ZAŁĄCZNIK II

AUTOREFERAT

PRZEDSTAWIAJĄCY OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

DR INŻ. JACEK WASILEWSKI

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Wydział Inżynierii Produkcji
Katedra Energetyki i Środków Transportu
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin

Lublin 2018

1. **Imię i nazwisko**

   Jacek Wasilewski

2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

   Uzyskany tytuł: magister inżynier

   Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Techniki Rolniczej

   Kierunek: mechanizacja rolnictwa

   Temat pracy dyplomowej magisterskiej: *Projekt stanowiska do badania liczby oktanowej*

   Promotor: dr hab. inż. Eugeniusz Krasowski

   Data obrony: 21.09.1988 r.

   Uzyskany stopień: doktor nauk rolniczych

   Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Techniki Rolniczej

   Dyscyplina naukowa: inżynieria rolnicza

   Specjalność: eksploatacja silników spalinowych i pojazdów rolniczych

   Temat pracy doktorskiej: *Zużycie wybranych zespołów ciągnika rolniczego a jego parametry pracy w eksploatacji polowej*

   Promotor: Prof. dr hab. inż. Wiesław Piekarski

   Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Krasowski

   Dr hab. inż. Cezary Bocheński

   Data obrony: 04.03.1999 r.

   Praca wyróżniona uchwałą Rady Wydziału Techniki Rolniczej Akademii Rolniczej w Lublinie.

3. **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

   01.10.1989-30.09.1990 – asystent stażysta Akademia Rolnicza w Lublinie, Instytut Mechanizacji Rolnictwa, Wydział Techniki Rolniczej

   01.10.1990-30.04.1999 – asystent Akademia Rolnicza w Lublinie, Instytut Mechanizacji Rolnictwa, Wydział Techniki Rolniczej; Katedra Pojazdów i Silników, Wydział Techniki Rolniczej

   01.05.1999-28.02.2017 – adiunkt Akademia Rolnicza w Lublinie (od 2008 r. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Techniki Rolniczej (od 2005 r. Inżynierii Produkcji), Katedry: Pojazdów i Silników, Energetyki i Pojazdów, Energetyki i Środków Transportu

   01.03.2017-nadal – starszy wykładowca Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Energetyki i Środków Transportu

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

4.1. Określenie osiągnięcia

a) tytuł osiągnięcia naukowego

„Wpływ FAME na wybrane parametry eksploatacyjne silników stosowanych w ciągnikach rolniczych wyposażonych w klasyczną aparaturę paliwową"

które dokumentuje i podsumowuje wieloletni cykl badań dotyczących zastosowania FAME w silnikach ciągników rolniczych, stanowiące opublikowaną autorską monografię: Monografie Naukowe, Towarzystwo Wydawnictw Naukowych LIBROPOLIS, Lublin 2018, ISBN 978-83-63761-99-8.

b) Omówienie osiągniecia naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wzrost zapotrzebowania na energię, ograniczone zasoby paliw kopalnych, a także zaostrzające się przepisy w zakresie ochrony środowiska przyczyniły się do zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE). Ich wykorzystanie w energetyce zawodowej i rozproszonej ma zasadnicze znaczenie dla realizacji celów dotyczących bezpieczeństwa energetycznego i ekonomicznego, ale także środowiskowych. Ograniczenie zmian klimatycznych i zanieczyszczenia środowiska powodowanych w znacznym stopniu spalaniem paliw kopalnych wymusiło redukcję tych paliw i niepożądanych produktów spalania, ale także opracowanie strategii promujących odnawialne źródła energii. Dyrektywa Unii Europejskiej 2009/28/WE zobowiązała kraje europejskie do podjęcia środków w celu wzrostu udziału OZE w krajowym bilansie zużycia energii do 20% do 2020 roku. Poza wymienionymi korzyściami związanymi z wykorzystaniem energii odnawialnej przyczynia się ona także do ograniczenia zależności energetycznej lokalnie i w skali kraju, powstawania nowych miejsc pracy, promowania usług inżynierskich i doradczych w zakresie OZE, a ponadto wzrostu nakładów na badania i rozwój [Hepbasli 2008, Blaschke i in. 2013, Thomson i Liddell 2015].

Wskutek tego, w ostatnich latach na świecie mamy do czynienia z dynamicznym rozwojem nowoczesnych technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii, w tym energii z biomasy. We wszystkich swoich formach wykorzystania biomasa stanowi ok. 14% światowego rocznego zużycia energii. W Polsce w strukturze wykorzystywanych źródeł energii odnawialnej, udział biomasy jest znaczący (ok. 90%) [GUS 2015].

Stosowane współcześnie technologie pozwalają na wykorzystanie biomasy zarówno w postaci nieprzetworzonej, jak i przetworzonej. Taką formą przetworzonej biomasy są paliwa silnikowe, otrzymywane w procesach np. fermentacji alkoholowej lub metanowej, estryfikacji czy syntezy. Do paliw silnikowych pochodzących z biomasy roślinnej można zaliczyć alkohole, naturalne oleje roślinne oraz oleje roślinne przetworzone chemicznie

w celu uzyskania właściwości podobnych do oleju napędowego (np. FAME). Biopaliwa są wytwarzane z biomasy przez żywe organizmy lub ich metaboliczne produkty. Akumulują energię słoneczną w procesie fotosyntezy i są biodegradowalne. W Polsce biopaliwa w 90% otrzymywane są z surowców krajowych, wśród których szczególnie ważną rolę odgrywa rzepak (dobre warunki glebowe i klimatyczne). Ponad 60% jego krajowej produkcji, tj. ok. 2 mln ton przypada na produkcję biopaliw [Stępień 2015].

Estry metylowe oleju rzepakowego (FAME, biodiesel) mogą być z powodzeniem stosowane jako paliwo samoistne lub biokomponent oleju napędowego do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Liczne badania prowadzone w krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych wskazują na ich cenne zalety. Jedną z nich, o szczególnie dużym znaczeniu z punktu widzenia przebiegu procesu spalania w silniku jest znaczna zawartość tlenu w tym biopaliwie, tj. 10-12%. Kolejną ważną zaletą biodiesla w porównaniu do mineralnego oleju napędowego jest bardzo niewielka zawartość siarki [Baczewski i Kałdoński 2008, Skręt i Urzędowska 2008]. Należy jednak pamiętać, że skład FAME zależy od rodzaju surowca wykorzystanego do jego produkcji [Skriegen 1993, Gradziuk 2003, Jackowska i Tys 2009].

Poza dostępnością tlenu, na przebieg procesów wewnątrzcylindrowych oraz wskaźniki pracy silnika, w tym także na poziom emisji szkodliwych dla środowiska składników spalin, w przypadku silników o ZS mają wpływ następujące właściwości paliwa:

- liczba cetanowa (właściwości samozapłonowe),
- wartość opałowa,
- lepkość i gęstość,
- skład frakcyjny.

Wymienione właściwości paliwa decydują o jego rozpyleniu w komorze spalania, a także o tworzeniu mieszanki paliwowo-powietrznej oraz jej spaleniu [Bocheński 1994, Morón-Villarreyes i in. 2007, Wasilewski i Krasowski 2015].

FAME cechują dobre własności samozapłonowe. Liczba cetanowa tego paliwa mieści się zwykle w granicach 56-58. Mineralny olej napędowy ma LC w granicach 53-54 po dodaniu do niego właściwych dodatków uszlachetniających [Sitnik 2004]. W przypadku estrów, wartość LC zależy od ich budowy chemicznej oraz od rodzaju i ilości kwasów tłuszczowych zawartych w oleju roślinnym lub tłuszczu zwierzęcym, z którego zostały wyprodukowane [Graboski i McCormick 1998].

Estry metylowe oleju rzepakowego cechuje mniejsza o ok. 10% wartość opałowa w porównaniu do mineralnego oleju napędowego. Jest to skutkiem dużej zawartości w nich atomów tlenu. Wiąże się to ze wzrostem jednostkowego zużycia biodiesla w stosunku do ON, które dla tych samych parametrów regulacyjnych aparatury wtryskowej (np. kąta wyprzedzenia wtrysku) zawiera się w granicach 12-14% [Carraretto i in. 2004, Agarwal 2007, Zając i Wasilewski 2009].

Lepkość i gęstość paliwa mają decydujący wpływ na stopień rozpylenia, zasięg oraz kąt wierzchołkowy strumienia paliwa. Estry metylowe oleju rzepakowego charakteryzują się ponad dwukrotnie większą lepkością w porównaniu do mineralnego ON, podobnie większa jest ich gęstość. Przy spadku temperatury lepkość FAME rośnie znacznie szybciej niż ON, co

w przypadku ujemnych temperatur znacząco pogarsza jego rozpylenie i odparowanie, a w konsekwencji utrudniony zostaje rozruch silnika [Jakóbiec 2006, Baczewski i Kałdoński 2008, Chuck i in. 2012]. Właściwości niskotemperaturowe estrów można polepszyć poprzez dodanie do nich depresatorów. Jednak badania autorów [Soriano i in. 2006] wskazują na użycie dodatków depresujących do estrów oleju rzepakowego o odmiennej budowie chemicznej niż te stosowane do oleju napędowego.

FAME posiada temperaturę wrzenia zmieniającą się w stosunkowo niedużym zakresie 300-340°C, podczas gdy olej napędowy cechuje duża rozpiętość temperatury wrzenia - 160-340°C [Szlachta 2002]. FAME to stosunkowo jednorodne paliwo (składa się zasadniczo z estrów), a olej napędowy zawiera różne węglowodory zarówno lżejsze, jak i cięższe. Brak w paliwie estrowym frakcji niskotemperaturowych przyczynia się do pogorszenia własności rozruchowych w porównaniu do ON.

Oprócz scharakteryzowanych powyżej właściwości estrów metylowych oleju rzepakowego wpływających bezpośrednio na przebieg procesu spalania w silniku, mają one także inne cechy użytkowe, odmienne w stosunku do oleju napędowego. Do takich należą:

- własności smarnościowe,
- oddziaływanie na elastomery i inne materiały,
- stabilność jakości paliwa.

Większa lepkość i polaryzacja cząstek estrowych powoduje, że właściwości smarnościowe FAME są znacznie korzystniejsze niż mineralnego oleju napędowego. Jednocześnie biodiesel może być stosowany jako dodatek do ON poprawiający jego smarność [Knothe and Steidley 2005, Sułek 2006, Batko i Dobek 2009].

Przecieki FAME do oleju smarnego powodują rozcieńczanie oleju i utratę jego właściwości użytkowych, zmieniając jego strukturę na galaretowatą (żelową). Zżelowany olej nie zapewnia smarowania, nie odprowadza ciepła i nie neutralizuje kwaśnych produktów pochodzących m.in. z niecałkowitego spalania biodiesla [Urzędowska i Stępień 2009, Ziółkowska 2009]. Według autora [Koniuszy 2002] ilość przeciekającego FAME do oleju silnikowego jest podobna do ON, ale stężenie estrów w oleju smarnym jest większe.

FAME cechuje agresywne oddziaływanie na elastomery (gumy), a także na niektóre metale (miedź, cyna, cynk) [Jackowska i in. 2004]. Istnieje więc potrzeba weryfikacji doboru materiałów oraz wprowadzanie zamienników materiałowych, np. w układzie paliwowym - zbiornik z polietylenu TL669, przewody z poliamidu PA12 [Cieślikowski 2010].

Istotnym problemem dotyczącym paliwa estrowego jest niewystarczająca jego stabilność podczas przechowywania, transportu, dystrybucji oraz użytkowania w kontakcie z tlenem czy wodą. Po pierwsze jego mała odporność na utlenianie, spowodowana głównie obecnością związków zawierających w cząsteczce wiązania podwójne jedno- i wielokrotne. Jednak obecność w biodieslu nawet niewielkiej ilości nienasyconych kwasów tłuszczowych w znacznym stopniu przyspiesza utlenianie [Knothe 2007]. Przy czym utlenianie powodujące degradację estrów (starzenie) przebiega inaczej niż w przypadku ON. Objawia się ono przyrostem lepkości i liczby kwasowej oraz zmianą zapachu i barwy paliwa. W przypadku ON utlenianie prowadzi zasadniczo do wytrącania osadów [Pągowski 1993, Duda i in. 2002]. Po drugie podatność FAME na rozkład mikrobiologiczny, wywołujący problemy w trakcie

jego magazynowania i użytkowania (zatykanie filtrów paliwa, gromadzenie się szlamów i osadów na dnie zbiornika), dużo większa niż w przypadku paliwa węglowodorowego. Rozwojowi mikroorganizmów sprzyja dodatkowo obecność wody w paliwie i zbiornikach paliwowych [Alptekin i Canakci 2009, Demirbas 2009].

Liczne badania przeprowadzone w kraju i za granicą procesów zasilania silników paliwami pochodzenia rzepakowego wykazała istotne korzyści w wielu aspektach użytkowych, m.in. ekologicznym czy tribologicznym [Lotko 1997, Struś 2012, Wasilewski i Krzaczek 2014]. Jednocześnie w publikacjach przedstawia się wady stosowania biopaliwa rzepakowego i jego negatywny wpływ na trwałość i żywotność silnika spalinowego, a także na otaczające środowisko [Bocheński 2003, Łukasik i Łenyk 2008, Cisek i in. 2012, Żak i in. 2015]. Niemniej należy pamiętać, że wyniki badań zależą od indywidualnych cech konstrukcyjnych silnika, w szczególności od kształtu komory spalania, zastosowanej aparatury wtryskowej czy rozwijanej prędkości obrotowej. Istnieje zatem potrzeba prowadzenia różnokierunkowych badań przydatności użytkowej biodiesla do zasilania silników o ZS laboratoryjnych oraz silnikowych, w tym szczególnie ważnych badań trwałościowych na stanowiskach lub podczas rzeczywistej eksploatacji pojazdu.

