

## OPINIA

o rozprawie doktorskiej **mgr inż. MARCINA KRZYSZTOFA WOJSA**

p.t.:

### **„WPLYW ESTRÓW OLEJU LNIANKOWEGO NA PROCES SPALANIA W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM”**

#### **WPROWADZENIE**

Strategia Unii Europejskiej „Europa 2020” zakłada, że do 2020 roku nastąpi zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 20% w porównaniu do poziomu ich emisji z 1990 roku (30% w przypadku sprzyjających uwarunkowań międzynarodowych) i zmniejszenie rzędu 20% w zakresie zużycia energii w Unii Europejskiej. Zakłada się również udział energii odnawialnej w zużyciu energii ogółem w UE na poziomie 20% oraz 10% jej udział w energii zużywanej przez sektor transportu.

Do przewidywanych na 2050 rok celów w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych, głównie ditlenku węgla z transportu samochodowego, konieczne będzie zastosowanie alternatywnych napędów (np. hybrydowych, elektrycznych) oraz paliw alternatywnych.

Wśród paliw alternatywnych do najbardziej obiecujących obecnie i w perspektywie 2050 roku należą mieszaniny biopaliw i paliw konwencjonalnych, jak też biogaz (biometan). Zwiększająca się liczba pojazdów napędzanych silnikami zasilanymi CNG i LNG postrzegana jest obecnie jako opcja, istotna dla upowszechnienia biometanu.

Pojazdy hybrydowe napędzane silnikami konwencjonalnymi i elektrycznymi, zasilanymi z akumulatorów ładowanych z sieci, znajdą najprawdopodobniej szersze zastosowanie do 2030 roku, może nawet w dalszej perspektywie. Postrzegane są one obecnie jako rozwiązanie przejściowe aż do upowszechnienia pojazdów w pełni elektrycznych i wodorowych. Te ostatnie będą najprawdopodobniej stanowiły przełom w motoryzacji.

Stosowanie paliw pochodzenia roślinnego może stanowić jedną z dróg zmniejszenia negatywnego wpływu eksploatacji silników spalinowych na środowisko naturalne człowieka. Silniki te będą stanowiły jeszcze przez wiele lat najprawdopodobniej, chociażby ze względu na stosowaną obecnie ich liczbę w pojazdach samochodowych i maszynach roboczych, źródło napędu tych pojazdów i maszyn.

Paliwa roślinne są paliwami odnawialnymi i bez wątpienia przyczyniają się do zmniejszenia emisji ditlenku węgla w tzw. cyklu istnienia. Pozbawione są one też związków siarki (ułatwione oczyszczanie spalin), jak też mogą stanowić o poprawie bilansu energetycznego kraju wobec wyczerpywania się zasobów ropy naftowej. Badanie paliw roślinnych to zagadnienie jak najbardziej aktualne.

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Krzysztofa Wojsa wpisuje się w tą aktualność, a przeprowadzone w jej ramach analizy procesów powstawania i spalania mieszanki palnej, wydzielania się ciepła w komorze spalania czy ocena emisji zanieczyszczeń spalin przy stosowaniu estrów oleju lniankowego to zagadnienie poznawczo też aktualne.

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z dwóch części:

- części głównej, będącej zasadniczą rozprawą doktorską,
- części składającej się z załączników do rozprawy doktorskiej.

Część główna rozprawy zawiera 9 rozdziałów, poprzedzonych „Wykazem ważniejszych oznaczeń” i „Wykazem ważniejszych skrótów”, oraz „Wykaz literatury”, zawartych na 114 stronach w tym:

1. Wstęp
2. Nowoczesne paliwa roślinne do silników o zapłonie samoczynnym
3. Wybrane problemy procesu spalania paliw pochodzenia roślinnego
4. Cel i tezy pracy
5. Wybrane zagadnienia modelowania procesu spalania
6. Obiekt badań i stanowisko badawcze
7. Badania empiryczne
8. Analiza wyników badań empirycznych
9. Podsumowanie i wnioski

Część składająca się z załączników zawiera 4 załączniki w postaci wykresów: indyktorowych (zał. A), szybkości wydzielania się ciepła (zał. B), temperatury czynnika roboczego (zał. C), wypalania dawki paliwa (zał. D), umieszczonych na 55 stronach tj. od str. 114 do str. 169. W sumie rozprawa jest napisana na 169 stronach i zawiera 93 cytowane pozycje literaturowe.

