

Załącznik II

Autoreferat

Opis dorobku i osiągnięć naukowych

Dr inż. Paweł Sędlak

Katedra Inżynierii Systemów
Agrotechnicznych
Wydział Kształtowania
Środowiska i Rolnictwa
Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/1
71-459 Szczecin
e-mail: pawel.sedlak@zut.edu.pl

Szczecin 2017

1. DANE PERSONALNE

Imię i Nazwisko: **Paweł Sędlak**

Miejsce pracy: Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI 1
71-459 Szczecin
tel. 91 449 6472

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ:

a) **Uzyskany tytuł: magister inżynier;** kierunek technika rolnicza i leśna. Akademia Rolnicza w Szczecinie, Wydział Rolniczy, 04.10.1995 r. Temat pracy magisterskiej: „Naprawa zespołów maszyn przy użyciu tworzyw sztucznych na przykładzie pompy hydraulicznej”.

Promotor: dr hab. inż. Jan Wojdak prof. nadzw. AR Szczecin

b) **Uzyskany tytuł: doktor nauk rolniczych w zakresie inżynierii rolniczej.** Rada Naukowa Instytutu Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie w dniu 26.06.2003 podjęła uchwałę o nadaniu stopnia naukowego doktora. Temat pracy doktorskiej: „Nowe metody regeneracji połączeń spoczynkowych w technice rolniczej” obroniona w dniu 24.06.2003.

Promotor: prof. dr hab. inż. Jan Wojdak

Recenzenci: dr hab. inż. Czesław Rzeźnik prof. nadzw., AR Poznań

Doc. dr hab. inż. Stanisław Stężala, IBMER Gdańsk

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH:

16.11.1995 – 30.06.2000 Stanowisko: doktorant
Akademia Rolnicza w Szczecinie
Wydział Rolniczy
Instytut Inżynierii Rolniczej
Zakład Technologii i Organizacji Napraw

01.08.2000 – 30.09.2003 Stanowisko: pracownik inżynieryjno-techniczny, ½ etatu
Akademia Rolnicza w Szczecinie
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Instytut Inżynierii Rolniczej
Zakład Eksploatacji Systemów Technicznych

- 01.10. 2003 – 30.09.2015 Stanowisko: Adiunkt
Akademia Rolnicza w Szczecinie, po połączeniu
z Politechniką Szczecińską w 01.01.2009
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Zakład Eksploatacji Systemów Technicznych,
od 2009 Katedra Podstaw Techniki i Systemów Agrotech-
nicznych,
od 2010 Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych
- 02.11. 2015 – obecnie Stanowisko: Starszy wykładowca, ½ etatu,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych

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. USTAW NR 65, POZ. 595, ZE ZMIANAMI: DZ. U. Z 2005 NR 164, POZ. 1365, ORAZ DZ. U. Z 2001 R., NR 84, POZ. 455):

4.1. OKREŚLENIE OSIĄGNIĘCIA

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

***” WYBRANE ZAGADNIENIA ZASTOSOWANIA TWORZYW SZTUCZNYCH
W DOSKONALENIU SYSTEMU OBSŁUGI TECHNICZNEJ MASZYN
I URZĄDZEŃ ROLNICZYCH”***

Dokumentacją osiągnięcia jest **cykl 7 publikacji powiązanych tematycznie**, wydanych po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

O1: **Sędlak P.**, Wojdak J., 2005. Odtwarzanie funkcjonalności połączenia spoczynkowego łożysk tocznych. Inżynieria Rolnicza, nr 4, Wydawnictwo Komitetu Techniki Rolniczej PAN, s. 235-241.

(4 pkt *; 10 pkt **).

O2: **Sędlak P.**, Wojdak J., 2006. Jednoczesne procesy wzmacniania części maszyn w produkcji i regeneracji. „Regeneracja ‘06”, Artykuł w materiałach pokonferencyjnych, s.178-187 ISBN 83-87982-02-4.

O3: **Sędlak P.**, Steżala S., Koniuszy A., Dzienis A., Kuzio K., 2008. Próba wstępnej oceny modyfikowanego polipropylenu w aspekcie zastosowania w panewkach łożysk ślizgowych maszyn rolniczych. Problemy Inżynierii Rolniczej, nr 4, Warszawa, s.181-188.

(4 pkt^{*}; 7 pkt^{**}).

O4: **Sędlak P.** 2009. Wpływ wielokrotnego odtwarzania technologią klejenia połączenia typu wał-piasta na zmiany chropowatości powierzchni łączonych elementów. Inżynieria Rolnicza nr 1(110), Wydawnictwo Komitetu Techniki Rolniczej PAN, s. 289-296.

(4 pkt^{*}; 10 pkt^{**}).

O5: **Sędlak P.**, Wanke P., Wojdak J., Stawicki T., 2009. Analiza rozwoju metod regeneracji części maszyn w aspekcie przemian gospodarczych. Inżynieria Rolnicza, nr 1(110), Wydawnictwo Komitetu Techniki Rolniczej PAN, s. 347-353.

(4 pkt^{*}; 10 pkt^{**}).

O6: **Sędlak P.**, Białobrzaska B., Stawicki T., 2016. Friction coefficient and wear of modified polypropylene impregnated with different oils. IRANIAN POLYMER JOURNAL, vol. 25, Issue 3, pp 263-275.

(25 pkt^{*}; 25 pkt^{**} IF₂₀₁₅ = 1.684).

O7: **Sędlak P.**, Stawicki T., 2016. Ocena możliwości demontażu połączeń gwintowych zabezpieczonych tworzywami anaerobowymi eksploatowanymi w rolniczym środowisku pracy. Monografia pod red. prof. dr hab. inż. W. Romaniuka. Falenty- Warszawa, s. 131-138. ISBN 978-83-65426-20-8

(4 pkt^{*}; 4 pkt^{**}).

ŁĄCZNIE (OSIĄGNIĘCIE):

- Impact factor **1,684**

- Punkty MNiSW **45^{*}; 66^{**}**

* Punktacja MNiSW obowiązująca w dniu wydania publikacji w czasopiśmie

** Punktacja MNiSW określona według aktualnie obowiązującej listy z dnia 09 grudnia 2016

IF w roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2016 podano ostatni dostępny IF według JCR

Wkład wnioskodawcy w powstanie każdej z ww. publikacji przedstawiono w załączniku IV. Oświadczenia współautorów, wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu w powstanie prac zawarte są w zał. III.

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

WPROWADZENIE

Specyfika eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych jest wynikiem realizacji procesów roboczych w ściśle określonych ramach czasowych związanych z własnościami i właściwościami obrabianego materiału (np. roślin i gleby), wymaganiami agrotechnicznymi oraz zmiennymi warunkami środowiska zewnętrznego. Sezonowość wykonywania zabiegów agrotechnicznych prowadzi do wykorzystywania maszyn i urządzeń rolniczych w czasie uzależnionym od wielu czynników zewnętrznych w większości niezależnych od użytkownika a związanych z prowadzoną technologią uprawy lub hodowli. Dlatego też eksploatacja maszyn i urządzeń w rolnictwie obejmuje wykonywanie czynności, które można sklasyfikować jako zadania agrotechniczne, zadania związane z obsługiwaniem technicznym (diagnostyka, profilaktyka, naprawy doraźne, przechowywanie, transport) oraz zadania wynikające z napraw uszkodzonych i niesprawnych maszyn (naprawy odtworzeniowe, naprawy o dużym zakresie, naprawy modernizacyjne). Eksploatacja maszyn i urządzeń wiąże się więc z problemami związanymi zarówno z użytkowaniem jak i obsługiwaniem (zapewnieniem ciągłej gotowości do wykonywania zaplanowanych zadań) [17, 34, 44, 45].

W ostatnich latach eksploatacja maszyn i urządzeń rolniczych w Polsce jest w praktyce zdominowana wyłącznie problematyką użytkowania. Wzrost produkcji rolniczej utożsamiono z rozwojem indywidualnych gospodarstw rodzinnych oraz gospodarstw wielkotowarowych funkcjonujących w formie różnorodnych spółek. Postęp w produkcji rolniczej oparto w głównej mierze na zakupie i wykorzystaniu nowych, doskonalszych rozwiązaniach konstrukcyjnych maszyn i urządzeń oraz nowoczesnych technologiach uprawy i chowu zwierząt [29, 35, 51]. Jednocześnie nastąpiła znaczna specjalizacja gospodarstw w jednym rodzaju produkcji rolniczej opartej na uprawie roślin lub na produkcji zwierzęcej [22, 24, 30]. Gospodarstwa

o małym areale eksploatują najczęściej maszyny i urządzenia techniczne starszej generacji, których wiek przekracza najczęściej 25 lat a modernizacja parku maszynowego odbywa się przez zakup maszyn kilkunastoletnich a w nielicznych przypadkach kilkuletnich i nowych [8, 52, 61]. Gospodarstwa duże powoli wyprzedają starsze egzemplarze maszyn i modernizują posiadany park maszynowy przez zakupy maszyn i ciągników nowych lub kilkuletnich [12, 25].

Gospodarka wolnorynkowa wymusza dodatkowo na rolnikach zwiększenie wydajności przy minimalizacji ponoszonych kosztów w tym na obsługę techniczną [18, 32]. W związku z powyższymi uwarunkowaniami wzrosły wymagania użytkowników względem maszyn dotyczące wydajności pracy, jakości pracy, większych prędkości przejazdu, zwiększonych momentów obrotowych a co z tym jest powiązane drastycznie zwiększyły się obciążenia przenoszone przez węzły kinematyczne oraz spoczynkowe maszyn i urządzeń [5]. Zwiększające się wymagania eksploatacyjne stawiane maszynom rolniczym dotyczą również konieczności zmiany podejścia do zagadnień naprawy i modyfikacji tradycyjnych technologii w celu wykorzystania ich do optymalizacji trwałości i maksymalizacji niezawodności istniejącego parku maszynowego. Równocześnie zmniejsza się jakość wykonywanych czynności obsługowo-naprawczych parku maszynowego w gospodarstwach małych i średnich z uwagi na niedoinwestowanie kapitałowe a także likwidację większości systemów technicznej obsługi rolnictwa. Pojazdy i maszyny nowe podlegają obsłudze realizowanej przez szeroką sieć serwisową prowadzoną przez producentów oraz lokalnych dilerów. Zakłady serwisowe świadczą usługi związane z przeglądami oraz ewentualnymi naprawami w ramach usług gwarancyjnych oraz pogwarancyjnych. Problemem stają się jednak dla użytkowników maszyny kilkuletnie dla, których wykonywanie wszystkich napraw w serwisie producenta staje się mało opłacalne i najczęściej odsprzedają je w miarę możliwości (przechodzą do użytkowników którzy samodzielnie podejmują się wykonywania napraw) [9, 10, 11]. Prowadzi to do poważnych zaniedbań w obsłudze obiektów technicznych szczególnie starszych generacji i poszukiwaniu ewentualnych tańszych technologii naprawy możliwych do przeprowadzenia w warunkach użytkownika [43, 57]. Równocześnie intensywne użytkowanie nowych maszyn powoduje pojawienie się dodatkowych wymagań technicznych oraz organizacyjnych związanych z technologiami naprawy możliwych do zastosowania w rozwiązaniach konstrukcyjnych i technologicznych stosowanych w produkcji i wytwarzaniu nowoczesnych maszyn i urządzeń [3, 21].

Szczegółowe wymagania, które powinny spełniać maszyny i pojazdy rolnicze, dotyczące tylko procesów obsługowo-naprawczych, obejmują zagadnienia:

- zapewnienia zdatności parametrycznej do realizacji zadań w losowo zmiennych terminach agrotechnicznych,
- zapewnienia zdatności funkcjonalnej w losowo zmiennych warunkach eksploatacji,
- zapewnienia wysokiej trwałości w losowo zmiennych przedziałach pracy ciągłej,
- zapewnienia podatności naprawczej na uszkodzenia losowe,
- zapewnienia gotowości do pracy sezonowej i utrzymania jej na stałym poziomie w losowo zmiennym przedziale użytkowania kampanijnego,
- zapewnienia możliwości odtwarzania potencjalnego zasobu trwałości konstrukcyjnej i jego ewentualnego powiększania w wyniku zastosowania udoskonalonych technologii napraw uwzględniających historię technologiczną części i zespołów,
- zapewnienia zaopatrzenia w części wymienne oraz materiały eksploatacyjne w losowo zmiennych przedziałach czasu [53].

Obsługiwanie rozumiane jako całokształt działań zmierzających do zapewnienia wymaganego wskaźnika gotowości i ewentualnego jednoczesnego podwyższenia zasobu eksploatacyjnego, stało się istotnym czynnikiem zwiększania efektywności, poprzez stosowanie nieustannie doskonalonych (coraz tańszych w aplikacji) technik i technologii wykorzystywanych powszechnie w budowie maszyn, i specjalistycznych charakterystycznych tylko dla technologii napraw, umożliwiających realizację dodatkowych wymagań technicznych związanych z odtwarzaniem właściwości eksploatacyjnych [7, 14, 19, 47, 58].

Jedną z podstawowych operacji wykonywanych podczas obsługi technicznej jest demontaż, który ma na celu stworzenie prawidłowych warunków do wykonania czynności obsługowych (regulacji, przeglądów, napraw). Na jakość i koszty prowadzonej obsługi technicznej ma wpływ zakres wykonywanego demontażu. W przypadku przeprowadzenia demontażu w mniejszym zakresie niż to wynika ze stanu technicznego, to obiekty po obsłudze technicznej charakteryzują się niską jakością eksploatacyjną (najczęściej niepełnym usunięciem usterek i możliwością szybkiego wystąpienia kolejnych) oraz koniecznością powtórnego wykonania obsługi. Natomiast zbyt szeroki zakres demontażu powoduje niepotrzebne nakłady pracy na wykonanie czynności obsługowych i demontażu połączeń oraz elementów, które tego nie wymagają. Prawidłowo wykonany proces demontażu nie może powodować uszkodzeń

elementów w trakcie ich demontowania. Elementy po rozłączeniu powinny zachować taki sam stan techniczny, w jakim znajdowały się przed rozłączeniem. Uszkodzone podczas demontażu elementy wymagają najczęściej naprawy (regeneracji), a kiedy nie ma takiej możliwości to podlegają wymianie na nowe, co pociąga za sobą dodatkowe nieuzasadnione koszty. Do podstawowych błędów demontażu powodujących uszkodzenie elementów należą:

- demontaż nieoczyszczonych połączeń spoczynkowych,
- nieodpowiednia kolejność demontażu,
- brak rozluźniania połączeń przed ich demontażem,
- przekroczenie nacisków dopuszczalnych na powierzchniach przyłożenia narzędzi demontażowych,
- przykładanie sił lub momentów do nieodpowiednich fragmentów części demontowanej
- demontowanie w nieodpowiednim kierunku.