Tradycyjną metodą otrzymywania FAME w Polsce jest reakcja transestryfikacji trójglicerydów oleju rzepakowego metanolem w obecności katalizatora. W warunkach przemysłowych reakcję transestryfikacji prowadzi się metodą ciśnieniową, przy ciśnieniu ok. 10 MPa i w temperaturze ok. 240°C. Niemniej jednak do produkcji estrów mogą być również użyte tłuszcze zwierzęce i oleje odpadowe [Chum i Overend 2001, Fakuda i in. 2001, Maniak i in. 2009, Szmigielski i in. 2009].

Potrzeba wytwarzania coraz większej ilości energii z biomasy wiąże się z pozyskiwaniem nowych źródeł biopaliw, niezwiązanych z surowcami jadalnymi. Takim perspektywicznym źródłem jest biomasa lignocelulozowa, z której w procesie Fischera-Tropscha można otrzymać biodiesel [Michalski 2009, Mazanek 2010, Bajdor i Biernat 2011, Rostek 2011]. Obiecującym przyszłościowym surowcem do produkcji biodiesla, ale także i innych biopaliw, np. biometanu czy biowodoru są algi [Chisti 2007, Amin 2009, Meng i in. 2009, Tys i in. 2009].

Wzrost zapotrzebowania na biomasę powoduje, że tradycyjne jej źródła nie są w stanie pokryć zapotrzebowania na nią. Rozwiązaniem tej kwestii jest tworzenie plantacji wielkoobszarowych roślin energetycznych (upraw celowych), co ma znaczący wpływ na sposób użytkowania gruntów i różnorodność biologiczną. Wszelkie działania w zakresie produkcji biomasy i jej dostępności na rynku, powinny być zintegrowane w ramach projektowania łańcucha dostaw biopaliw, zapewniając przy tym efektywność ekonomiczną i zrównoważony rozwój [Foody 2003, Papapostolou i in. 2011]. Nałożony przez Unię Europejską (Dyrektywa 2009/28/WE) 10% udział energii ze źródeł odnawialnych w transporcie do 2020 roku, zdaniem wielu środowisk naukowych i politycznych generuje wzrost zapotrzebowania na grunty rolne, a więc przyczynia się do pośredniej zmiany ich użytkowania (ILUC – ang. Indirect Land Use Change). Wiąże się to też z uwalnianiem dodatkowej emisji CO_2 [Kolasa-Więcek 2012, Jabłońska 2014, Jarosz i Faber 2015]. W efekcie, Dyrektywa UE 2015/1513 z dnia 9 września 2015 roku zobowiązuje kraje

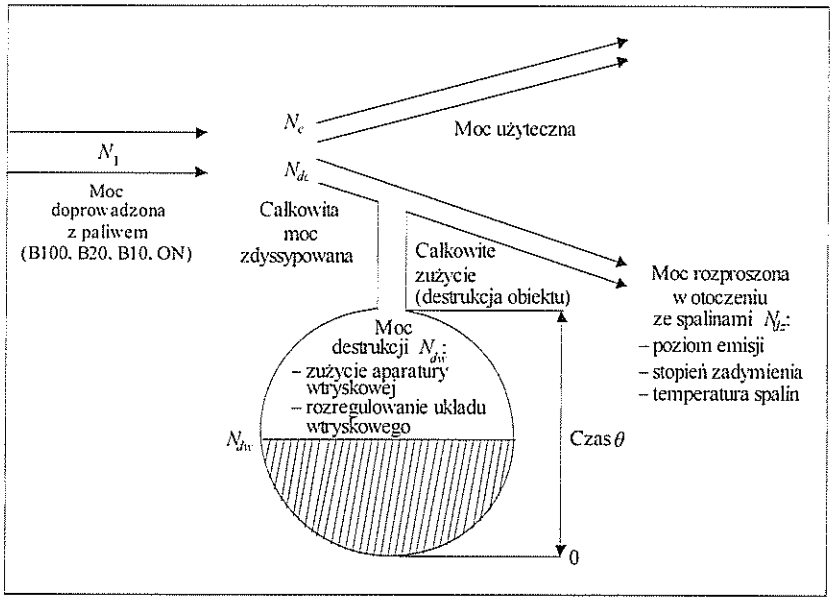
członkowskie do ograniczenia udziału biopaliw tradycyjnych w transporcie do 7% w 2020 r., promując biopaliwa II generacji produkowanych z różnych odpadów, słomy czy glonów.

Sformułowanie problemu badawczego

Problematyka badawcza zawarta w niniejszej monografii habilitacyjnej jest podsumowaniem mojego wieloletniego wkładu w zagadnienia poznawcze w dziedzinie inżynierii rolniczej. Dotyczy ona eksploatacji silnika ciągnika rolniczego zarówno w badaniach terenowych jak i stanowiskowych (hamownianych) zasilanego paliwami pochodzenia roślinnego i węglowodorowego, ze szczególnym uwzględnieniem stanu technicznego jego układu paliwowego.

Niedomagania aparatury wtryskowej są jedną z głównych przyczyn nieprawidłowego funkcjonowania silnika wysokoprężnego. W znacznym stopniu dotyczy to silników ciągników i maszyn rolniczych, pracujących w zróżnicowanych warunkach i przy dużym zapyleniu powietrza. Niepoprawny przebieg procesów tłoczenia i wtrysku paliwa decyduje o nieprawidłowym przebiegu procesu spalania w silniku. Niewłaściwe spalanie mieszanki palnej powoduje spadek „osiągów" silnika i wzrost szkodliwych dla środowiska przyrodniczego związków spalin [New Technologies 2014, Wasilewski i Krasowski 2015, Burski i Wasilewski 2016]. Należy pamiętać, że oprócz zasadniczych czynników wpływających na przebieg spalania w silniku o ZS, tj. związanych z konstrukcją silnika, parametrami wtrysku paliwa i doprowadzenia powietrza, istotną rolę odgrywa rodzaj i właściwości paliwa. W kontekście tego ostatniego czynnika oraz szczególnej roli układu zasilania uzasadniona jest ocena jego stanu technicznego oraz wskaźników energetycznych i ekologicznych silnika zarówno dla paliwa tradycyjnego, ale przede wszystkim dla paliwa pochodzenia roślinnego z uwagi na jego odmienne właściwości.

Punktem wyjścia przy sformułowaniu problemu badawczego był opracowany przeze mnie model strukturalny – przepływu i transformacji energii w silniku ciągnika rolniczego w różnych warunkach jego eksploatacji (badania polowe i na stanowisku dynamometrycznym).



Rys. 1. Model przepływu i transformacji energii w silniku ciągnikowym realizowany w badaniach polowych i na stanowisku dynamometrycznym [opracowanie własne]

Model ten oparłem na podstawowym modelu systemu działaniowego obiektu technicznego, jakim jest model procesora energii Cempla [Cempel 1997]. Zgodnie z modelem własnym (rys. 1), część mocy cieplnej doprowadzonej do silnika wraz z paliwem N_I jest przetwarzana na moc użyteczną N_e, a pozostała część dzieli się na moc destrukcyjną N_{dw} akumulowaną w silniku (aparaturze wtryskowej) i moc rozproszoną w otoczeniu ze spalinami N_{dz}, wśród której szczególnie duże znaczenie odgrywa emisja szkodliwych dla środowiska składników spalin.

Mając powyższe na uwadze, problemy badawcze sformułowałem w postaci poniższych pytań:

1. Czy, a jeśli tak to w jakim stopniu biodiesel (B100) jako paliwo silnikowe oraz paliwa z biokomponentem estrowym (B10, B20) poprawią wskaźniki pracy silnika ciągnikowego w różnych warunkach jego eksploatacji, w porównaniu do jego zasilania tradycyjnym olejem napędowym?
2. Jak zmienią się parametry funkcjonalne układu wtrysku paliwa przy jego długotrwałej eksploatacji na biodieslu, w stosunku do długotrwałego jego zasilania olejem napędowym?
3. Jakie będą różnice pomiędzy parametrami energetycznymi i ekologicznymi silnika ciągnikowego zasilanego paliwami na bazie roślinnej oraz porównawczo olejem napędowym, w zależności od stanu technicznego aparatury wtryskowej?
4. W jakim stopniu realizowane w pracy metody analizy statystycznej wyników badań poszerzą ich interpretację i pozwolą na dokładniejsze wnioskowanie?

Cel badań stanowiących osiągnięcie naukowe

Tak sformułowany problem naukowy pozwolił na podjęcie badań, których **głównym celem** była ocena eksploatacyjnych parametrów roboczych silników ciągnikowych zasilanych biodieslem (FAME, B100), paliwem mineralnym (ON) oraz ich mieszaninami (B10, B20), w aspekcie stanu technicznego układu wtryskowego.

Na główny cel badawczy składały się następujące **cele szczegółowe**:

- Ocena wpływu różnej ilości dodatku biodiesla do oleju napędowego na wskaźniki ekologiczne i energetyczne silników ciągnikowych w eksploatacji polowej i na stanowisku dynamometrycznym w hamowni silnikowej.
- Ocena porównawcza stopnia zużycia wybranych elementów aparatury wtryskowej w badaniach trwałościowych, przy zasilaniu biodieslem i mineralnym olejem napędowym.
- Ocena parametrów energetycznych i ekologicznych silnika ciągnikowego zasilanego FAME i ON w warunkach polowych i na stanowisku dynamometrycznym, dla bazowej (nowej) aparatury wtryskowej oraz po każdym okresie czasu eksploatacyjnego jej zużywania (wg założonego cyklu prowadzenia pomiarów).
- Ocena w warunkach polowych wskaźników pracy silnika ciągnika rolniczego zasilanego paliwem estrowym i porównawczo olejem napędowym przy zmiennych

nastawach regulacyjnych układu wtryskowego oraz ich weryfikacja w badaniach hamownianych.

- Analiza statystyczna (istotność różnic, regresja krzywoliniowa) mierzonych wielkości w zakresie mocy wejściowej, użytecznej, procesów destrukcyjnych oraz resztkowych.

Dla zrealizowania powyższego celu przeprowadziłem badania terenowe oraz laboratoryjne (stanowiskowe i hamowniane) w aspekcie wykorzystania paliw pochodzenia roślinnego i węglowodorowego do zasilania silników ciągnikowych, na podstawie których opublikowano monografię habilitacyjną. Badania te poprzedziłem wstępnymi badaniami na stanowisku dynamometrycznym estrów metylowych, których wyniki zawarto w pracach przedstawionych w wykazie dorobku (IID21, IID22).

Ze względu na obszerność problematyki dotyczącej zasilania silników pojazdów rolniczych biodieslem i jego mieszaninami z olejem napędowym ograniczyłem się do badań silników z pompami i regulatorami mechanicznymi, w znacznym stopniu eksploatowanymi w polskim rolnictwie. Nowoczesne silniki ciągnikowe są fabrycznie dostosowane pod względem eksploatacyjnym i emisyjnym do zasilania biodieslem (zgodnie z normą PNEN590:2017 w oleju napędowym może znajdować się do 7% (V/V) FAME). Natomiast starsze konstrukcje silników nie były przystosowane do zasilania biodieslem. Biorąc powyższe pod uwagę, tematyka monografii nabiera istotnego znaczenia, wyrażając kompleksowość parametrów procesu eksploatacji tych silników w dobie stosowania biopaliw. W silnikach ciągnikowych starszej generacji, użytkowanych zwykle przez wiele lat w trudnych i zróżnicowanych warunkach, aparatura wtryskowa ulega szybkiemu i intensywnemu zużyciu, tracąc swoje właściwe parametry funkcjonalne (tłoczenia i wtrysku paliwa). Zatem zastosowanie biodiesla, posiadającego większą lepkość i lepsze właściwości smarne niż ON, wydaje się szczególnie uzasadnione w tego typu silnikach, z uwagi na oczekiwaną poprawę funkcjonowania długo eksploatowanych pomp wtryskowych i w konsekwencji parametrów roboczych silnika.

W badaniach wykorzystałem dwa gatunki biodiesla B100 oraz mineralnego oleju napędowego Ekodiesel Ultra, letni (gatunek B) oraz przejściowy (gatunek D). Paliwa te wyprodukowano w PKN Orlen i zakupiono w stacji paliw Bliska. Spełniały one standardy jakościowe określone dla bioestru w normie PN-EN 14214:2004, a dla oleju napędowego w normie PN-EN 590:2006.

Przy analizie wyników wyodrębniłem i rozpatrzyłem dwa bloki danych, jako samodzielne i jednocześnie ze sobą powiązane. Pierwszy blok danych dotyczył parametrów długotrwałego eksploatacyjnego zużycia wybranych elementów aparatury wtryskowej, a drugi blok - parametrów ekologicznych i energetycznych silnika wyposażonego w aparaturę wtryskową o zróżnicowanym stanie technicznym, przy jej zasilaniu powyższymi paliwami.

Badaniom trwałościowo-zużyciowym poddano pompy wtryskowe typu P24-49 ciągnika rolniczego Ursus C-360, zasilane biodieslem B100 (B) i porównawczo mineralnym ON Ekodiesel Ultra (B). Badania wykonałem na zmodyfikowanym stole probierczym do badania aparatury paliwowej typu P2 (zamontowano falownik, przystosowano stół do elektronicznego odmierzania dawek paliwa oraz pomiaru prędkości obrotowej metodą

indukcyjną). Analizowałem charakterystykę dawkowania (ubytek dawki paliwa, nierównomierność dawkowania), ubytek masy par precyzyjnych oraz ich szczelność hydrauliczną (metodą czasu spadku ciśnienia). Pomiary tych parametrów prowadziłem według założonego cyklu pracy pompy wtryskowej i ich wykonywania, począwszy od pompy bazowej (nowej) aż do 1000 godzin jej eksploatacyjnego zużycia dla każdego z badanych paliw, w odstępach 200-godzinowych. Dodatkowo w założonych 200-godzinowych odstępach prowadzenia pomiarów zróżnicowano prędkość obrotową pompy, w zakresie od 800 obr.·min^{-1} (prędkość odpowiadająca maksymalnemu momentowi obrotowemu) do 1100 obr.·min^{-1} (prędkość odpowiadająca mocy nominalnej) co 100 obr.·min^{-1}, przyjmując dla każdej z czterech wartości prędkości czas pracy pompy wynoszący 50 godzin.