Ciąg przedstawionych zagadnień w poszczególnych rozdziałach rozprawy jest logiczny i prowadzi do zamierzonych efektów tj. do zrealizowania celu rozprawy w postaci:

**„Sprawdzenie efektów spalania FAME uzyskanego z oleju lniankowego jako:**

- **samoistnego biopaliwa II generacji**



- **biododatku do oleju napędowego”**

oraz udowodnienia tez rozprawy w postaci:

1. **„Ze względu na proces spalania ester metylowy oleju lniankowego może być traktowany jako paliwo zastępcze w stosunku do oleju napędowego i wykorzystywany jako samoistne biopaliwo lub biododatek do oleju napędowego.**

2. **Zastosowanie estru metylowego oleju lniankowego powoduje zmiany przebiegu procesu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym polegające na zwiększeniu udziału ciepła wydzielonego podczas fazy dopalania w ogólnym cieple uzyskanym podczas spalania paliwa”**,

zamieszczonych w rozdziale 4 na str. 25.

### **UWAGI DOTYCZĄCE TEMATU, ZAKRESU PRACY I JEJ CELU ORAZ TEZ**

Temat pracy „**Wpływ estrów oleju lniankowego na proces spalania w silniku o zapłonie samoczynnym**” jest sformułowany poprawnie, lecz dla lepszej precyzji oddania treści rozprawy, powinien również dotyczyć wpływu stosowania ww. estrów oleju lniankowego na emisję zanieczyszczeń spalin, gdyż rozprawa dotyczy między innymi tego zagadnienia.

Autor w rozdziale pierwszym rozprawy wyjaśnia, dlaczego podejmuje przedstawione w rozprawie analizy i prace badawcze, odnosząc się jednak w znikomym stopniu do zagadnienia badań emisji zanieczyszczeń spalin, chociaż w dalszej części rozprawy wpływ stosowania estrów oleju lniankowego na tą emisję analizuje. Autor nie wyjaśnia przy tym w tym rozdziale, dlaczego badania zamierza prowadzić przy wykorzystaniu testu C1 i co to jest za test, chociaż w dalszych częściach rozprawy do tego zagadnienia w pewnym stopniu się odnosi. Rozdział ten w połowie odnosi się też do zagadnień związanych historycznie z silnikami spalinowymi i metodami symulacji stosowanymi do obliczeń silnikowych, przy czym zasadną byłaby tu lepsza poprawność stylistyczna.

W rozdziale drugim rozprawy Autor generalnie opisuje nowoczesne paliwa roślinne do silników o zapłonie samoczynnym, przy tym omawia estry metylowe oleju lniankowego jako paliwo typu FAME, stanowiące obiekt badań. Odnosi się też do zasobów i rezerw ropy naftowej. Wydaje się, że zasadną byłaby zamiana kolejności podrozdziałów 2.1 i 2.2 tego rozdziału tzn. najpierw dokonana powinna być ocena zasobów i rezerw ropy naftowej, jako podrozdział 2.1, a następnie powinny występować pozostałe podrozdziały, kolejno istniejący podrozdział 2.1, jako podrozdział 2.2 i dalej istniejące podrozdziały 2.3 i 2.4. Sformułowanie

tytułu podrozdziału 2.3 wymaga lepszej precyzji, ponieważ rozdział ten nie dotyczy wyłącznie paliw odnawialnych typu FAME.