Wykonanie prawidłowego demontażu jest więc uzależnione od doświadczenia zawodowego pracowników wykonujących obsługę techniczną, znajomości konstrukcji i budowy obsługiwanych maszyn, zastosowanych narzędzi jak i od wykorzystanych w procesie wytwórczym metod zabezpieczania połączeń. Przeprowadzenie poprawnego procesu demontażu wpływa więc w znaczący sposób na koszty obsługi technicznej, czasu koniecznego do jej przeprowadzenia oraz uzyskanych efektów technicznych wykonanej obsługi. Możliwość przeprowadzenia demontażu jest więc wynikiem zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych na etapie produkcji lub zastosowanych metod w procesach naprawczych.

Zastosowanie procedur optymalizacji wyboru dostępnych metod naprawy i odtwarzania może wpłynąć na obniżenie kosztów eksploatacji maszyn rolniczych [15, 16]. Różnorodne warunki pracy związane z oddziaływaniami cieplnymi, mechanicznymi i korozyjnymi w obszarach węzłów tarcia powodują zróżnicowane intensywności zużycia współpracujących powierzchni. Efekt ten w rolnictwie jest dodatkowo powiększony na skutek procesów zachodzących w miejscu styku w czasie długotrwałych postojów, przerw w pracy lub przestojów międzykampanijnych. Przyczyną utraty zdatności są nieznaczne wartości zużycia w obszarach warstwy wierzchniej [20, 28]. Każda zmiana parametrów ruchu oraz właściwości ośrodka może spowodować zmianę intensywności zużycia prowadząc do patologicznego zużycia awaryjnego (niszczącego). W związku z tym niektóre elementy maszyn rolniczych uznaje się za krytyczne. Osiągają one stan graniczny przy ubytku liniowym materiału

i błędach makrogeometrii rzędu $10^{-5} \div 10^{-4} \text{m}$, co stanowi około $0,1 \div 0,5\%$ całkowitej masy współpracujących elementów. Krytycznymi elementami w maszynach i pojazdach rolniczych są najczęściej łożyskowania ślizgowe i toczne (wałów napędowych i osi) a w szczególności osadzenia spoczynkowe łożysk tocznych i ślizgowych, kół pasowych i zębatych oraz niektóre połączenia gwintowe. Przy określonej postaci konstrukcyjnej i zróżnicowanej historii technologicznej zespołów i części, rzadko przystosowanych do specyficznych wymagań rolnictwa, ujawniają się one w procesie eksploatacji w kolejności zdeterminowanej rzeczywistymi wymuszeniami, powodując konieczność przeprowadzenia czynności obsługowo-naprawczych często o dużym zakresie [56]. Materiał części zużytej w znacznej mierze warunkuje wybór odpowiedniej metody naprawy, ze względu na różną podatność materiałów na procesy naprawczo-regeneracyjne. Nowe materiały ze względu na swoją budowę oraz charakter stosowanej obróbki mechaniczno-chemiczno-termicznej stają się elementem który powoduje, że potrzebne stają się specjalistyczne metody odtwarzania WW. Elementy wykonane z nowych materiałów oraz z wykorzystaniem nowoczesnych technik kształtowania WW okazują się nieprzystosowane do odtwarzania tradycyjnymi metodami naprawy i regeneracji np.: niektórymi metodami spawalniczymi, szlifowaniem na wymiar naprawczy, obróbką plastyczną, nagniataniem, metalizacją natryskową. Wymagają stosowania wysublimowanych i drogich w implantacji metod niejednokrotnie kilku jednocześnie w celu uzyskania pozytywnych efektów oraz wysokiej jakości odtwarzanego elementu [46, 55].

Rozwój metod naprawczych oraz wykorzystanie już istniejących technologii naprawy w stosunku do maszyn nowych (o ograniczonej podatności na procesy regeneracyjne i naprawcze) oraz starszej generacji jest uzależniony od zasadności przeprowadzenia procesu oraz osiągniętych wymiernych korzyści ekonomicznych. Nowoczesne maszyny ze względu na zastosowane materiały konstrukcyjne (materiały ceramiczne, tworzywa sztuczne, stale stopowe itp.) oraz sposoby wytwarzania (elementy zespolone, moduły nienaprawialne, elementy o skomplikowanych kształtach uzyskiwane metodami wtryskowymi itp.) stanowią coraz większy problem podczas wykonywania obsługi technicznej (wymagają nowych technologii naprawy, diagnostyki, nowoczesnego oprzyrządowania) [31, 48, 49]. Dodatkowo coraz powszechniej wykorzystywane tworzywa sztuczne w procesach wytwórczych (obudowy, pokrywy, osłony, zbiorniki, uszczelnienia, klejenie elementów, zabezpieczanie, elementy ślizgowe itp.) powodują konieczność zmiany procesów naprawczych [6, 13, 64]. Tworzywa sztuczne wykorzystywane natomiast w procesach

obsługowo naprawczych nowych konstrukcji stają się także metodami naprawy już istniejących konstrukcji, w których nie były dotychczas stosowane. Znaczne wykorzystanie tworzyw sztucznych w budowie nowoczesnych maszyn rolniczych powoduje konieczność wprowadzania zmian w istniejących systemach obsługi technicznej i wymagają opracowania systemu oceny wpływu zastosowania tworzyw sztucznych na procesy naprawcze zarówno dla maszyn nowych jak i tradycyjnych konstrukcji.

Przez wykorzystanie tworzyw sztucznych w procesach obsługi technicznej (naprawie-serwisowaniu) i regeneracji maszyn należy przyjąć szeroko rozumiane materiały przeznaczone do: klejenia, laminowania, kitowania, uzupełniania ubytków, nakładania powłok, uszczelniania, mocowania oraz zabezpieczania (przed samo odkręceniem, przesunięciem, poluzowaniem itp.) [41, 50]. Pomimo szeregu wad rozwój technologii chemicznych przy wytwarzaniu tworzyw sztucznych doprowadził do coraz większego wykorzystania ich w procesach wytwórczych. Szeroki zakres zastosowań oparty jest o duży wybór tworzyw różniących się: czasem i sposobem utwardzania, lepkością, wytrzymałością, odpornością chemiczną i odpornością na temperatury możliwością opracowania tworzyw pod konkretne wymagania techniczne itp. Wspólną cechą tworzyw sztucznych jest możliwość łączenia ich z innymi materiałami (także różnoimiennymi) co jest podstawową zaletą przy wykonywaniu obsługi technicznej [4, 23, 26, 42].

Metody naprawy oraz regeneracji oparte na stosowaniu tworzyw sztucznych nie były dotychczas rozpowszechnione w praktyce eksploatacyjnej. Jako przyczynę podaje się często szereg wad tworzyw sztucznych: małą przyczepność do podłoża, trudną obróbkę, konieczność tworzenia mieszanin składników, ograniczony czas użycia oraz konieczność ścisłego przestrzegania przepisów BHP, niską wytrzymałość termiczną, konieczność rozwinięcia powierzchni, szkodliwość substancji chemicznych (rozpuszczalników, aktywatorów itp.), przygotowanie powierzchni (piaskowanie, odtłuszczenie, trawienie itd.), trudniejszy demontaż w niektórych przypadkach, czas wiązania, zmiany warunków pracy węzła.

Rozwój tworzyw sztucznych oraz coraz większe wykorzystanie w procesach wytwórczych doprowadziło do konieczności zmian w metodach naprawy (obsłudze technicznej). Szeroka gama dostępnych tworzyw sztucznych do naprawy oraz zabezpieczania stwarza wiele problemów dotyczących wyboru najlepszego rozwiązania kadrze wykonującej obsługę techniczną. Pojawiają się problemy z doбором optymalnego rozwiązania (technologii przeprowadzenia naprawy) ze względu na

niemożność zastosowania wszystkich możliwych zabiegów z jednakową skutecznością. Uzasadnione jest dostosowanie procesu naprawy (regeneracji) elementów do potrzeb wynikających z minimalizowania ubytku materiału części trudniejszej do wykonania i droższej oraz celowego ukierunkowania zużycia na łatwiejszą do wykonania część z tworzywa sztucznego (uszczelki pierścieniowe, tulejki, podkładki, powłoki przeciwzużyciowe, łożyska ślizgowe, prowadnice ślizgowe itp.) [62]. Wprowadzenie materiałów z tworzyw sztucznych do rozłącznych połączeń spoczynkowych (wtłaczanych, gwintowych, kształtowych, uszczelnień) oraz do odtwarzania węzłów współpracujących ślizgowo może być rozwiązaniem umożliwiającym przywracanie funkcjonalności również wielokrotnie demontowanym i montowanym układom [50]. W odniesieniu do maszyn rolniczych ma to ogromne znaczenie z uwagi na nadmierną zawodność tego typu układów i konieczność naprawy w warunkach użytkownika.

Uwzględniając powyższe uwarunkowania sformułowano tezę badawczą, w której przyjęto, że uzyskanie odtwarzania wartości użytkowych wybranych węzłów maszyn rolniczych (konstrukcji w których nie stosowano dotychczas tworzyw sztucznych) jest możliwe dzięki zastosowaniu tworzyw sztucznych co wpłynie na obniżenie kosztów obsługi, wydłużenie czasu donaprawczego (zwiększenie trwałości i niezawodności), uproszczenie procesu technologicznego naprawy, zmniejszenie energochłonności i materiałochłonności przy zachowaniu wymaganych parametrów technologicznych i wytrzymałościowych. Problemem naukowym jest natomiast brak kryteriów pozwalających na obiektywne ocenienie ogólnie rozumianej efektywności wykorzystania tworzyw sztucznych w procesach obsługowych (naprawczych) maszyn rolniczych. Tworzywa sztuczne są materiałami o wielu zaletach ale także wadach, które powinny być uwzględnione w procesach decyzyjnych z zakresu obsługi technicznej maszyn rolniczych.

CEL I ZAKRES OSIĄGNIĘCIA

Analiza problemu naukowego pozwoliła na sformułowanie celu prowadzonych badań, których wyniki zaprezentowano w cyklu powiązanych tematycznie publikacji O1-O7. Celem badań było zbadanie wpływu wykorzystania wybranych tworzyw sztucznych jako materiałów naprawczo-regeneracyjnych wybranych węzłów maszyn rolniczych na procesy obsługi technicznej.

Proponowane metody naprawy wykorzystujące tworzywa sztuczne do wielokrotnego odtwarzania funkcjonalności węzłów spoczynkowych (połączeń wciskanych, gwintowych) i ślizgowych obok efektu ekonomicznego oraz możliwości

wykonania w warunkach użytkownika (małego - lokalnego zakładu naprawczego) powinny spełniać wymagania trwałościowe oraz niezawodnościowe. W celu realizacji założonego celu opracowano założenia oraz kryteria szczegółowe jakie uwzględniono przy ocenie wpływu zastosowania tworzyw sztucznych w systemie obsługi technicznej maszyn rolniczych.

W badanych połączeniach spoczynkowych oceniano zarówno jakość uzyskanych spoin jak i parametry wytrzymałościowe. W połączeniach spoczynkowych to jest wciskanych oraz gwintowanych naprawianych z użyciem tworzyw anaerobowych i metalożywiczych oceniano:

- 1) W procesie przygotowania
 - a) technologię przygotowania powierzchni,
 - b) łatwość przeprowadzenia procesu oczyszczania oraz odtłuszczenia,
 - c) czystość i jakość uzyskanej powierzchni,
 - d) chropowatość powierzchni po procesie przygotowania i oczyszczania,
 - e) wymagane przygotowanie tworzywa do aplikacji i czas przydatności do użycia,
 - f) wymagania związane z bhp.
- 2) W procesie montażu
 - a) łatwość aplikacji tworzywa,
 - b) ilość tworzywa usuwanego podczas montażu z miejsca łączenia przez elementy łączone,
 - c) wycieki tworzywa ze szczeliny (różne ułożenie elementów podczas montażu),
 - d) czas w którym można wprowadzać korekty ustawień elementów łączonych,
 - e) łatwość usuwania niespolimeryzowanego tworzywa w celu wykonania korekty miejsca nanoszenia,
 - f) łatwość procesu montażu (wpływ wartości szczeliny oraz masy łączonych elementów).
- 3) Po utwardzeniu tworzywa oraz zdemontowaniu połączenia
 - a) wypełnienie szczeliny przez spolimeryzowane tworzywo,
 - b) wzajemne ustawienie elementów łączonych,
 - c) miejsce utwardzenia tworzywa,
 - d) siłę lub moment potrzebny do zerwania połączenia,
 - e) siłę lub moment potrzebny do wzajemnego przemieszczenia elementów po zerwaniu połączenia klejonego,
 - f) miejsce i rodzaj wystąpienia zerwania połączenia (adhezyjne lub kohezyjne),
 - g) łatwość usuwania spolimeryzowanego tworzywa z powierzchni elementów,

- h) możliwość wielokrotnego przeprowadzenia procesu,
- i) wpływ krotności procesu montażu i demontażu na powierzchnię elementów łączonych.

W badaniach wykorzystujących polipropylen jako materiał do wykonywania elementów ślizgowych nie wymagających obsługi (tzw. łożysk ślizgowych bezobsługowych) oceniano podstawowe cechy tribologiczne materiału oraz wpływ impregnacji różnymi olejami na ich zmianę.