W celu określenia zmian w dawkowaniu pompy wtryskowej w miarę jej eksploatacyjnego zużywania się, oceniłem ubytek dawki paliwa (B100, ON) w porównaniu do dawkowania pompy bazowej. Wyniki pomiarów wskazują na mniejszy ubytek dawki dla paliwa B100 do ok. 1000-1050 obr.·min^{-1}, a przy wyższych prędkościach obrotowych pompy – mniejszą stratę dawki wykazuje pompa zasilana ON. Przeczy to ogólnie przyjętemu stwierdzeniu rozpowszechnionemu w literaturze, że pompa wtryskowa tłoczy większe objętościowe dawki biodiesla w stosunku do oleju napędowego, z uwagi na jego większą gęstość i lepkość. Okazuje się, że tylko w pewnym zakresie prędkości obrotowej. Średni, w całym zakresie „obrotów" pompy ubytek dawki był mniejszy po 200 godzinach pracy pompy na ON, porównywalny po 400 godz., a po 600, 800 i 1000 godz. pracy pompy wtryskowej mniejsze straty dawkowania stwierdzono dla biodiesla (o 13% po 1000 godz. eksploatacyjnego zużycia). Oznacza to większą szczelność hydrauliczną zespołów precyzyjnych pompy przy jej dłuższym eksploatowaniu na biodieslu.

Innym, analizowanym parametrem tłoczenia paliwa przez pompę wtryskową była nierównomierność dawkowania odniesiona do FAME i ON. Określono ją poprzez tzw. wskaźnik niepowtarzalności dawek, zdefiniowany jako stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej [Kowalski 2001]. Wyniki pomiarów wykazały mniejszy wskaźnik nierównomierności dawkowania i jego mniejszy rozrzut dla paliwa estrowego, co może poprawić proces spalania. Wartości średnie tego wskaźnika w całym zakresie „obrotów" pompy zawierają się w granicach 0,89-2,84% dla FAME, a dla ON – w zakresie 1,28-3,22%.

Kolejnym wyznacznikiem długotrwałego zużywania pompy wtryskowej zasilanej FAME i porównawczo ON był ubytek masy jej zespołów precyzyjnych, tj. elementów tłoczących i zaworów odcinających. Te indywidualnie pasowane elementy zużywają się najczęściej wskutek ściernego oddziaływania zanieczyszczeń zawartych w paliwie. Ciała stałe w przeważającej większości pochodzą z bezpośredniego otoczenia, co w sposób szczególny zagraża aparaturze paliwowej ciągnika rolniczego pracującego w warunkach dużego zapylenia powietrza. Trzeba jednak pamiętać o przestrzeganiu warunków prawidłowej eksploatacji ciągnika (czystości paliwa i filtrów). Tak jak w przypadku dawkowania paliwa, początkowy okres eksploatacji pompy wtryskowej charakteryzował się mniejszym ubytkiem masy elementów tłoczących przy ich zasilaniu ON, o 7,6% po 200 godzinach pracy pompy. Z kolei po 600 i 1000 godzinach pracy, okazał się mniejszy dla FAME, odpowiednio o 6,6% i 9,9%. Podobnie jak dla elementów tłoczących, w początkowym okresie długotrwałej eksploatacji pompy (200, 400 godzin) ubytek masy zaworów tłoczących okazał się mniejszy

dla ON, odpowiednio o 5,5% i 1,6% w stosunku do biodiesla. Przy ich dalszej eksploatacji, tj. po 600, 800 i 1000 godz. pracy pompy mniejsze zużycie odnotowano dla FAME, odpowiednio o 2,7%, 5,8% i 7,8%.

Jeszcze jednym ocenianym wskaźnikiem eksploatacyjnego zużycia układu wtryskowego była szczelność hydrauliczna jego elementów tłoczących. Oceniłem ją poprzez pomiar czasu spadku ciśnienia paliwa (olej Kalibrol Lux), spowodowanego jego wyciekiem przez nieszczelności pomiędzy tłoczkiem i cylinderkiem elementu tłoczącego. Do pomiaru spadku ciśnienia w parze precyzyjnej wykorzystałem specjalistyczny przyrząd firmy Rabotti. Po 200 godz. pracy pompy szczelniejsze okazały się elementy tłoczące zasilane ON, podczas gdy po 600 i 1000 godz. pracy większą szczelnością charakteryzowały się zespoły precyzyjne zasilane FAME (po 1000 godz. pracy o ponad 14%).

Zmierzone w ramach charakterystyki zewnętrznej pompy wtryskowej wartości uśrednionej dawki paliwa w zależności od jej prędkości obrotowej przy zasilaniu paliwem B100 i porównawczo ON (dla ustalonych czasów pracy pompy), zostały opisane równaniami regresji krzywoliniowej. Dla każdego z równań określono istotność współczynników (testem t-Studenta) oraz istotność regresji (testem F-Snedecora). Uzyskałem wysokie wartości współczynnika determinacji R^2 (od 0,84 do 0,94). Następnie oceniłem istotność różnic w przebiegu równań regresji średniej dawki (FAME, ON) w funkcji prędkości obrotowej pompy dla różnych okresów jej pracy. Zbadano to w programie MatLab za pomocą procedury SimReg [Jamshidian i in. 2005]. Nie stwierdzono istotności różnic jedynie dla pary wielomianów pompa bazowa – pompa po 200 godz. pracy, tak dla bioestru jak i ON. Dla wszystkich pozostałych par wielomianów w odniesieniu do obu paliw, wystąpiły istotne różnice. Dodatkowo została przeprowadzona analiza wariancji dwuczynnikowej – w zależności od zużycia pompy (bazowa i kolejne ustalone okresy zużycia) oraz je prędkości obrotowej (pełny zakres). Obliczenia były wykonane w programie SAS Enterprise Guide 5.1. Dla obu paliw zarówno stan pompy, jak i prędkość obrotowa wykazały istotny wpływ na jej wydatek ($p<0,0001$). Następnie przeprowadziłem analizę porównań wielokrotnych dla stanu pompy testami Duneta i Tukey'a. Dla obu testów i obu paliw istotna różnica w wydatku nie wystąpiła jedynie pomiędzy pompą nową i pompą po przepracowanych 200 godzinach, tak jak w analizie różnic w przebiegach równań regresji.

Badaniom polowym poddano rolnicze agregaty maszynowe do podstawowej uprawy roli. Ciągnik Ursus C-360 zagregatowano z broną zawieszaną U316 (głębokość robocza 0,05 m), kultywatorem zawieszanym U418/1 (głębokość robocza 0,1 m) oraz pługiem zawieszanym U023/1 (głębokości robocze 0,22 i 0,28 m). Badania przeprowadziłem w RZD Felin k/Lublina na polu o powierzchni płaskiej – na glebie wytworzonej z utworów lessowych. Pomiary dotyczyły parametrów ekologicznych i energetycznych silnika zasilanego paliwami B100 i ON, a także mieszaninami B10 i B20 obu tych paliw. Przy czym wykonywałem je przy zmiennych nastawach regulacyjnych aparatury wtryskowej (kąt wyprzedzenia wtrysku, ciśnienie otwarcia wtryskiwaczy), co stanowiło istotę tych badań. Każdorazowo podczas przejazdów roboczych (na odcinkach długości 100 m) z poszczególnymi rodzajami paliw i aparaturą wtryskową wyregulowaną na założone wartości nastaw regulacyjnych, utrzymywano stałą prędkość obrotową. Wybrałem charakterystyczne dla silnika (typu S-4003) prędkości obrotowe, tj. prędkość maksymalnego

momentu obrotowego (1600 obr.·min^{-1}) oraz prędkość znamionową (2200 obr.·min^{-1}). Zużycie paliwa było określone metodą objętościową, wykorzystując zbiornik pomiarowy (o pojemności ok. 1 dm^3), z którego silnik był zasilany i przy pomocy którego rejestrowano objętość zużywanego paliwa. Spaliny były pobierane z rury wydechowej ciągnika. Skład spalin mierzyłem przy wykorzystaniu pięcioskładnikowego absorpcyjnego analizatora spalin, a do pomiaru stopnia zadymienia spalin użyłem dymomierza filtracyjnego.

Badania polowe agregatów rolniczych były poprzedzone badaniami stanu gleby. Stan gleby, na której wykonywano badania, został określony przy pomocy jej dwóch podstawowych parametrów, tj. gęstości oraz wilgotności. Próbki gleby były pobierane każdego dnia przed rozpoczęciem badań z pięciu wybranych miejsc działek pomiarowych na głębokościach odpowiadających głębokościom roboczym, na których pracowały narzędzia uprawowe. Gęstość gleby była określona jako masa jednostki objętości gleby, pobranej z zachowaniem naturalnej struktury i po jej wysuszeniu w temperaturze 105°C. Wilgotność gleby była oznaczona metodą suszarkową, jako różnicę mas próbek gleby wilgotnej oraz wysuszonej w temperaturze 105°C. Największa uśredniona wilgotność gleby (18,5%) wystąpiła na głębokości roboczej ok. 0,1 m. Na większych głębokościach 0,2-0,3 m (odpowiadającym orce), wilgotność zmniejszyła się do 17,6-17,8%. Z kolei gęstość gleby zmieniała się w dość znacznych granicach w funkcji głębokości, od ok. 1,3 Mg·m^{-3} (0,05; 0,1 m) do ok. 1,5 Mg·m^{-3} (0,22; 0,28 m).

Pierwszy etap badań polowych ciągnika Ursus C-360 w agregatach do podstawowej uprawy roli obejmował pomiary składników toksycznych oraz stopnia zadymienia spalin, a także zużycia paliwa przy nominalnych nastawach regulacyjnych układu wtryskowego. Stwierdzono spadek zawartości CO i HC w spalinach dla biodiesla B100 w porównaniu do zasilania ON, odpowiednio o 36,8% i 35% przy prędkości obrotowej 1600 obr.·min^{-1} oraz o 27,9% i 25,5% przy 2200 obr.·min^{-1} (wartości średnie dla badanego zakresu obciążeń silnika). Dla FAME jako biokomponentu koncentracja CO w spalinach w stosunku do ON została obniżona średnio o 3,4% i 12,9% dla mieszanin B10 i B20 (1600 obr.·min^{-1}) oraz o 5,4% i 8,3% (2200 obr.·min^{-1}), a HC odpowiednio o 6,5% i 11,1% przy mniejszej prędkości obrotowej silnika oraz o 5,6% i 6,8% przy prędkości większej. Jeszcze większe korzyści ekologiczne przy zasilaniu silnika FAME i paliwami z 10 i 20% biokomponentem estrowym dotyczyły poziomu zadymienia spalin. Dla paliwa B20 redukcja zadymienia spalin w porównaniu do zasilania ON wyniosła średnio 11,5% dla prędkości silnika 1600 obr.·min^{-1} i 10,8% przy 2200 obr.·min^{-1}, a dla B100 – odpowiednio 41,6% i 37,2%. W odniesieniu do pozostałych dwóch mierzonych parametrów, tj. poziomu emisji NO_x oraz godzinowego zużycia paliwa, czysty biodiesel oraz jego mieszaniny B10 i B20 cechował wzrost ich wartości w stosunku do ON. W badanym zakresie obciążeń wyniósł on w przypadku NO_x średnio 3,4%, 7,1% i 21% przy prędkości obrotowej 1600 obr.·min^{-1} oraz 1,7%, 5,9% i 23,2% przy 2200 obr.·min^{-1} – odpowiednio dla B10, B20 i B100. Natomiast w przypadku godzinowego zużycia paliwa wzrost ten wyniósł dla czystego biodiesla odpowiednio 8,9% (2200 obr.·min^{-1}) i 8,3% (1600 obr.·min^{-1}). W przypadku zastosowania mieszanin B10 i B20 silnik zużył więcej paliwa niż przy pracy na ON w granicach 1-3,5%.

Drugi etap badań terenowych dotyczył zmiennych nastaw regulacyjnych układu wtrysku paliwa, tj. ciśnienia otwarcia wtryskiwaczy (p_{ow}), nazywanego też ciśnieniem początku wtrysku oraz kąta wyprzedzenia wtrysku. Kąt wyprzedzenia wtrysku określany był pośrednio poprzez kąt początku tłoczenia paliwa (kąt α_{PT}). Przy realizowanych w badaniach prędkościach obrotowych silnika wartości obu kątów są zbliżone. Badania eksperymentalne wskaźników pracy silnika S-4003 zasilanego paliwami B20, B100 i ON wykonano dla trzech wartości kąta α_{PT}: 19°OWK, 22°OWK (kąt nominalny) oraz 25°OWK, a także dla trzech wartości ciśnienia p_{ow}: 15,5 MPa, 17 MPa (zalecane ciśnienie początku wtrysku) i 18,5 MPa.