Rozdział trzeci rozprawy poświęcony jest wybranym problemom procesu spalania paliw pochodzenia roślinnego. W rozdziale tym autor opisuje fazy procesu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym i odnosi się do procesu spalania i wydzielania się ciepła, akcentując jedynie możliwą odmienną metodę wyznaczania wartości kąta opóźnienia samozapłonu w przypadku zasilania silnika paliwami nieropopochodnymi. Nie odnosi się tu chociażby skrótowo do możliwych różnic w modelowaniu np. wydzielania się ciepła w przypadku paliw pochodzenia roślinnego, a rozdział trzeci rozprawy, paliw tych dotyczy zaś podrozdział 3.3 odnosi się do procesu spalania i wydzielania się ciepła. Pewnym usprawiedliwieniem takiego stanu rzeczy są analizy w tym zakresie w ramach zagadnień modelowania procesu spalania, przeprowadzone przez Autora rozprawy w rozdziale piątym.

W rozdziale czwartym Autor rozprawy przedstawił jej cel i tezy. Są one sformułowane poprawnie. Sądzę jednak, że sformułowanie celu rozprawy i jej tezy powinno być poprzedzone dogłębną analizą stanu wiedzy w danej dziedzinie np. w odniesieniu do procesu wydzielania się ciepła w przypadku badanych paliw. Koresponduje to z ww. uwagami w odniesieniu do rozdziału trzeciego.

Analiza pozostałych rozdziałów rozprawy, w szczególności rozdziału w którym autor podsumował swoją pracę pozwala na stwierdzenie, że realizując postawiony cel Autor rozprawy zrealizował następujące zadania:

- zbudował, stanowisko badawcze z silnikiem marki Perkins typu 1104C – E44T obciążanym hamulcem elektrowirowym Schenck W450,
- zainstalował na silniku niezbędne urządzenia pomiarowe w tym między innymi tor pomiaru ciśnienia w komorze spalania oraz tor pomiaru stężeń toksycznych składników spalin,
- zrealizował cykl badań przy zasilaniu ww. silnika estrem metyloowym oleju lniankowego L100 oraz mieszankami estru metyloowego oleju lniankowego L100 i czystego oleju napędowego bez biokomponentów o składzie: L10 (10% L100 i olej napędowy), L20 (20% L100 i olej napędowy), L30 (30% L100 i olej napędowy),
- wykorzystał dla potrzeb powyższych badań metody wyznaczania istotnych parametrów procesu spalania,
- dokonał analiz i wyciągnął niezbędne wnioski.



Niewątpliwym osiągnięciem Autora w tej pracy jest:

- zaproponowanie modyfikacji funkcji Wibego, która pozwala dokładniej opisać wydłużony proces spalania badanych estrów oleju lniankowego oraz numeryczne wyznaczenie nowych parametrów badanej ww. funkcji, co zostało zweryfikowane w badaniach empirycznych przy wykorzystaniu estru metylowego oleju lniankowego (L100) oraz jego mieszanin z olejem napędowym w proporcjach objętościowych 1:9, 2:8, 3:7,
- wykazanie, że pomimo występujących różnic w procesie spalania, samoistne paliwo L100 oraz paliwa L10, L20 i L30 będące mieszaninami objętościowymi oleju napędowego z estrem metylowym oleju lniankowego jako biododatkiem, umożliwiają osiągnięcie w zasadzie zbliżonych parametrów użytkowych silnika (mocy, momentu obrotowego itd.). Udowadnia to pierwszą z zaproponowanych w rozprawie tez. Ponadto wykazanie, że w przypadku paliwa L100, zwiększenie emisji tlenków azotu przy równoczesnym zmniejszeniu emisji cząstek stałych, warunkuje przy stosowaniu tego paliwa konieczność użycia układu oczyszczania spalin zmniejszającego emisję tlenków azotu,
- wykazanie słuszności tezy drugiej zaproponowanej w rozprawie w postaci wykazania, że stosowanie estru oleju lniankowego powoduje zmiany przebiegu procesu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym polegające na zwiększeniu udziału ciepła wydzielonego podczas fazy dopalania w ogólnym cieple uzyskanym podczas spalania paliwa.

