacza.” Z treści rozprawy wynika jednak, że lepkość ma wpływ ale nieistotny, ponadto autor nie prowadził badań struktury rozpylenia (nie analizował wielkości kropeł paliwa i ich zmian w funkcji czasu), w rozprawie nie przed-



stawiono żadnych danych odnoszących się do konstrukcji i precyzji wykonania elementów rozpylacza choćby tego, który został użyty w badaniach własnych.

Nie można bezkrytycznie przyjąć stwierdzenia autora „Również założona teza rozprawy została potwierdzona w badaniach eksperymentalnych”. Teza rozprawy (str. 68) jest trywialna i nie wymaga żadnego „potwierdzenia” nawet w badaniach eksperymentalnych.

Wnioskiem autora, który jest wart podkreślenia jest jego stwierdzenie „określenie właściwości fizykochemicznych badanych mieszanek paliw celem porównania ich parametrów z handlowym olejem napędowym pozwala stwierdzić, że obecne normy odnośnie gęstości, lepkości kinematycznej, składu frakcyjnego oraz temperatury zablokowania zimnego filtra spełniają paliwa, w których dodatek etanolu nie przekracza 25%”. Wniosek ten jest istotny pomimo użycia nazwy „handlowy olej napędowy” zamiast „olej napędowy” (z ew. dodatkiem PNEN 590), oraz że „spełniają paliwa z dodatkiem 25%” (nie wiadomo czy m/m czy też v/v) czyli badane mieszaniny – należy jeszcze raz przypomnieć, że mieszaniny takie mogły by być paliwami gdyby spełniały wszystkie wymogi wymienione w normie PNEN 590 a ich parametry byłyby oznaczone zgodnie z obowiązującymi normami.

Istotnym wnioskiem autora jest, że „wzrost udziału etanolu powyżej 15% powoduje pogorszenie właściwości smarnych, a najniższą smarnością w odniesieniu do handlowego oleju napędowego cechują się mieszaniny zawierające 25% i 30% etanolu.”. Wniosek ten jest co prawda ważny ale sformułowanie autora nieuprawnione. Powinno ono brzmieć, że smarność, wyznaczona w przyjętej procedurze, pozwala stwierdzić, że smarność mieszaniny z zawartością 5% (m/m czy też v/v) etanolu oraz 5% (m/m czy też v/v) zawartością dodecanolu jest wyższa jak smarność oleju napędowego – pytanie czy różnica jest istotna? Dalej należałoby stwierdzić, iż przyjęta procedura wyznaczania smarności nie powinna być stosowana w odniesieniu do mieszanin zawierających powyżej 5% (m/m czy też v/v) etanolu, ze względu na brak jednoznaczności uzyskiwanych wyników pomiarów.

Nie można zgodzić się z wnioskiem „o charakterze użytecznym”, że „uzyskane podczas badań wizualizacyjnych wyniki mogą pozwolić na zoptymalizowanie parametrów wtrysku w celu uzyskania odpowiednich warunków pracy silnika (np. zwiększenie mocy, minimalizacja emisji toksycznych składników spalin itp.)”. Badania modelowe przedstawione w rozprawie zrealizowano w warunkach tak dalece odbiegających od warunków rzeczywistych, a nie podano żadnej skali ich przetworzenia do warunków rzeczywistych, że wniosek ten jest nieuzasadniony.

Kolejną częścią rozprawy jest „LITERATURA”. Cytowane pozycje literaturowe dotyczą głównie zagadnień „ogólno silnikowych”.

Względnie mało jest pozycji dotyczących strugi płynu – 24 pozycje na łącznie 159 (bez norm). tj. 15%, opublikowane są w latach 1976 do 2020, przy czym z ostatnich 5 lat (2017-2022) pochodzą 3 pozycje.

W problematyce wtrysku paliwa zacytowano 1 pozycję z roku 2013.

Kawitacji (procesowi istotnemu w tworzeniu strugi) poświęcono 2 pozycje z lat 2012,2016.

31 pozycji dotyczy kwestii paliw. Są to pozycje z lat 1966-2019, z ostatnich 5 lat cytowano 4 pozycje.

Omawiając smarność paliw zacytowano 11 pozycji z lat 1995-2021 z czego 3 pozycje z ostatnich 5 lat.

Omawiając spalanie paliw zacytowano 45 pozycji z lat 1982-2021, z ostatnich lat 9 pozycji.

Omówieniu konstrukcji silników poświęcono 14 pozycji opublikowanych w latach 1976-2019 przy czym z ostatnich 5 lat pochodzi jedynie 1 pozycja natomiast pozostałe z lat 1976-2009.

Trzeba w tym miejscu przypomnieć, że badań z wykorzystaniem silników nie prowadzono, zatem nie badano również zachodzących w nich procesów spalania.

Zacytowano 26 pozycji dotyczących kwestii które można traktować jako „ogólne”. Cytowane pozycje zostały opublikowane w latach 1974-2017, w tym z roku 2017 1 pozycję.

Kwestiom statystyki (w opracowaniu danych) poświęcono 3 pozycje z lat 1994-2017 (z roku 2017 pochodzi jedna pozycja).

W problematyce chemii zacytowano 1 pozycję z roku 1977 (w pracy bardzo często używa się pojęcia „właściwości fizykochemiczne” więc mała liczba cytowań z dziedziny chemii nieco dziwi).

Ponadto zacytowano 8 norm z lat 1973-2022. Przy czym z ostatnich 5 lat 4 normy, Podkreślić należy, że cytowana norma dotycząca właściwości oleju napędowego (istotnych dla kwestii poruszanych w rozprawie) pochodzi z roku 2022.

4 cytowania dotyczą wiedzy pozyskiwanej z Internetu. Wszystkie są z roku 2023.

Ogólnie na 171 pozycji cytowanych (łącznie z normami) 27, zatem jedynie 15,8% pochodzi z lat 2017-2022.

## Podsumowanie i wnioski

Każda rozprawa doktorska musi, przede wszystkim, spełniać wymagania zawarte w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Dz.U.2023.742 „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”.

Odnosząc wymagania ustawowe do rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Artura Krzeмиńskiego p.t. „Analiza wpływu dodatku etanolu do oleju napędowego na parametry strugi w zasobnikowym układzie wtrysku silnika o zapłonie samoczynnym” stwierdzam, iż mimo uwag krytycznych, spełnia ona, w stopniu zadawalającym, wymagania zapisane w ustawie, a w szczególności

1. **Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata** w dyscyplinie inżynieria mechaniczna **oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej** tj. rozpoznania problemu badawczego, w tym przypadku tworzenia strugi płynu za oporem hydraulicznym, projektowania badań, akwizycji danych oraz ich opracowania (w tym statystycznego) oraz wyciągania i redakcji wniosków,
2. Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, gdyż autor wykazał dowodnie iż współczesne procedury normatywne dotyczące oznaczania właściwości paliw (tu np. smarności) mogą mieć ograniczone zastosowanie jeśli paliwa skomponowane zostaną z przeważającym udziałem innych niż węglowodorowe składników.
3. Recenzowaną rozprawę doktorską stanowi praca pisemna zawierająca 156 stron ponumerowanych przy czym rozprawa doktorska zawarta jest na stronach od 5 do 152 gdzie przedstawiono jej treść w 6 rozdziałach.
4. Do rozprawy doktorskiej dołączono streszczenie w języku polskim oraz w języku angielskim (ma jej stronach 153 do 156).

Biorąc powyższe pod uwagę wnioskuję o przyjęcie w/w rozprawy oraz dopuszczenie do jej publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Lech J. Sitnik