Opóźnienie wtrysku paliwa w istotny sposób zredukowało stężenie NO_x w spalinach silnika zasilanego paliwami B100 i B20. Obniżony o 3°OWK kąt początku tłoczenia (α_{PT} = 19°OWK) spowodował spadek poziomu emisji NO_x odpowiednio o 11,7% i 21,5% (1600 obr.·min^{-1}) oraz o 13,7% i 17,6% (2200 obr.·min^{-1}), w stosunku do ON przy nominalnym kącie α_{PT} = 22°OWK. Wobec wzrostu emisyjności NO_x w przypadku B100 w stosunku do ON przy nominalnych nastawach regulacyjnych (o ponad 20%), opóźnienie wtrysku paliwa jest jednym z najskuteczniejszych sposobów redukcji tego toksycznego gazu w silnikach zasilanych biodieslem. Opóźniony wtrysk paliwa o 3°OWK w odniesieniu do nominalnego spowodował wzrost emisji CO i HC, w granicach 15-30% dla wszystkich badanych paliw. W stosunku do ON przy α_{PT} = 22°OWK, zasilanie silnika paliwem B20 przy α_{PT} = 19°OWK wpłynęło na zwiększoną emisję CO i HC odpowiednio o 15,6% i 27,4% (1600 obr.·min^{-1}) oraz o 18% i 16,8% (2200 obr.·min^{-1}), natomiast w przypadku B100 – jedynie o ok. 5% (wobec ok. 30% obniżonej emisji tych składników przy kącie nominalnym). Dla kąta α_{PT} = 19°OWK uzyskano wzrost stopnia zadymienia spalin (Z_{sp}) w porównaniu do wartości nominalnej, średnio dla wykonywanych prac polowych o 21,5% (1600 obr.·min^{-1}) i o 25,5% (2200 obr.·min^{-1}) w przypadku ON, a dla FAME odpowiednio o 16,6% i 15,5%. Przy takich samych parametrach regulacyjnych aparatury wtryskowej wystąpiło znaczące zmniejszenie Z_{sp} silnika zasilanego FAME w stosunku do zasilania ON, od 35 do 40%. Zmniejszony o 3°OWK kąt początku tłoczenia w stosunku do nominalnego spowodował wzrost godzinowego zużycia paliwa (G_e), średnio o 11,2% przy prędkości obrotowej 1600 obr.·min^{-1} i o 10,9% przy prędkości 2200 obr.·min^{-1} dla paliwa B100, a dla ON odpowiednio o 10,4% i 14,4%. Stąd dla ON i zalecanego początku tłoczenia, G_e wzrosło do 11,4% i 20,4% (1600 obr.·min^{-1}) oraz do 14,7% i 20,9% (2200 obr.·min^{-1}) odpowiednio dla paliw B20 i B100.

Wyprzedzenie wtrysku wpłynęło na znaczący wzrost emisyjności związków toksycznych i zadymienia spalin, a także zużycia paliwa, w stosunku do przewidzianego dla tego typu silnika. Przyspieszony o 3°OWK kąt α_{PT} zwiększył zawartość NO_x w spalinach dla wszystkich badanych paliw, w granicach 40-50% w porównaniu do wartości nominalnej. Tym samym największy (ponad 60%) wzrost emisji NO_x zanotowano dla samoistnego biodiesla, w stosunku do ON przy nominalnym α_{PT} = 22°OWK. W przypadku pozostałych mierzonych parametrów ekologicznych (CO, HC, Z_{sp}) dla α_{PT} = 25°OWK wzrost ich poziomu emisji w stosunku do kąta nominalnego wyniósł odpowiednio: 58,5%, 43,8% i 35,8% (1600 obr.·min^{-1}) oraz 45,8%, 60,8% i 33,4% (2200 obr.·min^{-1}) dla ON, a także 68,2%, 64,8% i 25,7% (1600 obr.·min^{-1}) oraz 46,8%, 40,1% i 18,3% (2200 obr.·min^{-1}) dla B100. Zwiększenie o 3°OWK kąta początku tłoczenia ponad wartość nominalną spowodowało wzrost G_e dla badanych paliw w zakresie od 15,9% do 18,7%. Dla paliw B20 i B100 wzrosło

ono odpowiednio do 19,8% i 28,5% przy mniejszej prędkości oraz do 19,1% i 26,4% przy prędkości większej, w porównaniu do ON i nominalnego α_{PT} (22°OWK).

Zwiększone ciśnienie otwarcia wtryskiwaczy (p_{ow} = 18,5 MPa) korzystnie wpłynęło na zawartość CO i HC w spalinach silnika ciągnikowego, w porównaniu do ciśnienia nominalnego (p_{ow} = 17 MPa). Średni dla wykonywanych pac polowych poziom emisji CO i HC obniżył się dla paliw pochodzenia roślinnego odpowiednio o 5,4% i 10,8% (B20) i o 9,5% i 13,6% (B100) przy prędkości 2200 obr.·min^{-1}. Stanowi to spadek emisyjności obu tych składników spalin odpowiednio o 14,2% i 16,9% (B20) oraz o 34,5% i 38% (B100) w stosunku do zasilania ON przy kącie nominalnym. Przy prędkości maksymalnego momentu obrotowego (1600 obr.·min^{-1}) emisja CO i HC uległa obniżeniu o ok. 5% dla paliwa B20 i o ok. 10% dla B100, w odniesieniu do ciśnienia nominalnego. Pozostałe badane parametry przy podwyższonym ciśnieniu początku wtrysku dla wszystkich badanych paliw wykazały tendencję wzrostową wobec nastaw nominalnych. Przy prędkości znamionowej silnika, średni dla wykonywanych czynności rolniczych wzrost NO_x, Z_{sp} i G_e wyniósł odpowiednio 6,1%, 9,5% i 5,2% (B100) oraz 16,9%, 18,1% i 6,8% (ON), a dla prędkości maksymalnego momentu obrotowego – 7,7%, 11,9% i 6,1% (B100) oraz 12,6%, 14,7% i 8,7% (ON) ponad wartość wartości uzyskane dla ciśnienia nominalnego.

Zmniejszone ciśnienie początku wtrysku (p_{ow} = 15,5 MPa) w stosunku do ciśnienia zalecanego dla tego typu silnika spowodowało wzrost emisji składników toksycznych i stopnia zadymienia spalin. W przypadku stężenia NO_x w spalinach wzrosło ono średnio przy obciążeniu pracami polowymi o 10% dla samoistnego biodiesla, 15,7% dla B20 i 18,3% dla ON (1600 obr.·min^{-1}) oraz o 7,5%, 9,6% i 13,8% (2200 obr.·min^{-1}). Odpowiadało to podwyższeniu emisji tlenków azotu dla paliw B100 i B20 odpowiednio o 31,9% i 23,9% przy mniejszej prędkości obrotowej i o 26,2% i 17% przy „obrotach" znamionowych, wobec zasilania silnika ON przy nominalnych nastawach regulacyjnych. Z kolei emisja CO i HC oraz dymienie silnika dla poszczególnych paliw wzrosła w granicach 10-20% w odniesieniu do ciśnienia nominalnego. Dla obniżonego o 1,5 MPa ciśnienia otwarcia wtryskiwaczy w stosunku do wartości nominalnej uzyskano także wzrost godzinowego zużycia paliwa, średnio w realizowanym zakresie obciążeń silnika dla FAME o 6% (1600 obr.·min^{-1}) i o 8,1% (2200 obr.·min^{-1}), a dla ON – odpowiednio o 6,4% i 10,4%. Skutkiem tego, zasilanie silnika samoistnym biodieslem wobec zasilania olejem napędowym przy nastawach nominalnych wpłynęło na wzrost jego zużycia w zakresie 14-17%.

Dla zmierzonych parametrów pracy silnika w warunkach polowych obliczyłem istotność różnic (program SAS Enterprise Guide 5.1) na podstawie czteroczynnikowej analizy wariancji ze względu na kąt początku tłoczenia lub ciśnienie otwarcia wtryskiwaczy, obciążenie (prace polowe), prędkość obrotową silnika oraz użyte paliwo. Wyniki ANOVA wykazały istotny wpływ na badane parametry silnika wszystkich czterech czynników ($p<0,0001$). W zakresie każdego z tych czynników istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami zbadanych parametrów była obliczona testem Tukey'a na poziomie istotności 0,05. W przypadku czynników: kąt początku tłoczenia – paliwo – prace polowe – prędkość obrotowa istotnych różnic nie uzyskano jedynie dla CO w zakresie wykonywanych prac polowych, tj. pomiędzy bronowaniem i kultywatorowaniem. Natomiast w przypadku czynników: ciśnienie otwarcia wtryskiwaczy – paliwo – prace polowe – prędkość obrotowa

istotne różnice nie wystąpiły dla CO pomiędzy ciśnieniami 17 i 18,5 MPa oraz pomiędzy bronowaniem i kultywatorowaniem, a także dla G_e pomiędzy ciśnieniami 15,5 i 18,5 MPa. Dla wszystkich pozostałych porównań par w zakresie rozpatrywanych czterech czynników, różnice w odniesieniu do badanych wskaźników pracy silnika okazały się istotne.

Obiektem badań na stanowisku dynamometrycznym były dwa silniki wysokoprężne. Tego samego typu jak w badaniach polowych silnik S4003 ciągnika Ursus C-360 – czterocylindrowy chłodzony cieczą o mocy znamionowej 38,3 kW osiąganej przy prędkości obrotowej 2200 obr.·min^{-1} oraz dwucylindrowy chłodzony powietrzem silnik typu 2CA90 (moc znamionowa 14,7 kW przy 3000 obr.·min^{-1}). Silnik 2CA90 znalazł zastosowanie między innymi w ciągnikach ogrodniczych. Badania parametrów energetycznych i ekologicznych w/w silników zostały przeprowadzone w hamowniach silnikowych należących do Katedry Energetyki i Środków Transportu Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Podobnie jak w badaniach polowych, pomiary wskaźników pracy obu silników dla tych samych paliw i zróżnicowanego stanu technicznego układu wtrysku paliwa wykonywano przy dwóch charakterystycznych prędkościach obrotowych – maksymalnego momentu obrotowego oraz znamionowej, w oparciu o charakterystyki obciążeniowe silnika.

Badania wskaźników pracy silnika 2CA90 przeprowadzono w aspekcie różnej ilości dodatku FAME do oleju napędowego (B10, B20, B100, ON), przy prędkościach obrotowych 2250 obr.·min^{-1} (maksymalnego momentu obrotowego) i 3000 obr.·min^{-1} (mocy znamionowej) w pełnym zakresie obciążenia.

Pomiary parametrów ekologicznych silnika 2CA90 wykazały znaczne obniżenie stopnia zadymienia spalin dla czystego biodiesla, który w całym zakresie obciążenia wyniósł średnio 44,3% i 35,5% przy prędkościach obrotowych 2250 obr.·min^{-1} i 3000 obr.·min^{-1}, w stosunku do zasilania ON. W przypadku mieszanin B10 i B20 spadek Z_{sp} w porównaniu do ON wyniósł odpowiednio 6,8% i 19,3% (2250 obr.·min^{-1}) oraz 6,5% i 15,9% (3000 obr.·min^{-1}). Podobnie uzyskano duże korzyści związane z zasilaniem silnika biodieslem w odniesieniu do HC i CO. Użycie FAME jako komponentu spowodowało zmniejszenie poziomu emisji HC w stosunku do ON średnio o 4,7% i 12,2% dla mieszanin B10 i B20 (2250 obr.·min^{-1}) oraz o 12,2% i 11,8% (3000 obr.·min^{-1}), a w przypadku CO odpowiednio o 4,4% i 11,7% dla prędkości obrotowej mniejszej oraz 4,2% i 11% dla prędkości większej. Znacznie większy spadek emisji obu tych składników toksycznych stwierdzono dla samoistnego biodiesla, średnio o 28,4% (CO) i 27,5% (HC) przy 2250 obr.·min^{-1} oraz o 28,6% (CO) i 29,9% (HC) przy 3000 obr.·min^{-1}, wobec zasilania ON. W przypadku NO_x, uzyskano wzrost ich koncentracji w spalinach w miarę zwiększenia ilości biopaliwa, średnio o 1,9%, 7,1% i 18,1% przy prędkości maksymalnego momentu obrotowego silnika oraz o 2,5%, 6,7% i 17,4% przy prędkości znamionowej.

Zmierzone parametry energetyczne silnika 2CA90 wykazały znaczące różnice pomiędzy ich wartościami wyznaczonymi dla paliw o różnym udziale biodiesla w porównaniu do ON. Wzrost udziału bioestru spowodował coraz większą stratę mocy efektywnej silnika, która dla samoistnego FAME wyniosła 4,9% przy prędkości obrotowej 2250 obr.·min^{-1} oraz 7,9% przy prędkości 3000 obr.·min^{-1}. Użycie biodiesla do zasilania silnika to także wzrost godzinowego (G_e) i jednostkowego (g_e) zużycia paliwa, w stosunku do zasilania ON. Dla paliwa B100, w przypadku G_e wyniósł on 9,4 i 10,6% odpowiednio dla

prędkości maksymalnego momentu obrotowego i prędkości znamionowej, a dla g_e – odpowiednio 10,6 i 12%. Dodatek FAME w postaci 10 i 20% biokomponentu skutkował wzrostem ilości zużytego paliwa wobec ON, średnio o 1,5-3%. Zastosowanie paliwa B100 do zasilania silnika 2CA90 wpłynęło na wzrost temperatury spalin (T_{sp}) w stosunku do ON, który w całym zakresie obciążenia wyniósł średnio 12,1% i 10,9% odpowiednio dla prędkości obrotowych 3000 obr.·min^{-1} i 2250 obr.·min^{-1}. Dodatek biodiesla jako biokomponentu do ON wpłynął na wzrost T_{sp} w porównaniu do zasilania silnika olejem napędowym, średnio o 1,7% i 2,9% przy prędkości obrotowej 3000 obr.·min^{-1} dla mieszanin B10 i B20, a dla prędkości 2250 obr.·min^{-1} – odpowiednio o 1,4% i 2,8%.

Badania hamowniane parametrów energetycznych oraz zadymienia spalin zostały przeprowadzone również dla silnika S-4003, na podstawie prędkościowych charakterystyk zewnętrznych silnika zasilanego paliwami B100 i ON. Mierzono takie wskaźniki pracy silnika, jak: moc efektywna, moment obrotowy, godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa, a także stopień zadymienia spalin. Stwierdzono spadek mocy i momentu obrotowego dla paliwa B100, który wyniósł średnio w całym zakresie prędkości obrotowej 6,7%, w porównaniu do zasilania ON. Równocześnie silnik zużywał więcej paliwa pracując na paliwie pochodzenia roślinnego. Wzrost zużycia biodiesla w warunkach największego dawkowania pompy wtryskowej wyniósł średnio 4,8% (G_e) i 11,1% (g_e). Z kolei Z_{sp} zmniejszyło się w znaczącym stopniu, tj. o 34,2% wobec zasilania silnika paliwem konwencjonalnym.