Istotne znaczenie ma fakt, że Autor rozprawy przeprowadził szeroko zakrojone empiryczne badania stanowiskowe, dokonał analiz otrzymanych wyników badań indykatorowych, szybkości wydzielania się ciepła w komorze spalania silnika czy odniósł się do otrzymanych wyników badań emisji zanieczyszczeń spalin.

Fakt wykorzystania w badaniach nowoczesnej aparatury badawczej, zastosowaną przez Autora metodę badań oraz poziom prac badawczych oceniam bardzo wysoko. Praca bez wątplenia wymagała dużego zakresu prac analitycznych i obliczeniowych oraz dużego nakładu pracy. Autor udowodnił, że potrafi samodzielnie prowadzić specjalistyczne badania silnikowe i prace obliczeniowe.

Podsumowując tą część recenzji stwierdzam, że wyciągnięte wnioski, są ogólnie poprawne, a na szczególną uwagę zasługuje spostrzeżenie Autora rozprawy, że zastosowanie estrów metylowych oleju lniankowego powoduje zmiany procesu spalania zachodzącego w

komorze spalania poprzez wydłużenie fazy dopalania i porównywalny czas trwania fazy kinetycznej i dyfuzyjnej. Zjawisko to nie wpływa negatywnie na możliwość zastosowania tego typu paliwa do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. W tym kontekście nasuwa się pytanie czy zdaniem Autora rozprawy estry metylowe oleju lniankowego mają szansę na szersze wykorzystanie, chociażby wobec faktu szerokiego stosowania obecnie np. w silnikach trakcyjnych, takich paliw jak CNG, LNG, biometan (CBG, LBG) czy wprowadzanie napędu elektrycznego i wodorowego.

### **SAMODZIELNOŚĆ W ROZWIĄZYWANIU PROBLEMÓW NAUKOWYCH**

Lektura recenzowanej rozprawy doktorskiej, utwierdza mnie w przekonaniu, że jej Autor posiada predyspozycje do pracy naukowej. Autor posiada zdolność w formułowaniu zagadnień naukowych. Charakteryzuje się dociekliwością w rozwiązywaniu problemów badawczych i procowitością. Stwarza to nadzieję na kontynuowanie przez Niego badań w tematyce „silniki spalinowe”. Jego dalszy rozwój naukowy jest zasadny.

### **OCENA EDYCJI I POPRAWNOŚCI STYLISTYCZNEJ ROZPRAWY**

Rozprawa napisana jest językiem zwięzłym i relatywnie dobrą polszczyzną. Autor nie używa tzw. żargonu inżynierskiego, co należy podkreślić.

### **USTERKI ZAUWAŻONE W PRACY I UWAGI WYMAGAJĄCE WYJAŚNIENIA**

Analiza rozprawy nasunęła mi uwagi ogólne. Zwróciłem też uwagę na drobne usterki. Do najważniejszych należą:

Uwagi ogólne:

- zależności stężenia tlenków węgla od momentu obrotowego wału korbowego silnika dla paliw L10, L20, L30, L100 oraz oleju napędowego przy 1400 obr/min i 2000 obr/min są różne. Jak można byłoby uzasadnić taki stan rzeczy?,
- w pracy podano (str. 100), że wartości dopuszczalne emisji jednostkowej są osiągnane przez producentów silników przy użyciu specjalistycznego, wzorcowego paliwa badawczego. Nasuwa się pytanie czy w badaniach prowadzonych przez Autora parametry oleju napędowego odpowiadały parametrom ww. paliwa wzorcowego, a jeśli były różne, to jaki wpływ mogło to mieć na uzyskiwane wartości emisji jednostkowej?,