Realizacja nakreślonego celu osiągnięcia naukowego, przy zachowaniu jego wartości użytecznej i poznawczej, wymagała zastosowania w badaniach różnorodnych tworzyw sztucznych. W zależności od rodzaju naprawianego połączenia spoczynkowego wykorzystano materiały wykonane na bazie polimerów akrylowych oraz epoksydowych. W ramach realizacji założonego celu przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych oraz badań terenowych na podstawie, których opracowano szereg publikacji powiązanych tematycznie.

Wyniki badań zaprezentowanych w pracach stanowiących osiągnięcie naukowe mogą przyczynić się do określenia szczegółowych kryteriów jakim powinny odpowiadać badane metody naprawy wykorzystujące tworzywa sztuczne oraz opracowanie algorytmu wyboru optymalnej technologii naprawy. Przy odpowiednio dużej bazie danych obejmującej praktyczne wykorzystanie tworzyw sztucznych w naprawach w rolnictwie mogą także posłużyć do opracowania bezwymiarowego wskaźnika umożliwiającego wielokryterialną ocenę efektywności zastosowania tworzyw sztucznych w systemie obsługi – naprawy – maszyn i urządzeń rolniczych.

OMÓWIENIE SYNTETYCZNE PRAC

Prace O2 i O5

Sędlak P., Wojdak J., 2006. Jednoczesne procesy wzmacniania części maszyn w produkcji i regeneracji.

Sędlak P., Wanke P., Wojdak J., Stawicki T., 2009. Analiza rozwoju metod regeneracji części maszyn w aspekcie przemian gospodarczych.

Prace te stanowią wprowadzenie do tematyki podjętej w badaniach i nakreślają kierunki poszukiwania metod naprawy możliwych do zastosowania w zależności od wartości liniowego zużycia materiału oraz wykonawcy obsługi technicznej.

W pracy O2 przedstawiono krótką charakterystykę stosowanych metod regeneracji (naprawy) elementów maszyn. Wskazano parametry graniczne dotyczące wartości ubytku materiału jaki może być usunięty za pomocą danej metody oraz ograniczeń wynikających z rodzaju materiału z jakiego jest wykonany naprawiany element.

Na podstawie analizy wartości zużycia liniowego typowych elementów maszyn rolniczych dokonano pogrupowania ich na trzy grupy, w których kryterium podziału była maksymalna wartość zużycia – pierwsza grupa do 0,1 mm, druga grupa do 0,3 mm i trzecia grupa o zużyciu większym od 0,3 mm. W zależności od grupy można zaproponować różne metody naprawy tak uszkodzonych elementów. Wskazano także, które metody znalazły zastosowanie w procesach wytwórczych a wywodzących się z procesów naprawy i regeneracji.

Najpowszechniej stosowanymi metodami naprawy w praktyce eksploatacyjnej są metody oparte na spawaniu i napawaniu. Metody spawalnicze stanowią około 55% wszystkich sposobów wykorzystywanych do usuwania zarówno nieciągłości materiału jak i ubytku z powierzchni. Pomimo tak znacznego udziału metody te znalazły zastosowanie jedynie w przypadku bardzo dużych wartości zużycia liniowego (trzecia grupa) i nie nadają się do usuwania nieznacznych ubytków materiału z powierzchni (grupa pierwsza poniżej 0,1 mm). Po procesie napawania istnieje także konieczność przeprowadzenia obróbki mechanicznej w celu uzyskania pożądanych wymiarów. W odniesieniu do użytkowników maszyn i urządzeń rolniczych metody spawalnicze wykorzystywane są jedynie do usuwania wszelkiego rodzaju nieciągłości materiału lub przymocowania dodatkowego elementu (materiału). Zastosowanie metod spawalniczych do odtwarzania połączeń spoczynkowych jest bardzo trudne i wymaga specjalistycznego oprzyrządowania zarówno potrzebnego w procesie napawania jak i obróbki mechanicznej napoiny w celu nadania wymaganych wymiarów oraz kształtu geometrycznego.

Kolejną grupą metod wykorzystywanych zarówno w procesach wytwórczych jak i naprawczych (stanowiących około 15-20%) są metody oparte na chemicznym oraz elektrolitycznym nakładaniu powłok. Umożliwiają one naprawę w szerokim zakresie ubytku materiału (wszystkie grupy) jednakże czym grubsza nanoszona powłoka tym efektywność ekonomiczna staje się bardzo niska. Podstawową wadą tych metod jest jednak konieczność posiadania skomplikowanego wyposażenia technicznego oraz duża szkodliwość dla środowiska. Opłacalność tych procesów jest związana z naprawami wielkoseryjnymi przy niewielkim ubytku materiału rodzimego. Zastosowanie tych metod ogranicza się już w zasadzie do producentów i nie występuje w zakładach naprawczych.

Wzrost zastosowania tworzyw sztucznych w konstrukcji nowych maszyn oraz zastosowanie ich do łączenia, zabezpieczania, uszczelniania, nanoszenia powłok ochronnych, uzupełniania ubytków prowadzi do upowszechniania ich także

w procesach związanych z obsługą techniczną. Należy jednak zwrócić uwagę iż o ile wprowadzenie tych materiałów oraz technologii w nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych jest wynikiem celowego działania konstruktora (przystosowanie konstrukcji) o tyle samowolne wprowadzenie ich do starszych rozwiązań konstrukcyjnych może powodować niezamierzone efekty. Zastosowanie materiałów z tworzyw sztucznych w zależności od węzła tribologicznego może prowadzić do nadmiernego usztywnienia węzła lub nadmiernego wzrostu luzów a tym samym przyspieszonego zużycia i awarii maszyny [63].

W pracy O5 przedstawiono analizę kierunków rozwoju metod regeneracji elementów zużytych. W opracowaniu tym zwrócono uwagę iż regeneracja elementów oraz naprawa zespołów staje się jednym z ogniw recyklingu maszyn i urządzeń. Wskazano zasadniczo cztery grupy użytkowników metod regeneracji (naprawy), które mogą osiągać wymierne korzyści ekonomiczne i technologiczne. Zakres wykorzystania metod różni się w znaczący sposób dla każdej z tych grup. W zależności przez kogo będzie ona realizowana to stopień skomplikowania technologicznego jest różny. Użytkowników metod naprawy i regeneracji podzielono na: producentów maszyn, specjalistyczne zakłady naprawcze, uniwersalne zakłady naprawcze oraz użytkowników maszyn i urządzeń.

Największy wpływ na rozwój metod naprawy i regeneracji mają producenci maszyn i urządzeń. Od nich zależy w zasadzie możliwość zastosowania istniejących metod oraz opracowania nowych. Od konstruktorów zależy podatność maszyn oraz elementów na procesy naprawcze. Ukierunkowanie procesu obsługi technicznej przez producentów na serwis firmowy prowadzi niejednokrotnie do utrudnienia jego przeprowadzenia przez innych. Konieczność stosowania specjalistycznego oprzyrządowania niezbędnego do przeprowadzenia demontażu oraz diagnostyki stanowi barierę, której nie mogą przekroczyć pozostałe grupy wykonujące obsługę techniczną. Równocześnie producenci wykorzystują uszkodzone i zebrane przez serwis zespoły do analizy uszkodzeń oraz opracowują metody i technologie naprawy. Ściśle współpracujące z producentami specjalistyczne zakłady naprawcze korzystają z technologii naprawy i regeneracji opracowywanych przez producenta i mają niewielki wpływ na rozwój technologii regeneracji. Jeszcze mniejszy wpływ mają pozostałe dwie grupy wykonujące obsługę techniczną. Z uwagi na niewielkie zasoby finansowe próbują one adaptować znane im technologie naprawy i regeneracji do wszystkich konstrukcji niezależnie czy one są przystosowane czy nie. Jakość wykonanej obsługi technicznej w dużym przybliżeniu jest wypadkową doświadczenia kadry, zastosowanej metody,

podatności technologicznej elementów oraz późniejszych wymuszeń jakie oddziałują na maszynę.

W celu wyznaczenia zasadności przeprowadzenia procesu naprawy i regeneracji w odniesieniu do konstrukcji zarówno nowych jak i starszych opracowano uproszczony algorytm uwzględniający podatność elementów na procesy regeneracji, skuteczność oraz ich efektywność.

Na podstawie omówionych publikacji sformułowano wnioski:

- metody naprawy i regeneracji elementów maszyn stosowane w obsłudze technicznej posiadają różny stopień skomplikowania technologicznego wymagającego różnorodnego oprzyrządowania i mogą być stosowane przez różnych użytkowników,
- użytkownicy maszyn potrzebują metod i technologii obsługi technicznej, które będą nieskomplikowane technicznie, nie wymagające dodatkowych zabiegów technologicznych oraz możliwych do wykonania w dowolnych warunkach, warunki te mogą spełniać tworzywa sztuczne,
- metody naprawy oraz regeneracji powinny cechować się możliwie niską ceną oraz możliwością zastosowania w jak najszerszym zakresie to jest dla różnych węzłów konstrukcyjnych, skojarzeń materiałowych i różnorodnych zakresów ubytku materiału.

Prace O1 i O4

Sędlak P., Wojdak J., 2005. Odtwarzanie funkcjonalności połączenia spoczynkowego łożysk tocznych.

Sędlak P., 2009. Wpływ wielokrotnego odtwarzania technologią klejenia połączenia typu wał-piasta na zmiany chropowatości powierzchni łączonych elementów.

W pracy O1 i O4 przedstawiono wyniki badań dotyczące wykorzystania tworzyw anaerobowych do montażu elementów przy połączeniach montowanych na wcisk. Połączenia takie występują przy osadzaniu łożysk tocznych, kół pasowych i zębatach, sworzni itp. Od zapewnienia poprawności działania tego typu osadzenia uzależnione jest bezawaryjne działanie całej maszyny a jego demontaż prowadzi do zmiany pasowania które było realizowane i założone przez konstruktora.

Elementem poddanym badaniom w pracy O1 było uszkodzone połączenie wciskane łożyska tocznego. Nieznaczne zmiany w obrębie mikrogeometrii powierzchni związane z odkształceniami plastycznymi powoduje zmniejszenie skutecznego wcisku oraz powiększenie luzu w łożysku tocznym. Ponowny montaż nie zapewnia już odpowiednich warunków pracy tak zmontowanego węzła łożyskowego wpływając

równocześnie na elementy powiązane to jest osadzone na łożyskowanym wale lub osi. Celem wykonanych badań było sprawdzenie wpływu zastosowania tworzywa anaerobowego na współosiowe ustawienie elementów przy odtwarzaniu uszkodzonego połączenia spoczynkowego łożyska tocznego. W badaniach symulowano różne wartości zużycia czopu w zakresie od 0,02–0,24 mm w odstępach co 0,02 mm oraz różnych klas chropowatości powierzchni czopa (Ra: 0,32, 0,63, 1,25, 2,5 μm). Gniazdo osadze wykonane było z pasowaniem suwliwym a wklejanie i ustalanie położenia następowało na czopie wykonanym ze stali 45 [36, 37]. Układ montowano w dwóch położeniach to jest pionowo oraz poziomo bez dodatkowego ustawiania elementów łączonych (tworzywo anaerobowe wypełniając szczelinę ustawiało elementy łączone względem siebie). Do łączenia wykorzystano tworzywo anaerobowe zalecane przez producenta do osadzania łożysk tocznych i dopuszczalnej szczeliny do 0,15 mm.

Wyniki badań dotyczące zmierzonych wartości bicia promieniowego wykazały brak zależności pomiędzy sposobem montażu a biciem promieniowym. Nie zanotowano również wpływu chropowatości łączonych elementów na zmianę bicia promieniowego. Zaobserwowano jednak zmianę wartości bicia promieniowego w zależności od szczeliny jaką musiało wypełnić tworzywo. Dla szczelin w zakresie od 0,02 mm do 0,1 mm wartość bicia promieniowego nieznacznie się zwiększa niezależnie od sposobu montażu. Przekroczenie szczeliny jaką wypełniało tworzywo powyżej 0,1 mm do 0,14 mm spowodowało zwiększenie wartości zmierzonego bicia promieniowego. Odnotowane wartości mieszczą się jednak w wartościach dopuszczalnych i pokrywają się z danymi producenta zalecającego stosowanie wybranego tworzywa anaerobowego do szczelin 0,15 mm. Przekroczenie wartości szczeliny powyżej 0,14 mm spowodowało dalszy wzrost wartości bicia promieniowego przekraczając równocześnie wartość dopuszczalną. Kontrola organoleptyczna tych połączeń wykazała znaczne wycieki tworzywa ze szczeliny przez co nie mogło ono skutecznie wycentrować i ustalić wzajemnego położenia elementów łączonych.

W pracy O4 przedstawiono wyniki badań dotyczące wielokrotnie przeprowadzonego procesu montażu i demontażu łożyska tocznego, którego osadzenie na czopie oraz w gnieździe realizowane było przez połączenie klejone. Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie wpływu wielokrotnego procesu ręcznego oczyszczania mechanicznego na zmiany chropowatości powierzchni elementów łączonych. Sprawdzono także wpływ rodzaju materiału czopa oraz gniazda na zmiany klasy chropowatości wynikające z kilkakrotnie przeprowadzanych operacji oczyszczania. Często przeprowadzany demontaż maszyn, a w szczególności połączeń

wciskanych powoduje zmiany na powierzchni elementów prowadząc w konsekwencji do zmniejszenia skutecznego wcisku i osłabienia tak ponownie montowanego połączenia. W odniesieniu do połączeń klejonych zmiany chropowatości powierzchni mogą wpłynąć na wartość sił adhezji tworzywa do materiału elementów łączonych a w konsekwencji do wartości sił potrzebnych do zerwania tak utworzonego połączenia. Jest to istotne z punktu możliwości przeprowadzania wielokrotnej obsługi technicznej wykorzystującej tworzywa sztuczne do mocowania i ustalania np. łożysk tocznych bez utraty uzyskiwanych parametrów wytrzymałościowych połączenia.