Kolejny etap badań na stanowisku dynamometrycznym dotyczył oceny szkodliwych składników i zadymienia spalin, a także zużycia paliwa, temperatury spalin i sprawności efektywnej silnika S-4003 z pompą wtryskową o różnej liczbie przepracowanych godzin (B100, ON). Zmiany te przedstawiono w funkcji mocy efektywnej przy prędkościach 1600 i 2200 obr.·min^{-1}. Badania potwierdziły wzrost poziomu emisji NO_x, CO, HC i Z_{sp} wraz ze wzrostem czasu pracy pompy pracującej zarówno na biodieslu, jak i oleju napędowym (w granicach 15-20% po 1000 godz. eksploatacji pompy). Podobnie w miarę eksploatacyjnego zużycia na obu paliwach nastąpił wzrost godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa, spadła moc silnika, pogorszyła się jego sprawność (o ponad 10% po 1000 godz.) oraz nastąpił wzrost temperatury spalin. Porównując parametry robocze silnika dla obu paliw mierzone po kolejnych okresach zużywania pompy wtryskowej aż do 1000 godz., uzyskano następujące wyniki:

- wzrost poziomu emisji CO i HC po 1000 godz. pracy pompy w stosunku do pompy bazowej był mniejszy o ok. 10% przy 1600 obr.·min^{-1} dla FAME, a przy 2200 obr.·min^{-1} okazał się mniejszy dla ON (średnio o ok. 15%),
- wzrost stężenia NO_x w spalinach dla obu paliw był na podobnym poziomie (ok. 15% po 1000 godz. pracy pompy),
- dymienie silnika podczas próby trwałościowej było korzystniejsze dla biodiesla (o ok. 15%) przy prędkości maksymalnego momentu obrotowego, a porównywalna dla badanych paliw przy „obrotach" znamionowych,
- spadek mocy silnika w badaniach trwałościowych był mniejszy przy zasilaniu FAME (o ok. 5%) dla prędkości obrotowej 1600 obr.·min^{-1}, a dla prędkości 2200

obr.·min^{-1} – przy zasilaniu ON (o ok. 10%); podobnie wzrost zużycia paliwa był mniejszy dla FAME przy mniejszej prędkości obrotowej (średnio o 7,1%), a przy prędkości znamionowej – dla ON, średnio o 5,6%.

Dane empiryczne wykorzystano do sporządzenia krzywych teoretycznych. Otrzymane modele charakteryzuje duży współczynnik determinacji R^2, zarówno w przypadku paliwa B100, jak i ON (powyżej 0,9). Adekwatność modeli sprawdzono testem F-Snedecora, a istotność współczynników funkcji regresji testem t-Studenta.

Wyznaczone równania regresji krzywoliniowej dla pomp eksploatowanych na biodieslu i ON określające parametry ekologiczne i energetyczne silnika porównano przeprowadzając analizę statystyczną istotności różnic. Testowanie przeprowadzono za pomocą procedury SimReg. Brak istotnych różnic w zakresie wskaźników pracy silnika dotyczył porównania pompy bazowej i pompy po pierwszym okresie zużywania (200 godz.), w odniesieniu zarówno do badanych paliw, jak i prędkości obrotowych silnika. Natomiast po 600 i 1000 godz. pracy pompy na B100 i ON i dla obu prędkości obrotowych silnika badane parametry różniły się istotnie (poza nielicznymi wyjątkami – np. g_e) w stosunku do parametrów uzyskanych dla pompy bazowej. Stwierdzono także występowanie istotnych różnic pomiędzy parametrami roboczymi silnika w zakresie pozostałych porównań stanów pompy: p1000 i p200, p600 i p200, p1000 i p600.

Badania parametrów roboczych silnika S-4003 w warunkach polowych związane z regulacją aparatury paliwowej zostały zweryfikowane w hamowni silnikowej na podstawie charakterystyk obciążeniowych silnika dla tych samych jak w badaniach polowych paliw i przy takich samych prędkościach obrotowych silnika. W zależności od rodzaju stosowanego paliwa i rozważanego szkodliwego składnika spalin następowała redukcja lub zwiększenie zawartości szkodliwych substancji wraz ze zmianą kąta wyprzedzenia wtrysku. Opóźnienie wtrysku zredukowało emisję NO_x w spalinach dla wszystkich badanych paliw. Jest ono szczególnie uzasadnione w przypadku FAME, którego spalanie powoduje większy niż dla oleju napędowego poziom emisji tego toksycznego składnika przy takich samych nastawach układu wtryskowego. Opóźniony o 3°OWK kąt początku tłoczenia spowodował spadek koncentracji NO_x w spalinach badanego silnika o 14,3% przy prędkości maksymalnego momentu obrotowego (1600 obr.·min^{-1}) i o 12,2% przy prędkości znamionowej (2200 obr.·min^{-1}) dla B100, a dla B20 – odpowiednio o 24,8% i 21,4%, w porównaniu do zasilania silnika ON przy kącie nominalnym. Korzyści ekologiczne dotyczyły także poziomu emisji tlenku węgla i węglowodorów przy podwyższonym ciśnieniu otwarcia wtryskiwaczy. Spadek stężenia CO i HC w spalinach badanego silnika zasilanego B100 przy p_{ow} = 18,5 MPa wyniósł odpowiednio 8,5% i 8,1% (1600 obr.·min^{-1}) i 6,2% i 5,3% (2200 obr.·min^{-1}), w stosunku do ciśnienia nominalnego. Skutkiem tego emisja CO i HC obniżyła się odpowiednio o 31,1% i 29,3% przy prędkości maksymalnego momentu obrotowego silnika i o 27,9% i 25,8% przy prędkości znamionowej, w porównaniu do zasilania ON przy nominalnym kącie początku wtrysku. Dla paliwa B20 przy zwiększonym o 1,5 MPa ciśnieniu otwarcia wtryskiwaczy stwierdzono również spadek poziomu emisji obu tych składników wobec ciśnienia nominalnego w granicach 2-4%. W odniesieniu do pozostałych wyników badań przeregulowanie aparatury wtryskowej skutkowało pogorszeniem parametrów roboczych silnika dla wszystkich badanych paliw. W przypadku CO, HC i Z_{sp} opóźnienie jak

również wyprzedzenie wtrysku paliwa o 3°OWK charakteryzowało się wzrostem poziomu emisji tych związków w granicach 15-35%. Podobnie przyspieszony, jak i opóźniony wtrysk paliwa powodował wzrost zużycia paliwa, od 10,9% do 18,7%. Zmiany ciśnień otwarcia wtryskiwaczy wpłynęły na wzrost zużycia paliwa o 5,2-10,4%, stężenia NO_x o 6,1-18,3%, a także stopnia zadymienia spalin o 9,5-19,8%. Stwierdzono także, że zarówno wyprzedzenie wtrysku paliwa, jak i obniżenie ciśnienia otwarcia wtryskiwaczy w stosunku do nastaw nominalnych spowodowały wzrost mocy efektywnej N_e dla wszystkich analizowanych paliw - w granicach od 3,8% do 5,1% (α_{PT} = 25°OWK) oraz od 1,3% do 1,8% (p_{ow} = 15,5 MPa).

Wyniki analiz przeprowadzonych badań, a także moje wieloletnie doświadczenie badawcze w zakresie eksploatacji układu zasilania, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zastosowany w badaniach polowych agregatów ciągnikowych i stanowiskowych (w hamowni silnikowej) model przepływu i transformacji energii umożliwił rozdział energii użytecznej od energii wewnętrznej dyssypowanej, związanej ze stanem technicznym aparatury wtryskowej oraz procesów resztkowych o negatywnym oddziaływaniu na środowisko. Stwierdzony spadek mocy silnika o ok. 10% po 1000 godz. eksploatacji pompy wtryskowej w próbie trwałościowej dla biodiesla i oleju napędowego, stanowi 2-3% udział mocy destrukcyjnej i ok. 30% udział mocy użytecznej w stosunku do mocy cieplnej doprowadzonej z paliwem. Badania trwałościowe wykazały jednak ok. 10% wzrost jednostkowego zużycia paliwa i analogiczny spadek sprawności silnika na tle wzrostu temperatury spalin o ok. 10% oraz emisji składników toksycznych i dymienia w granicach 15-25%, tj. obserwowalnych symptomów procesów resztkowych.
2. Zrealizowane badania silników rolniczych – zasilanych biodieslem i olejem napędowym w zakresie efektywności zadymienia spalin oraz poziomu emisji składników toksycznych spalin – potwierdziły korzystny wpływ biokomponentów na środowisko przyrodnicze.
3. Przeprowadzone badania trwałościowe wykazały mniejszą dynamikę zużywania się elementów składowych (par precyzyjnych) pompy wtryskowej z użyciem biodiesla w stosunku do oleju napędowego.
4. Szczególnie istotny wpływ na niewłaściwą pracę silnika ZS ma zużycie eksploatacyjne oraz uszkodzenia rozpylaczy (końcówka rozpylająca jest najbardziej delikatną i praktycznie jedyną częścią wtryskiwacza o znacznie ograniczonej trwałości). Poważnym problemem rozpylaczy z punktu widzenia zastosowania biodiesla jest ich podatność na koksowanie i korozję, czego potwierdzeniem są cytowane w pracy wyniki badań prowadzonych w licznych ośrodkach naukowych.
5. Względna redukcja zadymienia spalin badanych silników (warunki polowe i hamowniane) zasilanych biodieslem w stosunku do zasilania olejem napędowym wynosiła 31,6%-44,3%. Emisja składników toksycznych była mniejsza o 25,5-36,8%, z wyjątkiem NO_x, którego emisja okazała się większa o 17,4-21% w porównaniu do zasilania paliwem konwencjonalnym.

6. Wykonane badania eksploatacyjne silników rolniczych wykazały niekorzystny wpływ biodiesla jako biokomponentu i samoistnego paliwa na parametry energetyczne silnika. Wzrost udziału biokomponentu skutkował większym spadkiem mocy i momentu obrotowego silnika, w przypadku paliwa B100 o 4,9-7,9%. Zużycie paliwa i temperatura spalin uległy zwiększeniu, odpowiednio o 8,3-11,1% i 10,9-12,1%, w stosunku do zasilania olejem napędowym.
7. Badania wpływu biopaliwa na zużywanie pompy wtryskowej dokonano na zmodyfikowanym i przystosowanym do długotrwałych badań trwałościowych stanowisku probierczym, w oparciu o opracowaną przez Autora metodykę pomiarów, a jego ocenę przez określenie parametrów funkcjonalnych i wymiarowych z wykorzystaniem specjalistycznego oprzyrządowania.
8. Próba trwałościowa wykazała mniejszą dynamikę zużywania się zespołów precyzyjnych pompy wtryskowej zasilanej biodieslem w porównaniu do zasilania olejem napędowym. Świadczą o tym poddane ocenie indywidualnie pasowane elementy pompy pod względem: dawkowania paliwa, ubytku masy oraz szczelności hydraulicznej. Początkowy okres eksploatacji pompy pod względem tych parametrów okazał się korzystniejszy dla oleju napędowego, ale przy dłuższym zużywaniu pompy wyraźnie mniejsze wartości tych wielkości stwierdzono dla biodiesla (ok. 10% po przepracowaniu 1000 godzin).
9. Na podstawie badań wskaźników pracy silnika ciągnikowego na stanowisku dynamometrycznym, realizowanych po kolejnych okresach zużywania pompy wtryskowej aż do 1000 godz. pracy pompy, uzyskano mniejszy wzrost emisji CO i HC, zużycia paliwa, zadymienia i temperatury spalin oraz mniejszą stratę mocy w stosunku do pompy bazowej dla silnika zasilanego biodieslem przy prędkości maksymalnego momentu obrotowego, natomiast przy prędkości znamionowej – w przypadku zasilania silnika olejem napędowym. Wzrost stężenia NO_x w spalinach dla silnika zasilanego paliwem estrowym i konwencjonalnym przy obu prędkościach obrotowych silnika kształtował się na podobnym poziomie.
10. Zrealizowane badania wykazały znaczny wpływ zmian nastaw regulacyjnych układu wtryskowego na energetyczne parametry pracy silnika ciągnikowego i poziom emisji spalin. Zarówno badania polowe, jak i weryfikacyjne w hamowni silnikowej wykazały, że opóźnienie wtrysku obniża poziom emisji NO_x, co jest szczególnie istotne przy zasilaniu silnika biodieslem, którego spalanie cechuje wzrost emisji NO_x w stosunku do spalania oleju napędowego przy tym samym wyprzedzeniu wtrysku. Podobnie emisja CO i HC okazała się mniejsza w przypadku podwyższonego ciśnienia otwarcia wtryskiwaczy w stosunku do ciśnienia nominalnego dla silnika zasilanego paliwami na bazie roślinnej (B20, B100). W przypadku pozostały badanych parametrów, przeregulowanie aparatury wtryskowej negatywnie oddziaływało na wskaźniki pracy silnika.
11. Z badań polowych wynika, że osiągnięcie przez silnik najwyższej wartości współczynnika wykorzystania mocy nominalnej silnika wynoszącej ok. 0,80 (orka na

głębokości roboczej 0,28 m) wskazuje na optymalne wykorzystanie mocy ciągnika, a tym samym na wydajną i ekonomiczną jego pracę oraz korzyści ekologiczne.