- jak można byłoby uzasadnić wniosek sformułowany na str. 106 rozprawy, że zastosowanie jako paliwa estru metylowego oleju lniankowego nie wpływa na zawartość ditlenku węgla w porównaniu do paliwa odniesienia, oleju napędowego.
- Str.6. Wykaz ważniejszych skrótów. Nie wszędzie podaje się angielsko – języczne tłumaczenie ww. skrótów.
- Str.7. Streszczenie. Byłoby zasadne zwrócenie uwagi na jego większą poprawność stylistyczną np. w wierszu piątym od góry brak słowa autor, a w odniesieniu do wyrazów „test 11 – fazowy” nie podaje się czego on dotyczy. W odniesieniu do streszczenia w języku angielskim wątpliwości budzi np. sformułowanie „toxic fumes”.
- Str.9. Sformułowania w akapicie drugim powinny odnosić się jednoznacznie do silników spalinowych.
- Str.12. Występuje niejednorodność jednostek mld Mg (rys.2.1), a zaraz poniżej bln m<sup>3</sup>, co utrudnia porównanie. Ponadto nazwa podrozdziału 2.3 nie odzwierciedla jego zawartości.
- Str.15. Wyjaśnienia wymagałyby przynajmniej skróty ORC, MHD na rys.2.3.
- Str. 22. Opis rysunku 3.2 powinien być sformułowany następująco: „zależność szybkości wydzielania się ciepła od wartości kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa”.
- Str.26. Z rys. 5.1 nie wynikają, przytoczone powyżej wartości procentowe bilansu energii.
- Str.31. Czy wyznaczenie współczynnika podziału faz spalania b zostało dokładnie opisane w rozdziale 3.3?
- Str.46. Nie podano czy sygnał położenia kąta wału korbowego był generowany optycznie czy indukcyjnie.
- Str.49. Sformułowanie: „pomiaru starano się wykonać w obecności normalnych warunków odniesienia” budzi wątpliwości.
- Str.51. Autor stwierdza iż użył czujnika piezokwarcowego. Czujników takich obecnie niemal się nie używa. Czy nie był to czujnik oparty o ortofosforan galu?
- Str.105. Sformułowanie: „zaobserwowany wzrost fazy dopalania”, budzi wątpliwości.
- Str. 133 i 141. Proszę o wyjaśnienie charakteru przebiegu szybkości wydzielania ciepła w komorze spalania silnika Perkins dla badanych paliw odpowiednio na rys.30 i rys.44.

## **PODSUMOWANIE**

Wymienione w recenzji uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej rozprawy, którą uważam za bardzo interesującą, przede wszystkim z poznawczego punktu widzenia i mogącą być przydatną także do celów użytkowych. Materiał faktograficzny zawarty w pracy i czterech załącznikach dokumentujących obszerność badań plasuje recenzowaną rozprawę wśród wyróżniających się innych, znanych mi tego typu prac.

Autor recenzowanej rozprawy poprawnie i w przejrzysty sposób wykazał czego dotyczyły badania i czego dokonał w trakcie ich realizacji.

Wnioski są w zasadzie prawidłowo sformułowane i z reguły logiczne. Zostały one skorelowane z odpowiednią podbudową teoretyczną.

Autor rozprawy zwrócił też uwagę na zasadność podobnych analiz i badań, jak w Jego rozprawie, w przypadku innych biopaliw.

## **KONKLUZJA**

**Biorąc pod uwagę przedstawioną do oceny rozprawę doktorską mgr inż. Marcina Krzysztofa Wojsa pt. : „WPLYW ESTRÓW OLEJU LNIANKOWEGO NA PROCES SPALANIA W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM” uważam, że:**

**- tematyka rozprawy doktorskiej kwalifikuje ją do dyscypliny naukowej „Budowa i Eksploatacja Maszyn”,**

**- praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 roku (Dziennik Ustaw RP z 2016 r., poz. 882) i może być dopuszczona do publicznej obrony.**