W wykonanych badaniach wykorzystano element rzeczywisty jakim jest łożysko toczne oraz wykonano czopy ze stali 45 wg. PN-93/H-84019 (C45 wg. PN-EN 10083-1:2008) oraz gniazda osadcze ze stopu glinu o oznaczeniu AK11 wg. PN-H-88027:1976 (EN AC-44000, EN AC-Al Si11 wg. PN-EN 1676:2011) [36, 37, 38, 39]. W celu realizacji badań przygotowano czopy oraz gniazda, w których luz pomiędzy pierścieniami łożyska tocznego o osadzeniu na wale i obudowie wynosił $\Delta d = 0,02$ mm. Chropowatość czopów oraz gniazd mieściła się odpowiednio w klasach Ra: 0,32; 0,63; 1,25; 2,5 μm . Do mocowania elementów użyto jednoskładnikowe tworzywo anaerobowe o statycznej wytrzymałości na ścinanie 34 [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$].

Wyniki badań laboratoryjnych wykazały, że wraz z kolejnymi procesami montażu (wklejania) i demontażu tego samego połączenia przy mechanicznym oczyszczaniu powierzchni w procesie przygotowania do klejenia następuje zmiana chropowatości powierzchni elementów łączonych. Zmiany dotyczyły zarówno czopów jak i gniazd osadczych. Proces ręcznego oczyszczania mechanicznego czopów wykonanych ze stali 45 w końcowym efekcie spowodował ustalenie chropowatości wszystkich elementów w zakresie Ra od 0,60 μm do 1,20 μm niezależnie od chropowatości wyjściowej. Chropowatość uzyskana dla gniazd osadczych wykonanych ze stopu aluminium AK11 na koniec badań mieściła się w zakresie Ra od 1,38 μm do 1,70 μm . Oczyszczanie mechaniczne nie wpłynęło na chropowatość powierzchni osadczych łożyska tocznego z uwagi na ich wysoką twardość oraz znikome ślady utwardzonego tworzywa, które należało usunąć w procesie oczyszczania i przygotowania do procesu klejenia. Stwierdzono w badaniach, że na zmiany chropowatości istotny wpływ ma zarówno rodzaj materiału z jakiego jest wykonany element, jego twardość jak i ilość spolimeryzowanego tworzywa które należy usunąć z powierzchni. Wyższe klasy chropowatości elementów użytych w badaniach wymagały dłuższego czasu poświęcanego na oczyszczenie powierzchni z resztek tworzywa. Zmiana chropowatości powierzchni łączonych elementów wpłynęła także nieznacznie na wartość siły

potrzebnej do demontażu tych połączeń. W odniesieniu do tradycyjnego pasowania siły potrzebne do demontażu połączenia klejonego były większe w zależności od skojarzenia materiałowego od 1,5 do 3 razy.

W wykonanych badaniach sposób przygotowania powierzchni do procesu klejenia, sposób aplikacji tworzyw odbywał się zgodnie z wytycznymi producentów użytych tworzyw sztucznych a materiały użyte do odtłuszczenia powierzchni były takie same.

Podsumowując wyniki badań osiągniętych dla wyżej wymienionych publikacji można sformułować wnioski:

- użycie tworzyw sztucznych w postaci klejów umożliwia odtworzenie wciskanego połączenia spoczynkowego zapewniając odpowiednie parametry wytrzymałościowe – wartość siły potrzebnej do demontażu (rozłączenia) jest większa od siły dla tradycyjnego połączenia wciskanego,
- przygotowanie mechaniczne do procesu klejenia powierzchni wpływa na zmiany chropowatości elementów jednak nie pogarsza parametrów wytrzymałościowych utworzonego połączenia klejonego,
- współosiowe ustawienie elementów podczas montażu zapewnia nanoszone tworzywo pod warunkiem nie przekraczania dopuszczalnych wartości szczelin.

Praca O7

Sędlak P., Stawicki T., 2016. Ocena możliwości demontażu połączeń gwintowych zabezpieczonych tworzywami anaerobowymi eksploatowanymi w rolniczym środowisku pracy.

W pracy O7 podjęto tematykę zabezpieczania połączeń gwintowych przed samoodkręceniem oraz korozją. Połączenia gwintowe należą do najliczniej wykorzystywanych połączeń w konstrukcji maszyn. W maszynach i urządzeniach rolniczych pracują one w różnorodnych warunkach środowiskowym oraz podlegają różnorodnym wymuszeniom. Podczas obsługi technicznej muszą być niejednokrotnie demontowane a następnie montowane zapewniając wymagane parametry techniczne. Trudne warunki pracy w warunkach rolnictwa stawiają przed połączeniami gwintowymi wysokie wymagania dotyczące zapewnienia prawidłowego połączenia łączonych elementów oraz możliwości przeprowadzenia ich demontażu.

Warunki rolniczego środowiska pracy w wyniku długoletniego oddziaływania prowadzą bardzo często do korozji połączenia gwintowego i utrudnionego demontażu [54]. Nieprawidłowo wykonany demontaż powoduje najczęściej zniszczenie samego połączenia gwintowego ale również uszkodzenia elementów łączonych. Uszkodzenie elementów łączonych przy demontażu połączenia gwintowego oprócz podniesienia

kosztów również wydłuża czas potrzebny do wykonania obsługi technicznej. Wykonanie zabiegów rozluźniających połączenie gwintowe umożliwiające jego prawidłowy demontaż wymaga oprócz oprzyrządowania także czasu, którego w warunkach spiętrzenia prac w rolnictwie brakuje. Dlatego też bardzo ważne jest zabezpieczenie połączenia gwintowego przed wpływem środowiska i umożliwienie jego demontażu niezależnie od czasu eksploatacji [33].

Celem badań wykonanych w publikacji O7 było sprawdzenie wpływu wybranych tworzyw anaerobowych wykorzystanych do zabezpieczenia połączenia gwintowego na wartość momentu odkręcania utworzonego połączenia eksploatowanego w różnych warunkach typowych dla rolnictwa. W zaplanowanym eksperymencie terenowym trwającym dwa lata przechowywano w różnych warunkach typowych dla rolnictwa zabezpieczone dwoma rodzajami tworzyw anaerobowych oraz niezabezpieczone połączenia gwintowe M12 wykonane z elementów niezabezpieczonych powłoką ochronną (tzw. śruby i nakrętki „czarne”) oraz pokrytych powłoką cynkową. Podczas montażu dokręcano połączenie gwintowe momentem równym 53 Nm, a po upływie ustalonego czasu podlegały one procesowi demontażu. Oceniano również wpływ sposobu oczyszczenia powierzchni elementów połączenia gwintowego na wartość momentu odkręcającego (zrywającego połączenie klejone) potrzebnego do demontażu.

Wyniki pomiarów maksymalnego momentu demontażowego wykazały, że zależnie od czasu i miejsca ekspozycji, zastosowanego tworzywa do zabezpieczenia, sposobu oczyszczenia oraz fabrycznego zabezpieczenia elementów połączenia gwintowego różnie wartość momentu potrzebnego do zdemontowania utworzonego połączenia. Po upływie dwóch lat średni moment potrzebny do demontażu śrub czarnych był od 1,5 do 2,2 razy większy od momentu użytego podczas montażu. Podobnie dla śrub ocynkowanych wartość średniego momentu odkręcającego po dwóch latach wynosiła od 1,3 do 1,8 wartości momentu montażowego. Wartości niższe dotyczyły zastosowania tworzyw anaerobowych, natomiast wyższe odnotowano dla połączeń niezabezpieczonych dokładnie oczyszczonych przed procesem montażu. Najwyższe momenty potrzebne do demontażu połączeń gwintowych niezabezpieczonych powłoką ochronną, a zabezpieczonych tworzywami anaerobowymi po okresie dwóch lat ekspozycji nie przekraczały wartości 96 Nm dla tworzywa określanego przez producenta jako „trudno demontowane” i 85 Nm dla tworzywa określanego jako „łatwo demontowanego”. Odpowiednio dla połączeń gwintowych wykonanych z elementów zabezpieczonych powłoką cynkową wartości te wynosiły 83 Nm i 78 Nm. Zanotowany spadek momentu potrzebnego do demontażu połączeń elementów zabezpieczonych

cynkową powłoką ochronną pokrywa się z danymi producentów tworzyw informujących o ujemnym wpływie tego typu powłoki (materiału) na osiąganą wytrzymałość połączenia klejonego.

Istotnym problemem zaobserwowanym w badaniach jest wzrost momentu odkręcającego połączenie gwintowe wraz z upływem czasu eksploatacji. Przy wykorzystaniu śrub o niskiej klasie jakościowej może dojść do przekroczenia parametrów wytrzymałościowych materiału z jakiego są wykonane i uszkodzenia rdzenia śruby przez jego zerwanie.

Prace O3 i O6

Sędlak P., Stężala S., Koniuszy A., Dzieńis A., Kuzio K., 2008. Próba wstępnej oceny modyfikowanego polipropylenu w aspekcie zastosowania w panewkach łożysk ślizgowych maszyn rolniczych

Sędlak P., Białobrzaska B., Stawicki T., 2016. Friction coefficient and wear of modified polypropylene impregnated with different oils

Wykorzystanie tworzyw sztucznych w budowie nowych konstrukcji i zastępowanie nimi tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych przynosi wymierne korzyści zarówno dla producentów jak i użytkowników. Stosunkowo niska cena tworzyw polimerowych oraz łatwość ich formowania upraszcza producentom maszyn i urządzeń proces konstruowania jak i technologie wytwórcze wpływając ostatecznie na cenę końcową produktu. Zastąpienie przez polimery tradycyjnych ślizgowych materiałów łożyskowych umożliwiło konstruktorom uproszczenie budowy niektórych węzłów łożyskowych i zrezygnowanie z budowy układów smarowania. Uproszczona konstrukcja oraz obsługa techniczna jest szczególnie istotna w maszynach i urządzeniach rolniczych obsługiwanych i użytkowanych przez ludzi o zróżnicowanej wiedzy technicznej [26].

Pomimo wielu zalet obecnie stosowanych tworzyw polimerowych dąży się do ich polepszenia i dostosowania pod konkretne wymuszenia [59, 60]. Zastosowanie polimerów w bezobsługowych ślizgowych węzłach łożyskowych ogranicza się do niskoobciążonych oraz wolnoobrotowych układów z uwagi na niską przewodność cieplną. Zwiększenie prędkości oraz obciążeń przy braku smarowania prowadzi do szybkiego wzrostu temperatury i zniszczeniu łożyska [1, 2, 27, 40].

W pracach O3 i O6 przedstawiono wyniki badań dotyczących modyfikacji wybranego materiału polimerowego przez wprowadzenie w jego strukturę płynnego środka smarnego. Celem wykonanych badań było sprawdzenie wpływu nasycenia wybranego materiału polimerowego różnymi płynnymi środkami smarnymi na podstawowe cechy tribologiczne.

W pracy O3 zastosowano jako materiał na elementy ślizgowe polipropylen, który poddano modyfikacji olejem roślinnym – czystym olejem rzepakowym oraz olejem EMKOL (estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego – RME) frakcja paliwowa oraz smarna. Drugim badanym materiałem był poliamid modyfikowany disiarczkiem molibdenu (Tarnamid T-27M), który wykorzystywany jest powszechnie do budowy łożysk ślizgowych. W wyniku nasączenia struktury polimerów uzyskano różne ilości wchłoniętego oleju wykazane jako zwiększenie masy próbek. Dla oleju EMKOL i polipropylenu uzyskano zwiększenie masy o 17,4%, natomiast dla poliamidu o 2,3%. Czysty olej rzepakowy spowodował przyrost masy próbek wykonanych z polipropylenu o 2,9% i poliamidu 0,8%. Biegi badawcze, w których mierzono moment tarcia oraz temperaturę próbki trwały 900 s i 3600 s. Próby odbywały się przy stałej prędkości liniowej wynoszącej $v = 0,1 \text{ m s}^{-1}$.

Wyniki badań tribologicznych wykazały istotny wpływ procesu nasycenia (rodzaju oleju oraz jego ilości) na wartości badane. W biegach badawczych przeprowadzonych w czasie 900 s tylko próbki wykonane z polipropylenu ukończyły wszystkie biegi badawcze, natomiast próbki wykonane z Tarnamidu T-27M uległy zatarciu. Czas zatrzymania biegu badawczego był uzależniony od rodzaju oleju jakim nasączono materiał i wynosił od 299 s (EMKOL paliwowy) do 686 s (czysty olej rzepakowy). Próbki nienasycone uległy zatarciu po 229 s. Badania przy dłuższym czasie pracy węzła tarcia przeprowadzono tylko dla próbek wykonanych z polipropylenu. Próbki nasączone olejami EMKOL uzyskały stabilizację temperatury węzła tarcia na poziomie około 65°C po czasie 1650 s, a końcowy moment tarcia wynosił od 66 do 71 Ncm. Próbki nasycone olejem rzepakowym oraz nienasycone osiągnęły stabilizację temperatury po około 2650 s i wyniosła ona odpowiednio 73°C i 75°C . Moment tarcia dla próbek nasyconych olejem rzepakowym wynosił 74,5 Ncm, a dla próbek nienasyconych 85 Ncm. Nasycenie próbek z polipropylenu olejem EMKOL spowodowało obniżenie momentu tarcia o około 19%.

Kontynuacją i rozwinięciem badań zaprezentowanych w pracy O3 były badania przedstawione w pracy O6. Celem badań było sprawdzenie wpływu nasycenia wybranymi olejami próbek wykonanych z polipropylenu na moment tarcia występujący w węźle, zmiany temperatury oraz zużycie liniowe. Polipropylen poddano procesowi nasycania trzema rodzajami olejów: olejem roślinnym (RME), olejem silnikowym oraz olejem przekładniowym. W zależności od użytego oleju uzyskano zwiększenie masy próbek odpowiednio o 16% dla RME, 10% dla oleju silnikowego oraz 8% dla oleju przekładniowego. Badania przeprowadzono przy stałej sile obciążającej węzeł tarcia

wynoszącej 343 N oraz stałej drodze tarcia 1840 m. Próby wykonano dla sześciu prędkości liniowych wynoszących 0,13; 0,26; 0,44; 0,62; 0,80 i 1,00 m s⁻¹.