12. W problematyce badawczej podstawę analizy stanowią szczegółowe obliczenia statystyczne istotności występujących zależności. Zastosowane statystyczne testy Tukey'a, Duneta oraz procedura SimReg do testowania par wielomianów (równań regresji), posłużyły do oceny istotności różnic w zakresie dawkowania paliwa, ubytku masy par precyzyjnych oraz parametrów pracy silnika w badaniach polowych i hamownianych. Uzyskano istotne różnice w dawkowaniu paliwa i wskaźnikach pracy silnika już po 200 godzinnym okresie zużywania pompy wtryskowej na biodieslu i oleju napędowym, a także poza nielicznymi wyjątkami dla zastosowanych zmian nastaw regulacyjnych aparatury wtryskowej. Nie stwierdzono istotnych różnic ubytku masy poszczególnych zaworków tłoczących, co świadczy o ich równomiernym zużywaniu.
13. Analiza regresji wykazała dobre dopasowanie krzywych teoretycznych do rzeczywistych zależności uzyskanych na drodze doświadczalnej. Wskazują na to wartości współczynnika determinacji R^2, które w przypadku parametrów roboczych aparatury wtryskowej i silnika dla badanych paliw przeważnie przekraczają 0,9.
14. Z analizy przeprowadzonych badań wynika, że szeroki zakres obciążeń silnika ciągnika rolniczego ściśle związany z rodzajem prowadzonych zabiegów agrotechnicznych, a także rodzajem i właściwościami gleby może posłużyć do opracowania testów polowych ciągników rolniczych ukierunkowanych na optymalizację procesu dymienia i emisji toksycznych składników spalin (analogicznych do testów przeprowadzanych dla pojazdów samochodowych).
15. Z uwagi na większy o 5-10% spadek mocy i momentu obrotowego silnika zasilanego biodieslem w porównaniu do oleju napędowego na tle zwiększonego o ok. 10% zużycia paliwa, wykonywanie energochłonnych zabiegów uprawowych może być utrudnione ze względu na podwyższone koszty eksploatacji ciągnika. Ponadto w znacznym stopniu wzrasta emisyjność NO_x. Biorąc powyższe pod uwagę, zaleca się wykonywanie cięższych prac polowych zasilając silnik ON, ewentualnie, jak wykazały badania – paliwami B10 i B20.
16. Oczekiwany jest wzrost udziału w sektorze paliwowym biopaliw nowej generacji, wytwarzanych z produktów nieżywnościowych, najlepiej różnego pochodzenia odpadów np. drzewnych (lignocelulozy) – biodiesel i bioetanol II generacji, biogaz, których zastosowanie wymagać będzie przeprowadzenia badań na rzeczywistych obiektach.

Do najważniejszych osiągnięć prezentowanego dorobku należy:

1. Opracowanie modelu przepływu i transformacji energii w silniku ciągnika rolniczego zasilanego FAME, olejem napędowym i ich mieszaninami, ze względu na stan techniczny aparatury wtryskowej. Stwierdzono, że taki model może być szczególnie istotny w rolnictwie, z uwagi na to, że utrata właściwych cech funkcjonalnych układu wtrysku paliwa jest przyczyną ponad 50% niesprawności silników rolniczych

i nasilenia procesów resztkowych (zróżnicowane warunki agrotechniczne pracy agregatów rolniczych, zróżnicowane procesy uprawy roślin, duże zapylenie powietrza, często niewłaściwa obsługa ciągników itp.).

2. Przeprowadzenie szczegółowej, a zarazem obiektywnej oceny parametrów roboczych silników ciągnikowych zasilanych biopaliwem oraz paliwem konwencjonalnym w aspekcie zużycia i rozregulowania aparatury paliwowej zgodnie z modelem własnym. Ocena została przeprowadzona przy wykorzystaniu różnych badań: polowych, stanowiskowych w hamowni silnikowej, a także długotrwałych badań trwałościowo-zużyciowych.
3. Kompleksowa ocena poszczególnych składników modelu bilansu energetycznego w zapisie transformacji energii wewnętrznej dyssypowanej, związanej ze stanem technicznym układu wtryskowego oraz procesów resztkowych o negatywnym oddziaływaniu na środowisku – w stosunku do mocy cieplnej doprowadzonej z paliwem.
4. Opracowanie innowacyjnej metody badań w zakresie długotrwałej eksploatacji aparatury paliwowej. Wyniki takich badań poparte istotnościami statystycznymi, uzasadniają możliwość usprawniania układu paliwowego ciągników rolniczych w celu znacznego przedłużenia czasu jego eksploatacji.

Przedstawione wyniki badań mogą mieć praktyczne zastosowanie, gdyż wdrażanie innowacyjnych rozwiązań w pojazdach czy produkcja nowej generacji paliw tradycyjnych i biopaliw wiąże się z koniecznością ich testowania w badaniach trwałościowo-zużyciowych, a te z kolei mogą być podstawą współpracy pomiędzy przedsiębiorcami a pracownikami naukowymi, także w dziedzinie inżynierii rolniczej, co odpowiada aktualnym zaleceniom dotyczącym rozwoju nauki polskiej.

Literatura źródłowa

1. Agarwal A.K. 2007. Biofuels (alcohol and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science, 33(3), 233-271.
2. Amin S. 2009. Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. Energ. Convers. Manager, 50, 1834-1840.
3. Alptekin E., Canakci M. 2009. Characterization of the key fuel properties of metyl ester-diesel fuel blends. Fuel, 88, 75-80.
4. Baczewski K., Kałdoński T. 2008. Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKiŁ, Warszawa, 48-49, 131-144.
5. Bajdor K., Biernat K. 2011. Biopaliwa jako alternatywne nośniki energii w silnikach spalinowych, klasyfikacja i perspektywy rozwoju. Archiwum Motoryzacji, 1, 5-19.
6. Batko B., Dobek T. 2009. Badanie smarności estrów oleju rzepakowego i ich mieszanin z olejem napędowym przy zastosowaniu wybranych metod badawczych. W: W. Piekarski (red.). Motoryzacyjne skażenie środowiska. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 58-67.
7. Blaschke T., Biberacher M., Gadocha S., Schardinger I. 2013. 'Energy landscapes': Meeting energy demands and human aspirations. Biomass and Bioenergy 55, 3–16.
8. Bocheński C.I. 1994. Uwagi do optymalizacji procesu spalania w silniku z zapłonem samoczynnym. Folia Societatia Scientarium. Lublinessis Technika, 2, 17-22.
9. Bocheński C.I. 2003. Biodiesel paliwo rolnicze. Wyd. SGGW, Warszawa, 105-112, 152-166.
10. Burski Z., Wasilewski J. 2016. Antropotechnika pojazdu w eksploatacji polowej i transporcie żywności. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, Lublin, 52-93.
11. Carraretto C., Macor A., Mirandola A., Stoppato A., Tonon S. 2004. Biodiesel as alternative fuel: Experrimental analysis and energetic evaluations. Energy, 29, 2195-2211.

12. Cempel C. 1997. Modele ewolucji systemów działaniowych. Probl. Eksploat., 3 (26), 47-69.
13. Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnol. Adv., 25, 294-306.
14. Chuck CH.J., Bannister Ch.D., Jenkins R.W., Lowe J.P., Davidson M.G. 2012. A comparison of analytical technigues and the products formed during the decomposition of biodiesel under accelerated conditions. Fuel, 96, 426-433.
15. Chum H.L., Overend R.P. 2001. Biomass and renewable fuels. Fuel Processing Technology, 71, 187-195.
16. Cisek J., Mruk A., Szczypiński-Sala W. 2012. Wpływ biopaliw (FAME) na właściwości eksploatacyjne rozpylaczy paliwa silnika z zapłonem samoczynnym. Czasopismo Techniczne. Mechanika. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków, zesz. 8, 233-244.
17. Cieślikowski B. 2010. Kształtowanie cech fizycznych i chemicznych biopaliw RME w aspekcie doboru odmian rzepaku i eksploatacji pojazdów rolniczych. Acta Agrophysica, 15(1), 33-43.
18. Demirbas A. 2009. Progress and recent trends in biodiesel fuels. Energy Conversion and Menagement, 50, 14-24.
19. Duda A., Łukasik Z., Skręt I., Kosowicz L. 2002. Estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego jako paliwo lub komponent olejów napędowych. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 104, 23-24.
20. Fakuda H., Kondo A., Noda H. 2001. Biodiesel fuel production by transestryfication of oils. Journal of Boscience and Bioengineering, Vol. 92, No. 5, 405-416.
21. Foody G. M. 2003. Remote sensing of tropical forest environments: towards the monitoring of environmental resources for sustainable development. International Journal of Remote Sensing 24 (20), 4035–4046.
22. Graboski M.S., McCormick R.L. 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. Progress in Energy and Combustion Science, 24, 125-164.
23. Gradziuk P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościk B. 2003. Biopaliwa. W: P. Gradziuk (red.). Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 127-133.
24. GUS 2015. Energia ze źródeł odnawialnych w 2014 r. Informacje I opracowania statystyczne. Warszawa.
25. Hepbasli A. 2008. A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (3), 593–661.
26. Jabłońska M. 2014. Ocena wdrożenia koncepcji ILUC na rozwój przemysłu biopaliw. Nafta-Gaz, 4, 243-255.
27. Jackowska I., Krasucki W., Piekarski W., Tys J., Zając G. 2004. Rzepak z pola do baku. PWRiL, Warszawa, 75-78, 90-96.
28. Jackowska I., Tys. J. 2009. Rzepak w gospodarce energetycznej. W: I. Jackowska (red.), Biomasa jako źródło energii. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 51-58.
29. Jakóbiec J. 2006. Ocena produktów z oleju rzepakowego przeznaczonych na paliwa silnikowe. Rozprawa habilitacyjna, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków, 29-35.
30. Jamishidian F., Zhang Y., Liu W., Jamshidian M. 2005. SimReg: A software including some new developments in multiple comparison and simultaneous confidence bands for linear regression models. Journal of Statistical Software, 12(2), 1-23.
31. Jarosz Z., Faber A. 2015. Wpływ wdrożenia pośredniej zmiany użytkowania gruntów na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki Naukowe, t. 17, z. 2, 87-93.
32. Juściński S. 2014. Naprawy gwarancyjne ciągników rolniczych jako element logistycznej obsługi klienta. Logistyka, 6, 118-125.
33. Juściński S., Piekarski W. 2010. Eksploatacja pojazdów rolniczych w aspekcie struktury popytu na usługi przeglądów serwisowych. Eksploatacja i Niezawodność, 1(45), 59-68.
34. Juściński S., Szczepanik M. 2008. Naprawy gwarancyjne i pogwarancyjne ciągników rolniczych jako potransakcyjne elementy logistycznej obsługi klienta. Inżynieria Rolnicza, 2(100), 67-74.
35. Knothe G. 2007. Some aspects of biodiesel oxidative stability. Fuel Processing Technology, 88, 669-677.
36. Knothe G., Steidley K.R. 2005. Lubricity of components of biodiesel and petrodiesel. The origin of biodiesel lubricity. Energy and Fuels, 19, 1192-1200.
37. Kolasa-Więcek A. 2012. Analiza składowych głównych w ocenie zależności sposobu użytkowania gruntów z emisją gazów cieplarnianych z rolnictwa. Inżynieria Rolnicza, t. 2, z. 2(137), 105-112.
38. Koniuszy A. 2002. Wpływ przecieków biopaliwa RME na wybrane właściwości użytkowe oleju silnikowego w maszynach samobieżnych i pojazdach rolniczych. Rozprawa doktorska, AR Lublin, 50-71.
39. Kowalski K. 2001. Model procesu zasilania silnika spalinowego paliwami odnawialnymi. Rozprawa doktorska, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
40. Lotko W. 1997. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi. WN-T, Warszawa, 17-20, 34-43.

41. Łukasik Z., Łenyk M. 2008. Działanie korozyjne paliwa biodiesel (FAME) – przyczyny i przeciwdziałanie. Archiwum Motoryzacji, 1, 51-68.
42. Maniak B., Szmigielski M., Piekarski W., Markowska A. 2009. Physochemical chan ges of post Flying sunflower oil. Internationale Agrophysics, 23(3), 243-248.
43. Mazanek A. 2010. Badanie biopaliw w zakresie kompatybilności z olejem smarowym podczas eksploatacji w wybranych silnikach o zapłonie samoczynnym. Rozprawa doktorska, UP w Lublinie, 7-8.
44. Meng X., Yang J., Xu X., Zhang L., Nie Q., Xian M. 2009. Biodiesel production from oleaginous microorganism. Renew. Energ., 34, 1-5.
45. Michalski R. 2009. Rozwój produkcji biopaliw pierwszej i drugiej generacji. W: W. Piekarski (red.), Biopaliwa i smary ekologiczne. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 11-21.
46. Morón-Villarreyes J.A., Soldi C., de Amorim A.M., Pizzolatti M.G., de Mendonca Jr. A.P., D'Oca M.G.M. 2007. Diesel/biodiesel proportion for by-compression ignition engines. Fuel, 86 (12-13), 1977-1982.
47. New Technologies 2014. MOTROL – special edition. Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, Lviv National Agrarian University in Dublany, National Academy of Nature Protection and Resort Building in Simferopol, University of Rzeszów, Lublin-Lviv-Rzeszów-Simferopol, 15, 31-33, 38, 67, 201.
48. Papapostolou C., Kondili E., Kaldellis J. K. 2011. Development and implementation of an optimisation model for biofuels supply chain. Energy 36 (10), 6019–6026.
49. Pągowski Z. 1993. Zastosowanie paliw roślinnych w silnikach wysokoprężnych – badania i perspektywy. Mat. Konferencji Naukowej „Paliwa alternatywne do silników spalinowych", IBMER, Warszawa, 55-63.
50. Rostek E. 2011. Biopaliwa pierwszej i drugiej generacji – metody otrzymywania i właściwości. Logistyka, 6, 2519-2526.
51. Sitnik L. J. 2004. Ekopaliwa silnikowe. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 160-168, 236-254, 300-309.
52. Skręt I., Urzędowska W. 2008. Biopaliwa nasza szansa czy problem. Naft-Gaz, 12, 33-39.
53. Skriegen E. 1993. Kaltlagerung von kornerfruchten in silos. Die Muhle und Mischfluttertechnik, 130 (11), 125-129.
54. Soriano N.U JR., Migo V.P., Matsamura M. 2006. Ozonized vegetable oil as pour point depressat for neal biodiesel. Fuel, 85 (4), 565-574.
55. Stępień A. 2015. Uprawy na cele wytwórcze biopaliw transportowych. Nowe wyzwania związane ze zmianami w prawodawstwie UE. Seminarium p.t. "Uprawy energetyczne w centralnej i wschodniej Europie", Warszawa, 23 kwietnia 2015.
56. Struś M. 2012. Ocena wpływu biopaliw na wybrane właściwości eksploatacyjne silników o zapłonie samoczynnym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 109-120.
57. Sułek M.W., Kulczycki A., Małysa A. 2006. Właściwości smarne kompozycji estrów metylowych kwasów tłuszczowych i oleju napędowego. Trybologia, 2, 27-44.
58. Szlachta Z. 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. WKiŁ, Warszawa, 24-44, 81-88.
59. Szmigielski M., Maniak B., Piekarski W., Zając G. 2009. Wybrane cechy posmażalniczego oleju rzepakowego jako surowca do produkcji komponentów paliw silnikowych w aspekcie zróżnicowanego asortymentu dań smażonych. W: W. Piekarski (red.), Biopaliwa i smary ekologiczne. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 41-51.
60. Thomson H., Liddell C. 2015. The suitability of wood pellet heating for domestic households: A review of literature. Renewable and Sustainable Energy Reviews 42, 1362–1369.
61. Tys. J., Paul G., Kasprzycka A., Król A. 2009. Wykorzystanie alg do produkcji biowodoru i biometanu w świetle najnowszych badań. W: J. Tys (red.), Wykorzystanie surowców rolniczych w energetyce. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 11-18.
62. Urzędowska W., Stępień Z. 2009. Monitorowanie degradacji oleju smarowego współdziałającego z różnymi paliwami w warunkach symulacyjnych testów w silniku Diesla. Przemysł chemiczny, 88(7), 789-795.
63. Wasilewski J., Krasowski E. 2015. Tłokowe silniki spalinowe. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, Lublin, 25-40, 135-138.
64. Wasilewski J., Krzaczek P. 2014. Emisja toksycznych związków ze spalania biodiesla. Raport z badań. Przemysł chemiczny, 93(3), 343-346.
65. Zając G., Wasilewski J. 2009. Parametry energetyczne silników wysokoprężnych zasilanych biodieslem. W: W. Piekarski (red.), Biopaliwa i smary ekologiczne. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 52-61.
66. Ziółkowska M. 2009. Proces żelowania olejów silnikowych w czasie eksploatacji pojazdów zasilanych olejem napędowym. Przemysł chemiczny, 88(3), 268-271.
67. Żak G., Ziemiański L., Stępień Z., Wojtasik M. 2013. Problemy związane z tworzeniem się osadów na elementach układów wtryskowych nowoczesnych silników Diesla – przyczyny, metody badań, przeciwdziałanie. Nafta-Gaz, 9, 333-341.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