Wyniki badań wykazały istotny wpływ procesu nasączenia na zachowanie się badanego materiału w węźle tribologicznym. Analizując wyniki czystego polipropylenu można stwierdzić że dla wszystkich prędkości badanych uzyskuje on najwyższe wartości momentu tarcia oraz najszybszy wzrost temperatury. Moment tarcia dla prędkości od 0,13 do 0,44 m s⁻¹ wynosi średnio od 126 do 151 Ncm i ulega stabilizacji po pewnym czasie zależnym od prędkości poślizgu. W zakresie tych prędkości następuje także powolny wzrost temperatury węzła tarcia, jednakże w każdym przypadku następuje ustalenie jej na stałym poziomie. Prędkości wyższe od 0,44 m s⁻¹ powodują dla niemodyfikowanego polipropylenu znaczne zmiany w przebiegu zarówno momentu tarcia jak i temperatury co ma także odzwierciedlenie w zmierzonym zużyciu liniowym. Dla tych prędkości wzrost temperatury węzła tarcia prowadzi do spadku momentu tarcia i zmian w dominującym procesie zużycia.

Modyfikacja polipropylenu olejami spowodowała zmniejszenie i ustabilizowanie się momentu tarcia dla prędkości od 0,13 do 0,44 m s⁻¹ w zakresie od 40 do 86 Ncm. Podobnie jak dla polipropylenu niemodyfikowanego można zaobserwować powolny wzrost temperatury i jej stabilizację. Dla próbek modyfikowanych temperatury są mniejsze średnio o około 6 °C. Różnice w zużyciu liniowym badanych próbek dla tego zakresu prędkości są nieznaczne i nieistotne statystycznie.

Uzyskane wyniki dla prędkości 0,62 m s⁻¹ modyfikowanego polipropylenu olejem silnikowym oraz przekładniowym są zbliżone do niższych prędkości badawczych. Odnotowano utrzymujący się powolny wzrost temperatury materiału, jednak moment tarcia oraz zużycie liniowe utrzymywały się na stałym poziomie. Wystąpiły natomiast zmiany w przebiegu momentu tarcia, temperatury oraz zużycia dla próbek nasączonych olejem RME. Zmiany w przebiegu badanych wartości wystąpiły po przebyciu około 1250 m i spowodowały wzrost momentu tarcia z wartości 80 do 172 Ncm na koniec biegu badawczego.

Dla prędkości liniowej powyżej 0,8 m s⁻¹ niezależnie od oleju użytego do nasączenia występował wzrost temperatury badanych próbek do wartości maksymalnej a następnie jej spadek. Przebieg zmian momentu tarcia wykazywał, że po początkowej stabilizacji na zbliżonym poziomie jak dla pozostałych prędkości następował później bardzo gwałtowny wzrost momentu tarcia (odnotowano także wzrost temperatury do wartości maksymalnej i jej powolne obniżanie) a następnie spadek do wartości około 25 Ncm. Także dla tych prędkości następowało bardzo duże zużycie liniowe.

Reasumując osiągnięte wyniki badań można stwierdzić iż proces nasączania olejami polipropylenu spowodował zwiększenie dopuszczalnej prędkości pracy z 0,44 do 0,62 m s⁻¹ oraz zmniejszenie momentu tarcia występującego w węźle w zakresie od 12 do 76%. Zmniejszenie momentu tarcia w niższych prędkościach badanych dla próbek nasączonych badanymi olejami spowodował wolniejszy wzrost temperatury oraz ustabilizowanie się jej na niższym poziomie co umożliwiło „bezpieczną pracę” tak zmodyfikowanego materiału w ślizgowym węźle tarcia.

PODSUMOWANIE

W zaprezentowanym cyklu publikacji powiązanych tematycznie przedstawiono wyniki badań dotyczących wykorzystania tworzyw sztucznych do odtwarzania wartości użytkowych wybranych węzłów maszyn i urządzeń. Zastosowanie tworzyw sztucznych w procesach obsługi technicznej maszyn i urządzeń rolniczych może w znaczący sposób wpływać na metody naprawy a także na uzyskiwane efekty techniczno-ekonomiczne.

Reasumując do najważniejszych osiągnięć prezentowanego dorobku naukowego zaliczam:

1. Wskazanie konieczności dostosowania dostępnych metod naprawy do zmienionych warunków gospodarczych przy uwzględnieniu braku zakładów specjalistycznych świadczących usługi w zakresie obsługi maszyn rolniczych oraz podjęcie zadań związanych z naprawą oraz obsługą przez samych użytkowników.
2. Określenie wpływu zastosowania tworzyw anaerobowych na proces obsługi maszyn rolniczych w odniesieniu do połączeń spoczynkowych rozłącznych (połączeń wciskanych oraz gwintowych):
 - zastosowanie tworzyw anaerobowych w procesie naprawy badanych połączeń upraszcza proces technologiczny (brak skomplikowanej obróbki mechanicznej) oraz skraca czas niezbędny do przywrócenia pełnej funkcjonalności,
 - parametry techniczne odtworzonego połączenia przy użyciu tworzyw anaerobowych odpowiadały tradycyjnemu połączeniu,
 - zastosowanie tworzyw anaerobowych umożliwia wielokrotne i powtarzalne odtworzenie połączenia, jednakże procesy oczyszczania i przygotowania prowadzą do zmian chropowatości elementów łączonych,
 - nieodpowiedni dobór tworzywa prowadzi do powstania połączenia, którego nie można zdemontować przy użyciu uniwersalnych narzędzi i wymagają specjalistycznych metod poluźniania i rozluźniania,

- warunki środowiska oraz pracy wpływają na właściwości wytrzymałościowe badanych polimerów,
 - zastosowanie polimerów anaerobowych w połączeniach gwintowych rzadko demontowanych wymaga zastosowania łączników o wyższej klasie wytrzymałości,
 - wykonanie demontażu uzyskanych połączeń może doprowadzić do uszkodzeń elementów połączonych i wydłużyć czas potrzebny na wykonanie naprawy.
3. Opracowanie technologii poprawiającej właściwości tribologiczne polipropylenu przez nasycenie jego struktury płynnym środkiem smarnym:
- wyznaczenie stopnia nasycenia dla różnych środków smarnych oraz warunków prowadzenia tego procesu,
 - poprawienie właściwości tribologicznych modyfikowanego polipropylenu, którego wyznacznikiem może być zmniejszenie momentu tarcia oraz obniżenie temperatury pracy węzła,
 - zwiększenie maksymalnej prędkości pracy zmodyfikowanego materiału polimerowego w badanych warunkach.

PERSPEKTYWA DALSZYCH BADAŃ

Dotychczas tworzywa sztuczne z powodzeniem są wykorzystywane do usuwania uszkodzeń elementów przenoszących nieznaczne obciążenia oraz siły. W praktyce naprawczej są stosowane do usuwania uszkodzeń powierzchni elementów karoserii, uszczelniania pękniętych korpusów silników, skrzyń biegów, zbiorników, uzupełniania ubytku materiału elementów itp. Zastosowanie tworzyw sztucznych w węzłach podlegających zmiennym obciążeniom (ślizgowe węzły łożyskowe, spoczynkowe połączenia rozłączne) dotyczy najczęściej nowych konstrukcji i jest wynikiem dobrania ich właściwości do warunków pracy przez konstruktora. Wykonanie naprawy uszkodzonych elementów wykonanych z tworzyw sztucznych lub je wykorzystujących staje się utrudnione z uwagi braku dostępu do pełnej dokumentacji technicznej (właściwości użytych tworzyw sztucznych) oraz braku opracowanych skutecznych metod naprawy. Wykonanie uszkodzonego elementu z dostępnych powszechnie materiałów polimerowych przez niedoświadczonych pracowników najczęściej skutkuje niską trwałością odtworzonego węzła (niezdolnością do przenoszenia obciążeń występujących w naprawianym węźle) oraz koniecznością ponownego przeprowadzenia procesu naprawy z wykorzystaniem oryginalnych części zamiennych. Wykorzystanie natomiast tworzyw sztucznych do naprawy starszych konstrukcji, w których dotychczas

nie były stosowane prowadzi niejednokrotnie do zmiany warunków współpracy naprawianych elementów co skutkuje zarówno uzyskaniem efektów zwiększających trwałość i niezawodność jak i też prowadzących do szybszego zużycia elementów współpracujących.

Nieznajomość właściwości fizyko-mechanicznych użytych tworzyw sztucznych (polimerów) w procesie produkcji prowadzi do podejmowania decyzji dotyczącej wyboru dostępnej metody naprawy przez pracowników wykonujących procesy obsługi technicznej najczęściej na podstawie własnych doświadczeń. Przy braku dostatecznie dużego doświadczenia z praktycznego zastosowania tworzyw sztucznych w procesach obsługi efekty wykonanej obsługi bardzo często są niezadowalające i powodują powstanie dodatkowych uszkodzeń co w konsekwencji prowadzi do wzrostu ponoszonych kosztów ekonomicznych.

Wykonane badania zaprezentowane w cyklu publikacji można wykorzystać do opracowania bezwymiarowego wskaźnika, którego proponowaną ogólną postać przedstawiono za pomocą wzoru (1).

$$W_E = \sum K_{(F,T,E)} \cdot g_{(F,T,E)} \quad (1)$$

Gdzie:

W_E – bezwymiarowy wskaźnik efektywności zastosowania tworzyw sztucznych w naprawach

$K_{(F, T, E)}$ – wskaźniki kryteriów cząstkowych

$g_{(F, T, E)}$ – współczynniki wagi dla poszczególnych kryteriów cząstkowych

Wskaźniki kryteriów cząstkowych podzielono na kryteria funkcjonalne (K_F), kryteria techniczne (K_T) oraz kryteria ekonomiczne (K_E) i przedstawiono za pomocą wzorów (2, 3 i 4).

$$K_F = \sum_{i=1}^n F_i \cdot w_{fi} \quad (2)$$

$$K_T = \sum_{i=1}^n T_i \cdot w_{ti} \quad (3)$$

$$K_E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot w_{ei} \quad (4)$$

Gdzie:

K_F – wskaźnik kryteriów funkcjonalnych

F_i – funkcjonalne kryteria cząstkowe

$w_{fi} \dots \dots W_{fn}$ – współczynniki wagi dla poszczególnych kryteriów cząstkowych
 K_T – wskaźnik kryteriów technicznych

T_i – techniczne kryteria cząstkowe

$w_{t1} \dots w_{tn}$ – współczynniki wagi dla poszczególnych kryteriów cząstkowych

K_E – wskaźnik kryteriów ekonomicznych

E_i – ekonomiczne kryteria cząstkowe

$w_{e1} \dots w_{en}$ – współczynniki wagi dla poszczególnych kryteriów cząstkowych

Na podstawie wykonanych badań przedstawionych w cyklu publikacji można także zaproponować dla poszczególnych głównych kryteriów kryteria cząstkowe, które przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Kryteria cząstkowe proponowanych wskaźników

Kryteria Funkcjonalne	Kryteria Techniczne	Kryteria Ekonomiczne
F1 – krotność naprawy	T1 – zmiana chropowatości powierzchni	E1 – koszty robocizny
F2 – możliwość przeprowadzenia procesu montażu	T2 – współczynnik tarcia	E2 – koszty materiałów
F3 – możliwość przeprowadzenia procesu demontażu	T3 – siła demontażu	E3 – koszty urządzeń technicznych
F4 – uniwersalność metody (materiału)	T4 – siła montażu	E4 – koszty jednostkowe
F5 – czas wykonania operacji	T5 – temperatura węzła	E _n –
F6 – poziom umiejętności obsługującego	T6 – wytrzymałość mechaniczna	
F7 – zapotrzebowanie na narzędzia	T7 – zużycie	
F _n –	T _n –	

W dalszej pracy naukowej chciałbym się skupić na doprecyzowaniu poszczególnych wskaźników i przypisaniu im kryteriów cząstkowych wytypowanych i opracowanych na podstawie badań eksploatacyjnych przeprowadzonych dla większej populacji maszyn rolniczych i przy dłuższym czasie ich eksploatacji. Drugim elementem dalszych badań byłoby wyznaczenie wartości współczynników wag uzależnionych od systemu przyjętej obsługi technicznej (wykonywanie czynności obsługowo naprawczych przez użytkowników lub zakłady naprawcze).

Zaproponowany wskaźnik umożliwiłby wielokryterialną ocenę efektywności zastosowania tworzyw sztucznych w systemie obsługi – naprawy – maszyn i urządzeń rolniczych. Efektem końcowym byłoby opracowanie algorytmu wyboru optymalnej technologii naprawy wykorzystującej tworzywa sztuczne.

LITERATURA

1. Bekhet NE., 1999. Tribological behaviour of drawn polypropylene. Wear 236, s.55–61.

2. Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong, 2007. Tribological behaviors of several polymer–polymer sliding combinations under dry friction and oil-lubricated conditions. *Wear* 262, s.1353–1359.
3. Buchwald T., Staszak Ż., 2013. Analiza realizacji przeglądów technicznych ciągników rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 3(146), T.2, s.47-55.
4. de Morais A. B., Pereira A. B., Teixeira J. P., Cavaleiro N. C., 2007. Strength of epoxy adhesive-bonded stainless-steel joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 27, s.679-686.
5. Durczak K., Rybacki P., 2011. Hierarchizacja kryteriów oceny jakości usług serwisowych maszyn rolniczych – opinia konsumenta. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, s.22-24.
6. Gesella G., Szeleziński A., Murawski L., Muc A., 2015. Wpływ temperatury pracy wyłaczarek na jakość wyrobów. *Autobusy* 6/2015, s.96-99.
7. Grieger A., 2008. Stan techniczny ciągników rolniczych w wysokotowarowym gospodarstwie rolnym. *Inżynieria Rolnicza* 9 (107), s. 99-105.
8. Grieger A., Chigarev V., Chojnacki J., 2011. Badania kosztów utrzymania ciągników rolniczych ze szczególnym uwzględnieniem czasu eksploatacji. *Autobusy* 5/2011, s.155-159.
9. Grieger A., Chojnacki J., Lewaszkiwicz Ł., Żukowska K., 2013. Analiza strukturalna usług serwisowych i naprawczych pojazdów rolniczych. *Autobusy* R14 nr 10, s.135-138.
10. Grześ Z., 2002. Analiza porównawcza kosztów obsługi technicznej ciągników rolniczych nowej generacji. *Inżynieria Rolnicza* 5(38), s.399-404.
11. Grześ Z., 2004. Ekonomiczne aspekty obsługi technicznej maszyn rolniczych nowej generacji w warunkach polskiego rolnictwa. *Postępy Nauk Rolniczych* 1/51, s.141-147.
12. Grześ Z., 2009. Wyniki badań wartościowania procesu obsługi technicznej ciągników rolniczych o różnym poziomie wykorzystania. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 4, s.45-50.
13. Idzior M., 2007. Kierunki zmian materiałowych w motoryzacji w świetle wymogów ekologii. *Motrol* nr 9, s.72–87.
14. Juściński S., 2012. Innowacyjne ujęcie zarządzania logistycznego obsługą techniczną pojazdów i maszyn rolniczych. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem* nr 4/2012, s. 12-24.

15. Juściński S., Piekarski W., 2008. Analiza statystyczna obsługi serwisowej ciągników rolniczych w aspekcie odległości od siedziby firmy. *Inżynieria Rolnicza* 2(100), s. 57-75.
16. Juściński S., Piekarski W., 2008. Zarządzanie logistyczne autoryzowanym serwisem ciągników i maszyn rolniczych. *Eksploatacja i Niezawodność* nr 2/2008, s.25-33
17. Juściński S., Piekarski W., 2010. The farm vehicles operation in the aspect of the structure of demand for maintenance inspections. *Maintenance and Reliability* nr 1/2010, s.59-68.
18. Juściński S., Szczepanik M., 2011. Przeglądy gwarancyjne ciągników rolniczych jako element logistyki dystrybucji. *Eksploatacja i Niezawodność* nr 2(38), s.45-52.
19. Kowalczyk Z., 2011. Poziom i struktura zużycia technicznych środków trwałych w różnych typach gospodarstw rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 2(127), s.5-12.
20. Kowalczyk Z., 2011. Zużycie wybranych typów ciągników rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 4(129), s.143-149.
21. Kowalczyk Z., Tomczyk A., 2013. Cechy konstrukcyjno-użytkowe wybranych maszyn i narzędzi rolniczych w opinii ich użytkowników. *Inżynieria Rolnicza* 4(147) T.1, s.153-159.
22. Kowalski S., 2005. Poziom kosztów i efektywność mechanizacji w wybranych gospodarstwach Polski i Niemiec. *Inżynieria Rolnicza* 6(66), s.369-375.
23. Królikowski W., 2012. *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*. PWN, Warszawa.
24. Kuboń M., 2008. Koszty eksploatacji środków technicznych w gospodarstwach o różnym typie produkcji rolniczej. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 1/2008, s.55-62.
25. Kuliś M., Nowicka G., Skrobaccki A., 2003. *Ciągniki, maszyny i inne środki transportu w gospodarstwach rolnych 2002*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2003.
26. Lawrowski Z., 2001. *Bezobsługowe łożyska ślizgowe*. Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
27. Lawrowski Z., 2007. Polymers in the construction of serviceless sliding bearings. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* vol.VII no.4, s.139-150.

28. Matuszewski M., 2005. Przydatność parametrów struktury geometrycznej powierzchni w diagnozowaniu stanu par kinematycznych. *Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów* vol.33, s. 117-122.
29. Michałek R., 2005. Konsekwencje postępu naukowego w rolnictwie. *Inżynieria Rolnicza* 3(63), s. 7-14.
30. Michałek R., Peszek A., 2012. Charakterystyka wybranych cech producenta rolnego w badaniu postępu naukowo-technicznego. *Inżynieria Rolnicza* 2(136), s.231-239.
31. Mrozik M., 2013. Wybrane aspekty zmian materiałowych w budowie pojazdu osobowego. *Autobusy R14* nr 10, s.193-195.
32. Muzalewski A., 2008. Opłacalność użytkowania maszyn nabytych z dotacją. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 3/2008, s. 27-33.
33. Nieoczym A., Gajewski J., 2004. Pękanie zmęczeniowe łączników gwintowych. *Eksploatacja i Niezawodność* nr 4/2004, s.22-25.
34. Pawlak J., 2007. Nakłady i koszty energii w rolnictwie polskim. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 4/2007, s.15-20.
35. Pawlak J., 2010. Popyt na maszyny rolnicze w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 1/2010, s.37-44.
36. PN-93/H-84019. Stal niestopowa do utwardzania powierzchniowego i ulepszania cieplnego. Gatunki.
37. PN-EN 10083-1:2008. Stale do ulepszania cieplnego – Część 1: Ogólne warunki techniczne dostawy.
38. PN-EN 1676:2011 Aluminium i stopy aluminium – Gąski stopowe do przetopienia – Specyfikacje.
39. PN-H-88027:1976 Odlewnicze stopy aluminium – Gatunki.
40. Quaglini V., Dubini P., Ferroni D., Poggi C., 2009. Influence of counterface roughness on friction properties of engineering plastics for bearing applications. *Materials and Design* 30(2009), s.1650–1658.
41. Rośkowicz M., Smal T., 2013. Research on durability of composite materials used in repairing aircraft components. *Maintenance and Reliability* Vol.15, No. 4, 2013 s.349-355.
42. Rudawska A., Dębski H., 2011. Ocena wytrzymałości połączeń klejowych blach ze stopu aluminium z wykorzystaniem analizy numerycznej MES. *Eksploatacja i Niezawodność* nr 1/2011, s.4-10.

43. Rybacki P., Durczak K., 2011. Ocena jakości serwisu technicznego maszyn rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 9(134), s.201-206.
44. Skrobaccki A., Ekielski A. *Pojazdy i ciągniki rolnicze*. Wieś Jutra, Warszawa, 2006.
45. Staszak Ż., Buchwald T., 2015. Analysis of seasonality of demand for maintenance services of agricultural tractors. *Agricultural Engineering* 1(153), s.133-139.
46. Stawinoga A., Mizgała J., 2014. Nowoczesne metody regeneracji zużytych elementów maszyn. *Systems Supporting Production Engineering, Inżynieria Systemów Technicznych* 2(8), s.222—230.
47. Szeptycki A. i in., 2005. Stan i kierunki rozwoju techniki oraz infrastruktury rolniczej w Polsce. IBMER Warszawa.
48. Tartakowski Z., 2013. Recykling materiałów polimerowych z pojazdów samochodowych. *Autobusy* 10/2013, s.262-264.
49. Tartakowski Z., Trybuła D., Mydlowska K., 2015. Recykling wielowarstwowych materiałów polimerowych stosowanych w pojazdach samochodowych. *Autobusy* 6/2015, s.243-245.
50. Terson Katalog, 2011. Produkty do napraw i serwisowania pojazdów Henkel Polska Sp. z o.o.
51. Tomczyk W., 2005. Koszty użytkowania parku maszynowego na przykładzie kombinatu rolnego Kietrz Sp. z o.o. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 4/2005, s.109-116.
52. Tomczyk W., 2005. Uwarunkowania racjonalnego procesu użytkowania maszyn i urządzeń rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 7(67), s.359-366.
53. Tomczyk W., 2006. Problemy badawcze w organizacji zaplecza naprawczego w aspekcie proekologicznych metod odnowy maszyn rolniczych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 3/2006, s.91-100.
54. Tomczyk W., 2007. Analiza warunków i sposobów przechowywania maszyn rolniczych w aspekcie ich zużycia korozyjnego. *Inżynieria Rolnicza* nr 7(95), s.207-213.
55. Tomczyk W., 2008: Aspekty ekonomiczne procesów odnowy i eksploatacji maszyn i urządzeń. *Inżynieria Rolnicza* 9(107), s.305-310.
56. Tomczyk W., 2009. Obsługi techniczne w procesie odnowy i utrzymania maszyn i urządzeń rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 6(115), s.301-307.

57. Tomczyk W., 2011. Ocena strategii utrzymania rolniczych środków technicznych w zależności od wielkości gospodarstw na przykładzie województwa małopolskiego. *Inżynieria Rolnicza* 4(129) s.303-309.
58. Tomczyk W., 2012. Charakterystyka zaobserwowanych procesów i rodzajów zużycia eksploatacyjnego maszyn rolniczych. *Inżynieria Rolnicza* 2(137) T.2, s.311-318.
59. Unal H., Mimaroglu A., Kadioglu U., Ekiz H., 2004. Sliding friction and wear behaviour of polytetrafluoroethylene and its composites under dry conditions. *Materials and Design* 25(2004), s.239–245.
60. Unlu BS., Atik E., Yilmaz S., 2009. Tribological behaviors of polymer based journal bearings manufactured from particle reinforced bakelite composites. *Materials and Design* 30(2009), s.3896–3899.
61. Wasąg Z., 2014. Efficiency in the use of agricultural technique. *Agricultural Engineering* 4(152), s.233-239.
62. Wieleba W., 2007. The mechanism of tribological wear of thermoplastic materials. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* vol.VII no.4, s.185-199.
63. Włodarczyk M., Flisiak J., 2005. Analiza wpływu charakterystyki materiału kleju na rozkład naprężenia w połączeniu klejowym. *Eksploatacja i Niezawodność* nr 2/2005, s.72-77.
64. Woźniak D., Kukiełka L., 2014. Kompozyty w technice w aspektach materiałów nowej generacji. *Autobusy* 6/2014, s.292-296.

4.2. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO- BADAWCZYCH

Po ukończeniu studiów w 1995 roku zostałem słuchaczem studiów doktoranckich prowadzonych w Akademii Rolniczej w Szczecinie. Pracę doktorską wykonywałem w Zakładzie Technologii i Organizacji Napraw (późniejszy Zakład Eksploatacji Systemów Technicznych) pod kierunkiem prof. dr. hab inż. Jana Wojdaka. Moje zainteresowania naukowe od początku skupiają się przede wszystkim na procesach naprawy maszyn i urządzeń rolniczych oraz na regeneracji części maszyn. W realizowanych badaniach zwróciłem szczególną uwagę na szybki rozwój technologii przetwórstwa tworzyw sztucznych (polimerów), zastępowania tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych przez polimery oraz możliwości wykorzystania polimerów w procesach naprawczo-obserwacyjnych oraz regeneracji. Wykonywane badania wpisywały się w profil badawczy zakładu i były kontynuacją tematów badawczych realizowanych przez pracowników zakładu a w szczególności prof. dr. hab inż. Jana Wojdaka. Realizowane badania pozwoliły na opracowanie szeregu publikacji (w ilości 10 szt.), które ukazały się przed uzyskaniem stopnia doktora. Publikacje o których mowa to dwie oryginalne prace twórcze (A1, A2), wygłoszone referaty na konferencjach naukowych wraz z ich opublikowaniem w materiałach konferencyjnych (R1, R2, R3, R4) oraz postery i ich streszczenia (K1, K2, K3, K4). Problematyka poruszana w pracach dotyczyła procesów naprawy podstawowych układów maszyn jakim są łożyskowania i przekładnie zębate oraz wpływu regeneracji elementów maszyn na opłacalność i efektywność procesu naprawy.

Rozwój problematyki badań związanych z przygotowaniem rozprawy doktorskiej dotyczącej technologii naprawy połączeń spoczynkowych w maszynach rolniczych oraz pogłębiona analiza teoretyczna i prowadzone badania eksperymentalne pozwoliły na rozszerzenie realizowanej tematyki badawczej o materiały polimerowe i ich wykorzystanie w procesach naprawy i regeneracji.

Po uzyskaniu stopnia doktora w 2003 roku mój dorobek naukowo-badawczy powiększył się o kolejne 66 opracowania naukowe z których 33 to prace w czasopiśmie z listy MNiSW. Prowadzone przeze mnie główne prace badawcze dotyczyły zakresu technologii napraw połączeń spoczynkowych (zarówno rozłącznych jak i nierozłącznych) z wykorzystaniem materiałów polimerowych – tworzyw anaerobowych i metalożywicznych. Zostały one w późniejszym czasie rozszerzone o badania skojarzenia ślizgowego realizowane w skojarzeniu polimer-stal. Prace te O1,

O3, O4, O6, O7 stanowią podstawę opisywanego osiągnięcia naukowego. Badania dotyczyły możliwości wykorzystania polimerów w procesach naprawy i regeneracji oraz określenia ich wpływu na procesy wykonywanej obsługi technicznej maszyn i urządzeń rolniczych. Wykonane badania i opracowania były kontynuacją oraz rozszerzeniem problematyki zaprezentowanej w rozprawie doktorskiej. Publikacje stanowiące osiągnięcie naukowe omówiono wcześniej natomiast referaty i streszczenia doniesień opisujące wstępne wyniki dotyczące osiągnięcia naukowego (R5, R9, R26) zaprezentowano na konferencjach naukowych.

Efektom prowadzonych pozostałych badań z zastosowania polimerów w procesach obsługi technicznej było zaprezentowanie wyników w postaci referatów wygłoszonych na konferencjach naukowych i ich opracowań w materiałach konferencyjnych (prace R6, R7, R14, K6).