5.1. Działalność prowadzona przed uzyskaniem stopnia doktora

Zagadnienia motoryzacyjne zacząłem zgłębiać jeszcze na studiach, w trakcie pisania pracy magisterskiej dotyczącej zaprojektowania stanowiska do badania liczby oktanowej benzyn, w Zakładzie Silników Spalinowych Akademii Rolniczej w Lublinie. Rok później, w 1989 roku, podjąłem pracę w tym samym Zakładzie, początkowo jako asystent stażysta, a następnie jako asystent. Moje zainteresowanie silnikami spalinowymi wiązało się z faktem powierzenia mi przez ówczesnego Kierownika Zakładu prof. dr hab. Eugeniusza Krasowskiego ćwiczeń z przedmiotu „Silniki spalinowe" na Wydziale Techniki Rolniczej (obecnie Inżynierii Produkcji), a parę lat później całego przedmiotu.

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora byłem współautorem 12 prac opublikowanych w recenzowanych czasopismach. W 1991 roku Kierownik Zakładu Silników Spalinowych, a później Katedry Pojazdów i Silników prof. dr hab. Eugeniusz Krasowski nawiązał współpracę z Katedrą Fizyki, której Kierownikiem był prof. dr hab. Roman Koper. Współpraca dotyczyła prowadzenia wspólnych prac badawczych z zakresu emisji składników spalin silników wysokoprężnych i jej oceny przy wykorzystaniu spektrometrii masowej. Efektem współpracy były wspólne publikacje (poz. II.D.1-3).

W latach 1992-1997 brałem czynny udział w konferencjach naukowych. Prace II.K.1-2 zostały przedstawione na III Międzynarodowej Konferencji Naukowej „XV lat Wydziału techniki Rolniczej i Leśnej" - SGGW Warszawa 1992 (wygłoszone referaty), praca II.K.3 na Sympozjum Naukowym EKODIESEL'94 – SGGW Warszawa 1994 (wygłoszony referat), praca II.K.4 na Konferencji Naukowej KONMOT'94 (wygłoszony referat), praca III.B.2 na Jubileuszowej Konferencji „25 lat kształcenia na kierunku mechanizacji rolnictwa w Akademii Rolniczej w Lublinie (poster) oraz praca II.K.5 na I Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej MOTROL'97 (wygłoszony referat).

Tematyka prac opublikowanych w materiałach konferencyjnych, a także innych opracowaniach (poz. II.D.4-6) podejmuje głównie problemy realizowanych parametrów roboczych silników ciągnikowych, w szczególności emisji toksycznych składników spalin i dymienia, w aspekcie zużycia aparatury wtryskowej. Jej zużycie oraz niewłaściwe parametry tłoczenia i wtrysku paliwa są przyczyną ponad 50% przyczyn niesprawności silników wysokoprężnych. W przypadku silników eksploatowanych w rolnictwie, procesy zużyciowe są potęgowane przez pracę pojazdów rolniczych w trudnych i zróżnicowanych warunkach, przy dużym zapyleniu powietrza. Zebrane doświadczenia naukowe w tym zakresie wykorzystałem w trakcie realizacji badań stanowiących część badawczą rozprawy doktorskiej. Badania nie obejmowały jednak próby trwałościowego zużycia elementów aparatury paliwowej, które są podstawą oceny przebiegu zużycia w czasie. Ocenę stopnia zużycia badanych elementów (wybranych spośród kilkudziesięciu zużytych) ograniczono do pomiaru szczelności hydraulicznej metodą czasu spadku ciśnienia. Z kolei szczegółowe badania trwałościowo-zużyciowe aparatury wtryskowej w kontekście zasilania biodieslem, stanowią podstawę badawczą przygotowanej przeze mnie monografii habilitacyjnej (pkt. 4 niniejszego autoreferatu). W marcu 1999 r. przed Radą Wydziału Techniki Rolniczej AR

w Lublinie obroniłem z wyróżnieniem pracę doktorską. Za pracę doktorską otrzymałem nagrodę indywidualną II-stopnia JM Rektora AR w Lublinie (II.J.1).

5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora

Poza kierunkiem badań określonym w punkcie 4 niniejszego autoreferatu (jako monografia habilitacyjna), moje badania po uzyskaniu stopnia doktora obejmowały następujące zagadnienia i kierunki:

- Ciągnik rolniczy w systemie antropotechnicznym SAT (pojazd – człowiek – środowisko).
- Energochłonność ruchu pojazdu w transporcie żywności.
- Energochłonność wybranych procesów produkcyjnych.
- Energetyczne wykorzystanie wybranych rodzajów biomasy stałej.
- Bioterroryzm w transporcie drogowym żywności i zwierząt.

Systemy antropotechniczne (SAT) są to systemy typu człowiek – obiekt techniczny (np. pojazd) realizujące określone zadania w swoim otoczeniu. Antropotechnika stawia sobie za cel osiągnięcie większej efektywności działań człowieka oraz wydajności pracy, a także odpowiednie ukształtowanie warunków technicznych, w jakich prowadzona jest działalność ludzka. Wzajemne korelacje pomiędzy podsystemami systemu SAT, tj. operatorem-kierowcą, pojazdem i otoczeniem, zweryfikowałem szeregiem przeprowadzonych w tym zakresie badań w dziedzinie eksploatacji polowej. Skupiłem się głównie na ocenie energetycznego i ekologicznego oddziaływania rolniczych agregatów rolniczych na środowisko przyrodnicze. Analizie poddano spaliny pochodzące ze spalania oleju napędowego (prace II.A.1, II.D.6, II.D.14-17, II.D.20, II.D.23-24, II.K.6-7, III.B.1, II.B.12) oraz spaliny pochodzące ze spalania biodiesla (II.D.22, II.D.26, II.D.29-30). Analizowałem także parametry energetyczne silnika ciągnikowego zasilanego FAME i ON, których wyniki zaprezentowałem w pracach II.D.7, II.D.9, II.D.13, II.D.18, II.D.21, II.D.25, II.D.27, II.D.31-32, II.K.10). Poza negatywnym oddziaływaniem spalin, ocenie poddano także oddziaływanie drgań i hałasu generowanych przez silnik ciągnika rolniczego na środowisko, wpływ zapylenia powietrza na pracę silnika oraz cechy psychomotoryczne operatora-kierowcy, które to problemy badawcze opublikowałem wspólnie z kolegą prof. dr hab. Zbigniewem Burskim w monografii (praca II.D.40).

Współczesne ciągniki rolnicze wyposażane są w coraz większą liczbę elementów elektronicznych oraz systemów opartych na technologiach informatycznych. Brak możliwości wykonania niektórych napraw samodzielnie przez użytkowników, istotnie ogranicza utrzymanie pojazdów w gotowości technicznej. Dlatego też, użytkownicy nowoczesnych ciągników zmuszeni są do ich serwisowania w autoryzowanych stacjach obsługi. Problemy logistycznych aspektów realizacji usług w ASO zostały przedstawione w pracy II.D.37. Tendencje w rozwoju ciągników rolniczych oraz silników wysokoprężnych zaprezentowano odpowiednio w pracach II.D.34 oraz II.D.28.

W roku 2000 Katedra nawiązała współpracę z Narodowym Uniwersytetem Rolniczym Ukrainy w Kijowie. Współpraca dotyczyła prowadzenia wspólnych prac badawczych oraz organizacji konferencji MOTROL. W kolejnych latach (2001-2004) z innymi ośrodkami naukowymi za naszą wschodnią granicą, tj., Uniwersytetem Rolniczym w Odessie,

Kerczeńskim Morskim Technologicznym Instytutem, Lwowskim Narodowym Uniwersytetem Rolniczym oraz Mykołajewskim Państwowym Uniwersytetem Rolniczym. Efektem współpracy były wspólne publikacje (II.D.8, II.D.10-12, II.D.19).

Prowadziłem również badania dotyczące energochłonności ruchu pojazdu w drogowym transporcie żywności w różnych warunkach infrastrukturalnych. Analizowano fazy kinetyczne prędkości jazdy w oparciu o zapis tachograficzny. Uzyskane dystrybuanty empiryczne faz przyspieszania i opóźniania prędkości jazdy pozwoliły na określenie strat kinetycznych pojazdu (zużycia paliwa). Ocenę strat energii kinetycznej pojazdu wyznaczonych na podstawie dystrybuant zapisu oscylogramu cyfrowego w miejskiej infrastrukturze komunikacyjnej przedstawiono w pracy II.A.2, a w systemie autostradowym transeuropejskiej sieci transportowej TEN-T w infrastrukturze Francji, Niemiec i Polski – w pracy II.A.3. Tachograficzny zapis cyfrowy, z uwagi na olbrzymią pamięć systemu umożliwiającą zapis do 40 tys. pomiarów i rozdzielczość pomiaru do 1 s., pozwala na określenie statystycznej istotności wyników badań. Istotność różnic dystrybuant empirycznych zbadano testem Smirnowa-Kołmogorowa. Test ten wykazał, że pomimo określonych warunków wyszkolenia, cech psychofizycznych kierowców itp. mogą też wystąpić zmienne warunki jazdy, które wywołują istotne różnice pomiędzy fazami kinetycznymi prędkości. Badania tego typu mogą posłużyć do stworzenia aplikacji komputerowej określającej parametry trakcyjne i reakcje kierowców w celu efektywniejszego zarządzania tranzytem w firmach transportowo-spedycyjnych. Z kolei ocenę faz kinetycznych prędkości jazdy w warunkach pozamiejskich (drogi ekspresowe, autostrady) oraz miejskich uzyskanych na podstawie zapisu analogowego przedstawiono odpowiednio w pracach II.D.35 i II.D.38. Natomiast w pracy II.D.39 dokonano analizy porównawczej strat kinetycznych pojazdu w zapisie analogowym (na odcinkach autostrad Niemiec i Hiszpanii) oraz cyfrowym (na odcinkach autostrad Francji, Polski i Niemiec). Dystrybuanty empiryczne odpowiadające fazom przyspieszania i hamowania porównano wykorzystując wskaźnik podobieństwa rozkładów. Zapis cyfrowy w porównaniu do analogowego pozwolił na dokładniejsze wyodrębnienie wpływu warunków zewnętrznych jazdy, z uwagi na większe zróżnicowanie wskaźnika WPR.

Ocenę energochłonności procesu produkcji piwa w wybranych zakładach piwowarskich przedstawiłem wspólnie z prof. Zbigniewem Burskim w kolejnej naszej wspólnej monografii (poz. II.D.36). Zawarto w niej charakterystykę procesu technologicznego wytwarzania piwa i jego komputerowego sterowania oraz wyniki wieloletnich badań zużycia energii (elektrycznej i cieplnej), wody i niektórych materiałów produkcyjnych, w aspekcie wielkości produkcji, a także wytwarzania ścieków i kosztów ich odprowadzania. Przeprowadzono ocenę istotności statystycznych wydajności produkcji oraz strat eksploatacyjnych przykładowych linii rozlewu piwa.

Oprócz wykorzystania FAME jako paliwa odnawialnego, w zakres moich zainteresowań wchodzi wykorzystanie biomasy jako odnawialnego źródła energii. Tej tematyce poświęcone są prace II.A.4, II.A.6, III.B.10.

Publikacja II.A.4 dotyczyła zagadnień związanych z wykorzystaniem biomasy w instalacjach wykorzystywanych do ogrzewania domów jednorodzinnych. Celem przeprowadzonych badań była analiza charakterystyki emisyjnej kotła małej mocy, zasilanego

peletami ze ślazowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) i dostępnymi na rynku peletami drzewnymi. W badaniach wykorzystano kocioł o mocy 32 kW z automatycznym załadunkiem paliwa, przystosowany do spalania peletów drzewnych. Prowadząc badania rejestrowano przebiegi czasowe zmian stężeń O_2, CO, CO_2, NO, NO_2, SO_2, rejestrowane na wylocie z kotła. Stwierdzono, że spalanie peletów z różnego rodzaju biomasy rolniczej w kotłach małej mocy przeznaczonych do spalania peletów drzewnych może wiązać się z wyższymi emisjami toksycznych składników spalin w stosunku do podstawowego paliwa, jakim są pelety drzewne.