W pracy R6 wykorzystano tworzywo anaerobowe MH 595–1 do zabezpieczenia połączeń gwintowych. Oceniano wpływ materiału łączników gwintowych, sposobu i dokładności oczyszczania oraz momentu montażowego M_A na moment potrzebny do demontażu M_{LB} . W badaniach użyto dwóch rodzajów śrub (oksydowanych oraz ocynkowanych) dokładnie oczyszczonych oraz nieoczyszczonych dokręcanych momentami $M_A = 30; 50; 64$ Nm i demontowanych po upływie 48 godzin od chwili montażu. Stwierdzono istotny wpływ materiału podłoża na moment odkręcający M_{LB} niezależnie od sposobu przygotowania elementów do klejenia. Moment demontażu M_{LB} dla śrub ocynkowanych był średnio o 15% mniejszy w odniesieniu do śrub oksydowanych. Niezależnie od użytego momentu montażowego dla elementów oksydowanych oraz dokładnie odtłuszczonych stwierdzono stały moment odkręcający M_{LB} wynoszący 70 Nm. Stwierdzono również wpływ procesu oczyszczania na wartość momentu odkręcającego M_{LB} dla badanych połączeń gwintowych. Moment ten był średnio o 20% niższy dla próbek nieoczyszczonych w stosunku do oczyszczonych. Podsumowując należy stwierdzić, że wykorzystanie badanego tworzywa przynosi wymierne korzyści w usprawnieniu procesu naprawy. Zastąpienie szeregu sposobów zabezpieczania przed poluzowaniem połączenia gwintowego jednym tworzywem ogranicza możliwość popełnienia błędu związanego z nieodpowiednim dobraniem elementów lub ponownym wykorzystaniem elementów uszkodzonych. Jednakże już na etapie projektowania urządzenia takie rozwiązanie powinno być uwzględnione, dla maszyn starszych zastosowanie tworzywa może być tylko uzupełnieniem już istniejących sposobów zabezpieczania. Wynika to z konstrukcji połączenia dobranego przez projektanta maszyny – np. rozłożenie nacisków na podkładkę płaską,

zastosowanie nakrętki z kołnierzem, ustalenie położenia elementów połączenia gwintowego itp. Zastosowanie w tym wypadku samego tworzywa może doprowadzić do utrudnienia montażu lub uszkodzenia powierzchni elementów łączonych a w konsekwencji do uszkodzenia maszyny.

W badaniach przedstawionych w referacie R7 oraz posterze K6 wykorzystano oprócz tworzyw anaerobowych także tworzywa metalożywicze do regeneracji wciskanego połączenia spoczynkowego. Elementem poddanym badaniom było uszkodzone połączenie osadcze łożyska tocznego, w którym symulowano różne wartości zużycia gniazda w zakresie 0,02–0,24 mm oraz różnych klas chropowatości powierzchni (R_a : 0,32, 0,63, 1,25, 2,5 μm). Dla szczelin w zakresie do 0,15mm zastosowano samo tworzywo anaerobowe do mocowania i ustalania pierścienia łożyska natomiast dla wyższych wartości zużycia wykorzystano dodatkowo tworzywo metalożywicze. W celu prawidłowej aplikacji materiału metalożywicznego uszkodzone połączenie podlegało procesowi przygotowania przez rozwiercanie i uzyskanie szczeliny, którą może dokładnie wypełnić aplikowane tworzywo („uzyskanie pożądanej grubości ścianki utworzonej przez materiał metalożywiczny”). Odtworzenie kształtu osadzenia w gnieździe odbywało się w sposób, który nie wymagał dodatkowej obróbki mechanicznej tzw. „na gotowo” a ostateczny montaż był przeprowadzany z użyciem tworzywa anaerobowego. Takie podejście do przygotowania próbek oraz sposobu aplikacji było wynikiem założenia maksymalnie uproszczenia procesu naprawy, możliwej do wykonania w warunkach użytkownika (rolnika) oraz małego zakładu naprawczego. Wyniki badań dotyczących poprawności wykonanego osadzenia (pomiar bicia elementów osadzanych oraz siły potrzebnej do demontażu, która miała być większa od siły demontażu tradycyjnego połączenia wciskanego dla tego typu skojarzenia wymiarowego oraz materiałowego) wykazały pełną przydatność tak zregenerowanego osadzenia. Dla próbek łączonych samym tworzywem anaerobowym obserwowano niszczenie połączenia w warstwie tworzywa anaerobowego (przekroczenie wartości sił spójności, niszczenie kohezyjne) a tylko około 10% powierzchni skleiny nosiła ślady zniszczenia połączenia adhezyjnego. Natomiast dla próbek, w których zastosowano tworzywo metalożywicze oraz anaerobowe niszczenie połączenia klejonego następowało w warstwie adhezyjnej tworzywa metalożywicznego do podłoża (około 60% powierzchni skleiny wykazywało ten typ zniszczenia) lub przez zniszczenie kohezyjne materiału metalożywicznego (30 % powierzchni skleiny). W nieznacznym stopniu obserwowano ślady zniszczenia połączenia klejonego w obszarze tworzywa anaerobowego. Wartości siły potrzebne do

demontażu połączenia, w którym zastosowano równocześnie tworzywo metalożywiczne oraz anaerobowe były znacznie niższe niż przy zastosowaniu samego tworzywa anaerobowego.

Kolejna publikacja R14 w której podejmowano problematykę wykorzystania tworzyw anaerobowych do naprawy wciskanych węzłów spoczynkowych dotyczyła sprawdzenia wpływu temperatury pracy na wytrzymałość otrzymanego połączenia klejonego. Celem prowadzonych badań było określenie siły potrzebnej do zniszczenia połączenia w zależności od temperatury pracy węzła lub temperatury otoczenia w jakiej będzie ono demontowane. Badania przeprowadzono w temperaturach: T_1 -20 °C, T_2 0 °C, T_3 20 °C, T_4 80 °C, T_5 120 °C, T_6 160 °C oraz T_7 200 °C. Ustalono także wartość zużycia osadzenia od 0,02 mm do 0,14 mm w krokach co 0,02 mm oraz zakres chropowatości powierzchni R_a 0,32–2,5 μm . W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla temperatur T_1 , T_2 i T_3 zmiany wartości siły potrzebnej do demontażu niewiele się różnią od siebie a różnice nie przekraczają 4%. Dalszy wzrost temperatury powodował obniżenie wartości siły potrzebnej do demontażu, odpowiednio dla temperatur o: T_4 -9%, T_5 - 28%, T_6 - 49% oraz T_7 - 72% w stosunku do siły demontażu wykazanej w temperaturach T_1 – T_3 . Analizując wpływ szczeliny na siłę demontażu stwierdzono także znaczny spadek jej wartości wraz ze wzrostem szczeliny. Niezależnie od temperatury demontażu siła konieczna do zniszczenia połączenia klejonego dla szczeliny 0,14 mm była o około 36% niższa w stosunku do szczeliny 0,02 mm. Wzrost chropowatości powierzchni łączonych elementów z R_a - 0,32 μm do R_a - 2,5 μm powodował natomiast wzrost siły potrzebnej do rozłączenia połączenia o około 12%. Wyniki dotyczące wpływu szczeliny oraz chropowatości powierzchni były zbieżne z pracami R7 i K6 w odniesieniu do demontażu połączenia utworzonego przez same tworzywo anaerobowe.

Podjęcie współpracy z Instytutem Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa – Pomorskim Centrum Badań w Gdańsku zaowocowało rozszerzeniem tematyki związanej z zastosowaniem polimerów w naprawie i regeneracji o poliuretany, modyfikowany olejami polipropylen i poliamid. Efektem prac badawczych były publikacje R13, R16 oraz patent nr. **P 409170**, 2017. Sędlak P., Koniuszy A., Stawicki T., Janicki W.: *Sposób otrzymywania materiału polimerowego do wytwarzania elementów par ślizgowych*.

W pracy R13 zaprezentowanej na konferencji naukowej podjęto tematykę wpływu długotrwałego oddziaływania promieniowania słonecznego a w szczególności promieniowani UV na właściwości fizyko-mechaniczne materiałów poliuretanowych.

Polimery te znajdują szerokie zastosowanie w budowie maszyn rolniczych oraz w procesach naprawczych jako elementy wymienne. Wykazano w badaniach, że długotrwałe oddziaływanie promieniowania słonecznego prowadzi do destrukcji badanych polimerów poliuretanowych obniżając niektóre właściwości mechaniczne. W celu utrzymania niezmiennych parametrów części zamiennych oraz elementów zamontowanych w maszynach wykonanych z poliuretanów należy zabezpieczyć je przed wpływem promieniowania słonecznego. Elementy wykonane z poliuretanów powinny być przechowywane w ciemnych nie nasłonecznionych pomieszczeniach lub pokryte warstwą ochronną nieprzepuszczającą promieniowania słonecznego. Natomiast elementy zamontowane i eksploatowane winno zabezpieczyć się trwałą powłoką ochronną lub tak przechowywać aby nie dochodziło do bezpośredniego nasłonecznienia ograniczając tym samym ujemny wpływ promieniowania na materiał polimeru.

Rozwój technik wytwarzania materiałów polimerowych oraz ich cechy mechaniczno-fizyczne spowodował, że coraz częściej wykorzystuje się je w budowie maszyn i urządzeń. Jednym z zastosowań jest budowa niskoobciążonych bezobsługowych ślizgowych układów łożyskowych nie wymagających układu smarowania. Jest to nie bez znaczenia w maszynach i urządzeniach rolniczych od których wymaga się wysokiej niezawodności przy maksymalnie uproszczonej budowie oraz niskich kosztach wytwarzania i naprawy. Stosowane dotychczas materiały polimerowe charakteryzują się dobrymi parametrami technicznymi lecz dąży się do ich poprawy. Jednym ze sposobów poprawienia cech tribologicznych może być wykorzystanie nasiąkliwości niektórych polimerów do nasycania ich struktury płynnymi środkami smarnymi. W pracy R16 zastosowano jako materiał na elementy ślizgowe polipropylen który podlegał modyfikacji różnymi olejami. W wyniku modyfikacji polipropylenu uzyskano około czterokrotne zmniejszenie momentu tarcia występującego przy stałym nacisku w badanym skojarzeniu w porównaniu do materiału niemodyfikowanego. Tak znaczne zmniejszenie momentu tarcia prowadzi do zmniejszenia wydzielanego w węźle ciepła (powstającego w wyniku pracy tarcia) pozwalając na dłuższą bezawaryjną pracę a tym samym wydłużając czas eksploatacji tak zmodyfikowanego węzła tarcia. Prace związane z nasączeniem różnych materiałów polimerowych kontynuowano wykorzystując różnorodne oleje pochodzenia naturalnego (oleje roślinne) jak i oleje mineralne. Sterując parametrami związanymi z nasączeniem, polimerami nasączanymi oraz dobierając oleje biodegradowalne (roślinne) opracowano zgłoszenie patentowe dotyczące możliwości otrzymania materiału polimerowego do wytwarzania bezobsługowych łożysk ślizgowych.

Poza kierunkiem badań określonym jako osiągnięcie naukowe (punkt 4 niniejszego autoreferatu) oraz wyżej wymienionymi opracowaniami związanymi z zastosowaniem materiałów polimerowych moje badania po uzyskaniu stopnia doktora obejmowały następujące zagadnienia i kierunki:

1. Analiza możliwości pozyskiwania i wykorzystania biomasy a także promieniowania słonecznego do wytwarzania energii (prace A3, A4, A13, A21, R11, R20, R21, R24).
2. Badania trwałości elementów pracujących w glebie oraz ich wzmacniania technologiami spawalniczymi (prace A14, A16, R15, R18, K9).
3. Badania silników spalinowych stosowanych w maszynach rolniczych i leśnych w aspekcie eksploatacyjno-ekologicznym (prace F1, A5, A7-10, A12, A23-25, A27, R10, R17, K7, K10, K12).
4. Wpływ technicznych środków produkcji w rolnictwie na bezpieczeństwo pracy (prace A6, A17-20, R19, R25, K13).

Ad 1. Zagadnieniami związanymi z pozyskaniem oraz przetwarzaniem biomasy zainteresowałem się od momentu podjęcia współpracy przy projektowaniu doświadczalnym maszyny do zbioru i transportu trzciny zwyczajnej (praca A3, R11). Warto podkreślić, że wykonanie działającego oraz eksploatowanego przez użytkownika prototypu jest jednym z najważniejszych osiągnięć w zakresie omawianych publikacji związanych z biomasą. Jako bazę do budowy zestawu maszynowego pracującego w trudnych warunkach terenowych wykorzystano wycofaną z eksploatacji w wojsku lekką amfibię gąsienicową BV206. Budowa zestawu maszynowego do zbioru i transportu biomasy wymagała bardzo dużych zmian konstrukcyjnych w pojeździe bazowym. Zmiany te konieczne ze względu na postawione zadania jakie musiał spełniać tworzony zestaw dotyczyły konstrukcji układu jezdnego, przeniesienia napędu, zmiany silnika napędowego, konstrukcji układu tnącego oraz przyczepy do transportu zebranej biomasy. Opracowany i wykonany prototyp spotkał się z dużym zainteresowaniem przedstawicieli zarówno samorządów jak też i Lasów Państwowych widzących potencjalne wykorzystanie maszyny do pozyskania biomasy z trzciny jak i szuwarów na terenach podmokłych i zabagnionych.

W kolejnych publikacjach podjęto problematykę oceny efektywności wykorzystania promieniowania słonecznego do przygotowania ciepłej wody użytkowej (A13, R20) oraz obniżenia energochłonności procesu suszenia trocin drzewnych wykorzystywanych do produkcji pelletów (A21, R21, R24). W publikacji (A13, R20) analizowano efektywność energetyczną eksploatowanych kolektorów słonecznych służących do

przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) w Ośrodku Energii Odnawialnej w Ostoi należącym do Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Wykonane badania pozwoliły na sformułowanie wniosków z których wynika, że przy prawidłowym doborze wielkości kolektorów oraz ich prawidłowym usytuowaniu można uzyskać wymaganą ilość energii potrzebną do podgrzania wody użytkowej do temperatury 55°C wykorzystanej na potrzeby ośrodka od początku kwietnia do końca września. Całkowity efektywny czas pracy w tym okresie wynosił około 1020 godz. a średni czas pracy kolektorów w ciągu dnia około 5,6 godz. i najczęściej obejmował godziny od 10 do 16 co w istotny sposób wpływało na zapewnienie ciągłej dostawy c.w.u. Utrzymanie dostaw c.w.u. w kolejnych godzinach wymagało zbudowania odpowiednio dużych zbiorników magazynujących c.w.u., co podraża całkowity koszt inwestycji i wydłuża czas zwrotu poniesionych kosztów inwestycyjnych. W pracach (A21, R21, R24) podjęto próbę obniżenia energochłonności procesu suszenia surowca drzewnego wykorzystywanego do wytwarzania pelletów. Tradycyjny sposób przygotowania materiału opiera się na suszeniu go do wymaganej wilgotności w różnorodnych piecach do opalania których wykorzystuje się część surowca. Takie rozwiązanie procesu suszenia powoduje zwiększenie kosztów produkcji i podniesienie ceny produktu końcowego z uwagi na stratę części surowca. Jako rozwiązanie zaproponowano poddanie materiału przed właściwym suszeniem procesowi zgniatania w wyniku którego usunie się część wody. Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że możliwe jest skrócenie czasu potrzebnego do suszenia trocin poddanych wcześniej procesowi zgniatania jednak efektywność tego procesu jest uzależniona od wartości siły zgniatającej, rozdrobnienia materiału poddanego procesowi zgniatania, jego początkowej wilgotności, czasu trwania tego procesu, grubości warstwy zgniatanej oraz gatunku drzewa z którego pochodził.

Ad 2. Tematyka ta jest kontynuacją początkowych zainteresowań związanych z technologiami naprawy i regeneracji stosowanych w rolnictwie. Jedną z powszechniej wykorzystywanych w praktyce technologii naprawy jest spawanie i napawanie. Nawiązana współpraca z firmą CASTOLIN Polska zaowocowała ukończeniem szkolenia z technologii nakładania materiałów trudnościeralnych na elementy robocze narażonych na intensywne zużycie ściernie. W pracach A14, R15, R18, K9 przedstawiono wyniki dotyczące zastosowania różnorodnych materiałów spawalniczych wykorzystanych do wzmocnienia lemieszki płużnych nakładanych w warunkach użytkownika. Podjęte badania miały na celu poznanie możliwości i efektywności samodzielnego podnoszenia trwałości elementów przez rolnika wykorzystującego do

tego celu podstawowe urządzenia znajdujące się na wyposażeniu gospodarstwa. Wyniki badań eksploatacyjnych potwierdziły zwiększenie trwałości elementów napawanych w stosunku do takich samych, które nie podlegały procesowi wzmacniania. Uzyskane wartości podniesienia trwałości napawanych elementów uzależnione są jednakże od wielu czynników zarówno związanych z materiałem podłoża, użytego materiału napawanego, kształtu oraz wzoru napoin, miejsca nałożenia, ilości napoin przypadających na określona powierzchnię ale także z późniejszymi warunkami użytkowania (warunkami związanymi z glebą). Podniesienie odporności na zużycie ścierne dla badanych obiektów spełniało warunek ekonomiczny dotyczący kosztów wykonania zabiegu, które nie mogły przekroczyć kosztów zakupu elementów o trwałości zbliżonej do elementów wzmocnionych przez rolnika. W pracy A16 podjęto natomiast problematykę związaną z wykorzystaniem kamery termowizyjnej do wyznaczenia rozkładu temperatury warstwy wierzchniej elementów pracujących w glebie. Poznanie rozkładu temperatury na powierzchni elementów roboczych (lemieszy, dłut, redlic) pozwala w przybliżeniu wyznaczyć miejsca, które podlegają najsilniejszym obciążeniom powodowanym przez glebę. W miejscach o najwyższej temperaturze dochodzi do intensywnego tarcia, które może intensyfikować zużycie ścierne materiału elementu. Poznanie miejsca występowania obszarów o najwyższej temperaturze powierzchni może pozwolić na dostosowanie procesu zarówno konstruowania jak i metod wzmacniania do spodziewanych wymuszeń i obciążeń występujących w tych obszarach.

Ad 3. W opracowaniach (F1, A5, A7-10, A12, A23-24, A27, R10, R17, K7, K10, K12) przedstawiono zagadnienia dotyczące ekonomiczności pracy silników ciągników rolniczych, oceny wpływu eksploatacji ciągników rolniczych na środowisko przyrodnicze oraz wpływu warunków i czasu eksploatacji na zmianę właściwości środków smarnych. W obecnych czasach poświęca się bardzo dużo uwagi zagadnieniom ochrony środowiska i zanieczyszczeniom emitowanym przez środki transportu. Jednakże działania te skupiają się w głównej mierze na pojazdach transportu samochodowego pasażerskiego i towarowego (samochody osobowe i ciężarowe) a bardzo mało jest opracowań dotyczących pojazdów i ciągników wykorzystywanych w rolnictwie. Ma to ogromne znaczenie z uwagi na długoletnie eksploatowanie pojazdów i ciągników w rolnictwie, niejednokrotnie przekraczające 30 lat i więcej. Oszacowanie wpływu silników spalinowych eksploatowanych w maszynach i pojazdach rolniczych na środowisko naturalne jest bardzo trudne z powodu na ogromne zróżnicowanie warunków eksploatacji, różnorodny stan techniczny,

umiejętności użytkowników oraz stosowanych materiałów eksploatacyjnych (w szczególności paliw i olejów smarnych). Jako główne źródło zanieczyszczeń środowiska należy uznać gazy spalinowe pochodzące ze spalania mieszanki paliwowo-powietrznej a w szczególnych wypadkach przy znacznym zużyciu także oleju silnikowego. Skład spalin różni się w zależności od prędkości obrotowej silnika, obciążenia oraz stanu technicznego. W pracach A7, A9, A10, A27 analizowano rozkład rzeczywistych prędkości obrotowych silników ciągnikowych wykorzystywanych w typowych pracach w gospodarstwie rolnym w odniesieniu do cykli badawczych stosowanych przez producentów. Na podstawie uzyskanych rozkładów prędkości obrotowych wału korbowego oraz obciążeń opracowano zastępczy cykl obciążeń silnika, dla którego przeprowadzono badania na stanowisku dynamometrycznym. Analizowano wskaźniki eksploatacyjne dotyczące jednostkowego zużycia paliwa, godzinowego zużycia paliwa, mocy efektywnej oraz emisji CO₂, CO, HC, NO_x. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono istotne różnice dotyczące najczęściej wykorzystywanych prędkości obrotowych oraz generowanego momentu obrotowego w stosunku do cykli stosowanych przez producentów. W pozostałych pracach (F1, A5, A8, A12, A23-24, R10, R17, K7, K10, K12) podejmowano problematykę wpływu warunków i czasu eksploatacji na właściwości środków smarnych stosowanych w pojazdach i ciągnikach rolniczych. Analizowano zmiany podstawowych cech reologicznych i tribologicznych olejów silnikowych eksploatowanych w silnikach ciągnikowych użytkowanych w różnorodnych warunkach. Ustalono, że cechy reologiczne oraz tribologiczne badanych olejów, które zgodnie z wytycznymi producenta silnika wymagały wymiany (po przepracowaniu ustalonej liczby motogodzin lub czasu) nie odbiegały znacząco od olejów nowych. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że oleje te nie wykazywały istotnego pogorszenia cech reologicznych oraz tribologicznych i mogły być nadal eksploatowane.

Ad 4. W pracach A6, A17-20, R19, R25, K13 podjęto tematykę bezpieczeństwa pracy operatorów maszyn i pojazdów w rolnictwie oraz leśnictwie. Zmiany związane z przemianami gospodarczymi spowodowały intensyfikację produkcji rolniczej w indywidualnych gospodarstwach rolnych a wraz z nią nastąpił wzrost zagrożenia wypadkowego generowanego przez maszyny i urządzenia. Wynika to z faktu realizacji celów produkcyjnych przy udziale wielu środków technicznych (skomplikowanych pod względem budowy i obsługi, a jednocześnie o różnym stanie technicznym), w dynamicznie zmiennych warunkach otoczenia, przy jednoczesnym częstym braku odpowiednich kwalifikacji i podstawowej wiedzy z zakresu bezpieczeństwa pracy.

Użytkowanie w gospodarstwach maszyn i pojazdów zapewniających bardzo odmienne warunki związane z bezpieczeństwem pracy (maszyny nowej generacji spełniające warunki „Dyrektywy Maszynowej” 2006/42/WE oraz maszyny jej nie spełniające) prowadzi do powstawania ryzyka wystąpienia zdarzeń losowych powiązanych z samym bezpośrednim użytkowaniem jak i z obsługą techniczną. Brak przygotowania do użytkowania nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych oraz konieczność wykonywania samodzielnej obsługi technicznej a w szczególności napraw konstrukcji starszej generacji skutkuje utrzymywaniem się dużej wypadkowości w rolniczym środowisku pracy. Jak wykazano w badaniach częściowa i powolna wymiana maszyn i pojazdów na modele nowej generacji nie spowodowała istotnego zmniejszenia wypadkowości w rolnictwie.

4.3. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO

Efektom prowadzonych przeze mnie badań jest dorobek naukowy na który składa się łącznie 75 publikacji i wystąpień na konferencjach naukowych (w sumie 250 pkt. wg MNiSW wraz z publikacjami stanowiącymi osiągnięcie naukowe – zał. IV). W czasopiśmie z listy MNiSW ukazało się 35 publikacji z których 2 jest indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR) i posiadające Impact Factor IF=2,122. Pozostałe 35 publikacje to prace w postaci: 23 artykułów w czasopiśmie z listy B MNiSW (7 w języku obcym), 9 rozdziałów w monografiach naukowych (2 w języku obcym), 1 publikacja w recenzowanych materiałach konferencyjnych oraz 2 publikacje w czasopiśmie z poza list MNiSW. Oprócz wymienionych publikacji wygłosiłem 25 referatów na konferencjach naukowych (zarówno krajowych jak i międzynarodowych) oraz zaprezentowałem 13 posterów (w formie papierowej i multimedialnej) przedstawiając wyniki prowadzonych przeze mnie badań. Jestem również współautorem jednego patentu.

Sumaryczne zestawienie informacji na temat mojego dorobku naukowo – badawczego zestawiono w tabelach 2-3.

Informacje dotyczące osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzatorskich, zamieszczone zostały w zał. IV.

Tabela 2. Syntetyczne zestawienie całego dorobku naukowego

Rodzaj publikacji	Język	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie
		Autor	Współ.	Łącznie	Autor	Współ.	Łącznie	
Oryginalne prace twórcze								
W czasopismach z <i>Impact Factor</i>	Obcy	-	-	-	-	2	2	2
Prace oryginalne punktowane zgodnie z wytycznymi MNiSW	Obcy	-	-	-	-	7	7	7
	Polski		2	2	1	13	14	16
Prace oryginalne w recenzowanych materiałach konferencyjnych	Obcy	-	-	-	-	-	-	-
	Polski	-	-	-	-	1	1	1
Rozdziały w monografiach	Obcy	-	-	-	-	2	2	2
	Polski	-	-	-	1	6	7	7
Artykuły w czasopismach nie znajdujących się na liście MNiSW	Polski	-	-	-	-	2	2	2
Suma		-	2	-	2	33	-	37
Inne prace								
Prace oryginalne w materiałach konferencyjnych i wygłoszone referaty	Polski	1	3	4	3	18	21	25
Streszczenia pokonferencyjne i postery	Polski	-	4	4	2	7	9	13
Suma		1	7	-	5	25	-	38
Łącznie wszystkie publikacje		1	9	-	7	58	-	75

Tabela 3. Punktacja opublikowanych prac wg MNiSW

Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	Suma punktów MNiSW		IF
		zgodnie z datą wydania*	lista z 2015**	
Osiągnięcie naukowe				
Iranian Polymer Journal	1	25	25	1.68
Inżynieria Rolnicza	3	12	30	
Problemy Inżynierii Rolniczej	1	4	7	
Rozdział w monografii „Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem standardów UE i ochrony środowiska”. 2016, Wyd. ITP	1	4	4	
Regeneracja '06	1	-	-	
Razem	7	45	66	1,68

<u>Pozostałe czasopisma punktowane</u>				
Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe	3	21	21	
Diagnostyka	1	7	11	
Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica	1	5	10	
Inżynieria Rolnicza (Agricultural Engineering)	3	12	30	
Logistyka	4	40	0	
Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa; Tribologia	4	36	32	
Rozdział w monografii naukowej „Energetyczne wykorzystanie biomasy w działalności gospodarczej”. 2009, Wyd. Politechniki Koszalińskiej	2	22	30	
Rozdział w monografii naukowej „Energetyczne wykorzystanie biomasy w działalności gospodarczej”. 2009, Wyd. Politechniki Koszalińskiej	1	4	4	
Rozdział w monografii naukowej „Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i produkcji energii alternatywnej”. 2012, Wyd. GIMPO	1	4	4	
Rozdział w monografii naukowej „Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem infrastruktury, ochrony środowiska i produkcji energii alternatywnej”. 2013, Wyd. GIMPO	1	4	4	
Rozdział w monografii naukowej „Innovacionnye tehnologii vozdeľvaniâ sel’skohożâjstbennyh kul’tur v nečernozem’e”. 2013 Wyd. GNU Vladimirskij NIISH Rossel’hozakademii	1	4	5	
Rozdział w monografii naukowej „Vestnik a scientific journal of the Mari State University”. 2013 Wyd. Joshkar-Ola	1	4	5	
Rozdział w monografii naukowej „Produkcja energii odnawialnej, w tym biogazu w aspekcie ochrony środowiska ”. 2015, Wyd. ITP	1	4	4	
Rozdział w monografii naukowej „Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej na tle ochrony środowiska i standardów Unii Europejskiej”. 2015, Wyd. ITP	1	4	4	
Rozdział w monografii naukowej „Улучшение Эксплуатационных Показателей Двигателей внутреннего Сгорания”. 2016, Wyd. Kirow	1	5	5	
Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance	1	4	0	
Wood	1	15	15	0,44
Razem	28	195	184	0,44
<u>Publikacje punktowane łącznie</u>	<u>35</u>	<u>240</u>	<u>250</u>	<u>2,12</u>

* Punktacja MNiSW obowiązująca w dniu wydania publikacji w czasopiśmie

** Punktacja MNiSW określona według aktualnie obowiązującej listy z dnia 09 grudnia 2016

IF w roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2016 podano ostatni dostępny IF według JCR

Szczecin 27.03.2017

Sędlak Paweł