Praca II.A.6 dotyczyła badań wybranych, odpadowych produktów przetwórstwa rolno-spożywczego tj. łuski orzecha włoskiego, łuski orzecha laskowego i łuski słonecznika, w aspekcie ich energetycznego wykorzystania. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że łuska z orzecha laskowego i włoskiego oraz łuska nasion słonecznika stanowią duży potencjał odnawialnych i zrównoważonych zasobów energetycznych, a parametry te są porównywalne z parametrami surowców drzewnych.

W pracy III.B.10 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźników za pomocą, których można przewidywać zachowania się popiołu dla wybranych rodzajów biomasy. W badaniach wykorzystano 9 najpopularniejszych w Polsce źródeł biomasy wykorzystywanej na cele energetyczne, była to biomasa odpadowa z przemysłu drzewnego w postaci trociny drewna sosnowego, biomasa leśna w postaci drewna dębowego, roślin energetycznych: wierzba krzewiasta, topola, ślazowiec pensylwański, miskant olbrzymi, pozostałości z produkcji rolniczej: słoma pszenna i rzepakowa oraz odpady z przemysłu spożywczego w postaci łuski słonecznika. Analizując obliczone wskaźniki stwierdzono, że najwyższym ryzykiem żużlowania i szlakowania charakteryzowała się łuska słonecznika, najmniejszym biomasa miskanta olbrzymiego i słoma pszenna.

Prowadziłem również badania dotyczące istniejących zagrożeń biologicznych żywności oraz dobrostanu zwierząt w transporcie drogowym, stwierdzonych w wyniku kontroli medyczno-weterynaryjnej. Transport żywności odgrywa bardzo ważną rolę, gdyż od niego w dużej mierze zależy zdrowie konsumentów. Ten szczególny rodzaj transportu wymaga staranności i zachowania standardów sanitarnych. Nie istnieją ogólne ograniczenia dotyczące przewozu produktów pochodzenia zwierzęcego w transporcie wewnątrz UE, ponieważ wszystkie kraje Unii muszą stosować wspólne normy weterynaryjne. Istnieje potrzeba określenia aktualnie występujących zagrożeń w przypadku produktów importowanych spoza UE. Taki był cel pracy II.A.5, w której dokonano analizy sytuacji na polskiej części wschodniej granicy UE. Przeanalizowano dane dotyczące liczby przeprowadzonych kontroli i odrzuconych przesyłek z uwagi na stan epidemiologicznego zagrożenia. Dane te poparto statystyczną analizą korelacyjną. Z uzyskanych danych i przeprowadzonych obliczeń wynika, że istotne zagrożenie biologiczne dla UE na granicy wschodniej zachodzi od strony Białorusi. W pracy III.B.9 przedstawiono wyniki kontroli dobrostanu zwierząt na przykładzie bydła, poparte analizą korelacyjną. Kolejna praca dotycząca kontroli dobrostanu zwierząt, z uwzględnieniem przewidzianych w prawie przewozowym zwierząt punktach jej przeprowadzania (miejsca wysyłki, odbioru, odpoczynku, sprzedaży oraz kontrole podczas transportu) jest aktualnie recenzowana w czasopiśmie z listy A.

W latach 2003-2006 oraz 2007-2010 wchodziłem w skład Komisji V Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa Oddziału PAN w Lublinie. W roku 2017 odbyłem tygodniowy staż naukowy w zakresie „Badań eksploatacyjnych maszyn do ciśnieniowej aglomeracji materiałów sypkich" odbyty w Katedrze Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska Politechniki Białostockiej, który umożliwił wymianę doświadczeń praktycznych związanych z peletowaniem, energochłonnością procesu ciśnieniowej aglomeracji biomasy oraz emisyjnością toksycznych związków spalin powstałych podczas spalania biomasy roślin energetycznych (III.L.1). W roku 2015 za działalność naukową otrzymałem nagrodę III-stopnia od JM Rektora UP w Lublinie (II.J.2).

6. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzatorskie

Oprócz działalności naukowo-badawczej za szczególnie istotną uważam działalność dydaktyczną. Prowadziłem lub aktualnie prowadzę zajęcia, w tym wykłady i ćwiczenia, na studiach I i II stopnia z przedmiotów, takich jak: Budowa i eksploatacja silników spalinowych, Silniki spalinowe, Biopaliwa i maszyny cieplne, Gospodarowanie energią w systemach transportowych, Gospodarka energetyczna, Gospodarka paliwowo-smarowa. Treści programowe, przygotowane sylabusy oraz materiały dydaktyczne do tych przedmiotów stanowią mój autorski wkład do dydaktyki.

W ramach opieki naukowej nad studentami w latach 1999-2018 byłem promotorem 34 prac dyplomowych magisterskich i 52 prac dyplomowych inżynierskich, a także recenzentem 86 prac (37 magisterskich i 49 inżynierskich).

Jestem współautorem podręcznika akademickiego pt. „Tłokowe silniki spalinowe" – I i II wydanie (III.I.2.1-2) przeznaczonego głównie dla studentów kierunku transport oraz specjalności technika motoryzacyjna i energetyka. Za działalność dydaktyczną otrzymałem w roku 2013 nagrodę III-stopnia JM Rektora UP w Lublinie (III.D.1).

Angażując się w działalność organizacyjną Katedry aktywnie uczestniczyłem w przygotowaniu i obsłudze Konferencji Naukowych: MOTROL, EKOENERGIA, ENERGIA I ŚRODOWISKO będąc członkiem Komitetu Organizacyjnego konferencji (III.C.1-11). W roku 2011 opracowałem ekspertyzę dotyczącą technicznego wyposażenia hamowni silnikowej realizowaną w ramach budowy laboratoriów badawczych Centrum Innowacyjno-Wdrożeniowego Nowych Technik i Technologii w Inżynierii Rolniczej, projekt realizowany w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej (II.E.1). Hamownia jest obecnie jednym z laboratoriów badawczych Katedry Energetyki i Środków Transportu UP w Lublinie.

Biorę również czynny udział w działalności organizacyjnej na rzecz Wydziału Inżynierii Produkcji. W latach 1990-1994 byłem członkiem Komisji Rekrutacyjnej na Wydziale Techniki Rolniczej AR w Lublinie. Wchodzę w skład Rady Programowej kierunków Technika Rolnicza i Leśna oraz Inżynieria Rolnicza i Leśna na lata 2016-2020. Jestem współautorem efektów kształcenia dla obu tych kierunków (studia inżynierskie i magisterskie).

W ramach zainteresowań i podnoszenia własnych kwalifikacji ukończyłem dwa dwutygodniowe szkolenia zawodowe w zakresie: „Diagnostyki oraz naprawy aparatury wtryskowej silników spalinowych o zapłonie samoczynnym" (III.Q.1) oraz „Diagnostyki, naprawy, sprawdzania, wzorcowania i legalizacji wyposażenia Stacji Obsługi Pojazdów oraz Stacji Kontroli Pojazdów" (III.Q.2) odbytych odpowiednio w DIESEL SERVICE WŁOCH oraz

w AUTO – STOMA Patrycjusz Stoma. Szkolenia te umożliwiły mi zapoznanie się z budową i funkcjonowaniem nowoczesnej aparatury kontrolno-pomiarowej oraz linii diagnostycznych do oceny ważniejszych układów pojazdu, współczesnymi metodami diagnozowania niesprawności, naprawą i regeneracją podzespołów silnika i pojazdu, a także z wzorcowaniem i legalizacją wybranych urządzeń diagnostycznych.

7. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO

Efektem prowadzonych przeze mnie badań, oprócz **monografii habilitacyjnej**, związanych z moimi zainteresowaniami naukowymi jest **68 publikacji naukowych,** z których **6** jest indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR) i posiadające Impact Factor (6,548). Pozostałe **62** publikacje to prace w postaci: 2 monografii naukowych (z jednym współautorem) napisanych w języku polskim, 2 podręczników akademickich (z jednym współautorem), 35 artykułów w czasopismach naukowych znajdujących się na liście czasopism punktowanych przez MNiSW i KBN, 3 rozdziały w monografiach (w tym jeden w języku angielskim), 20 publikacji w recenzowanych materiałach konferencyjnych. W 17 publikacjach jestem jedynym autorem, a w pozostałych współautorem ze znacznym wkładem w ich przygotowanie (pierwszym autorem 11 artykułów).

Według Web of Science moje prace były cytowane 8 razy, IH = 2.

Według Google Scholar moje prace były cytowane 44 razy, IH = 4.

Obecnie w trakcie recenzji w czasopiśmie z listy A znajduje się publikacja, w której jestem pierwszym spośród 3 autorów.

Sumaryczne zestawienie informacji na temat mojego dorobku naukowo-badawczego zestawiono w poniższych tabelach.

Zestawienie publikacji wg czasopism, w których zostały opublikowane

L.p.	Nazwa czasopisma	Publikacje		Punkty MNISW zgodnie z rokiem wydania	IF wg roku wydania	Liczba cytowań
		Lata	Liczba			
1.	Przemysł chemiczny	2014	1	15	0,399	2
2.	Przemysł chemiczny (przyjęty do druku w numerze 97/5(2018)	2018	1	15	0,385	-
3.	Transportation Research part D	2014	1	30	1,937	4
4.	Transportation Research part A	2016	1	40	2,609	-
5.	Fresenius Environmental Bulletin	2017	1	15	0,425	2
6.	Polish Journal of Environmental Studies	2018	1	15	0,793	-
7.	Annales UMCS	1992	2	6	-	-
		1993	1	3	-	-
8.	Inżynieria Rolnicza	1997	1	4	-	-

		2001	1	4	-	-
		2006	1	4	-	-
		2009	1	4	-	-
		2011	1	5	-	-
9.	Logistyka	2014	1	10	-	-
		2015	1	0	-	-
10.	Motorol Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa	2004	2	8	-	-
		2011	2	8	-	-
		2012	4	16	-	-
11.	Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa	2001	1	4	-	-
		2002	1	5	-	-
		2004	1	5	-	-
		2005	1	5	-	-
		2006	1	4	-	-
		2008	1	6	-	-
		2009	1	6	-	-
		2014	1	6	-	-
12.	Zbiór Naukowych Prac Kerczeńskiego Morskiego Technologicznego Instytutu	2002	1	3	-	-
13.	Zbiór Naukowych Prac Mykołajewskiego Uniwersytetu Rolniczego	2002	1	3	-	-
14.	Zbiór Naukowych Prac Narodowego Uniwersytetu Rolniczego Ukrainy Kijów	1999	1	3	-	-
		2000	1	3	-	-
		2001	1	3	-	-
		2002	1	3	-	-
15.	Zbiór Naukowych Prac Nauk Technicznych Odessa	2002	1	3	-	-
16.	Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie	1993	1	1	-	-
17.	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	1995	1	3	-	-
Razem			**41**	**268**	**6,548**	**8**

dane odnośnie IF za rok 2016 (brak danych za rok 2017 i 2018)
Według Web of Science: IH = 2

Zestawienie monografii, podręczników akademickich i rozdziałów w monografiach

L.p.	Tytuł monografii	Rok publikacji	Liczba publikacji	Punkty MNISW
1.	Monografia: „Gospodarowanie energią, surowcami i materiałami w logistyce produkcji zakładów piwowarskich"	2014	1	20

2.	Monografia: „Antropotechnika pojazdu w eksploatacji polowej i transporcie żywności"	2016	1	25
3.	Podręcznik akademicki: „Tłokowe silniki spalinowe" (I wyd.)	2007	1	12
4.	Podręcznik akademicki: „Tłokowe silniki spalinowe" (II wyd.)	2015	1	-
5.	Rozdział w monografii naukowej: „Biopaliwa i smary ekologiczne"	2009	1	4
6.	Rozdział w monografii naukowej: „Motoryzacyjne skażenie środowiska"	2009	1	4
7.	Rozdział w monografii naukowej: „Diesel engines new challenges"	2010	1	7
	Razem		**7**	**72**

Zestawienie artykułów opublikowanych w materiałach konferencyjnych

L.p.	Tytuł materiałów konferencyjnych	Rok publikacji	Liczba publikacji	Punkty MNISW (łącznie)
1.	Materiały z III Międzynarodowej Konferencji Naukowej SGGW	1992	2	6
2.	Materiały z II Sympozjum Naukowego EKODIESEL'94	1994	1	3
3.	Materiały z Konferencji KONMOT'94	1994	1	3
4.	Materiały z Jubileuszowej Konferencji Naukowej „25 lat kształcenia na kierunku mechanizacji rolnictwa AR w Lublinie"	1995	1	3
5.	Materiały z I Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Motrol'97	1997	1	3
6.	Materiały z II Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Motrol'99	1999	1	3
7.	Materiały z III Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Motorol 2001	2001	1	3
8.	Materiały z IX Międzynarodowego Sympozjum Naukowego „Farm	2017	6	0

	Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture"			
9.	Inne (streszczenia)		6	-
	Razem		**20**	**24**

Zestawienie publikacji wg kategorii

L.p.	Kategoria czasopisma	Liczba publikacji	Punkty MNISW w roku wydania (łącznie)	Współczynnik IF wg roku wydania
1.	Artykuły indeksowane w bazie Journal Citation Reports (JCR), posiadające Impact Factor	6	130	6,548
2.	Artykuły w czasopismach naukowych znajdujących się na liście czasopism punktowanych MNISW	35	138	-
3.	Artykuły opublikowane w materiałach konferencyjnych	20	24	-
4.	Monografie naukowe i podręczniki akademickie	4	57	-
5.	Rozdziały w monografiach w języku polskim	2	8	-
6.	Rozdziały w monografiach w języku angielskim	1	7	-
Razem		**68**	**364**	**6,548**

Jacek Wasilewski