

Autoreferat

przedstawiający osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład
w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna oraz dorobek naukowy
i organizacyjny

dr inż. Dawid Wojcieszak

*Załącznik do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie
nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk
inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna*

Poznań 2025

Spis treści

1. Imię i nazwisko	4
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	4
2.1. Stopień naukowy	4
2.2. Tytuł zawodowy	4
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	5
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	6
4.1. Pierwsze osiągnięcie naukowe	6
4.1.1. Wprowadzenie.....	6
4.1.2. Analiza stanu wiedzy	7
4.1.3. Sformułowanie problemu naukowego i hipoteza.....	9
4.1.4. Cel i zakres pracy	10
4.1.5. Budowa i zasada działania selektora rdzeni kolb kukurydzy.....	10
4.1.6. Autorska metoda doboru geometrii wałów stołu selekcyjnego rdzeni kolb ..	15
4.1.6. Określanie ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem algorytmów gradientowych typu <i>trust region</i>	18
4.1.7. Prognozowanie produkcji metanu z rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem procesów gaussowskich.....	22
4.1.8. Omówienie najważniejszych wyników	25
4.1.9. Wnioski	38
4.1.10. Literatura	39
4.2. Drugie osiągnięcie naukowe	42
4.2.1. Prace wchodzące w skład drugiego osiągnięcia naukowego	42
4.2.2. Geneza osiągnięcia.....	42
4.2.3. Sformułowanie problemu naukowego	44
4.2.4. Cel i zakres badań	45
4.2.5. Opis procesu badawczego	45
4.2.6. Omówienie przeprowadzonych badań i ich rezultatów	47
4.2.6.1. Analiza możliwości wykorzystania standardowych maszyn i linii technologicznych stosowanych do zbioru zielonek i innych materiałów objętościowych do zbioru wilgotnych resztek poźniwnych kukurydzy.....	47
4.2.6.2. Analiza możliwości długoterminowego przechowywania wilgotnych resztek poźniwnych kukurydzy przeznaczonych na substrat do produkcji biogazu	48
4.2.6.3. Opracowanie parametrów procesowych oraz sprawdzenie możliwości fermentowania zakiszonej słomy kukurydzianej w biogazowni rolniczej..	49

4.2.6.4.	Opracowanie autorskiego rozwiązania technicznego zwiększającego efektywność zbioru resztek poźniwnych kukurydzy	52
4.2.6.5.	Opracowanie autorskiej technologii zbioru i przechowywania słomy kukurydzianej przeznaczonej do produkcji biogazu oraz jej energetyczną ocenę.....	54
4.2.6.5.	Podsumowanie i zalecenia technologiczne	58
5.	Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej	61
5.1.	Aktywność naukowa w zagranicznych instytucjach naukowych.....	61
5.2.	Aktywność naukowa w krajowych uczelniach i instytucjach naukowych.....	62
5.3.	Publikacje naukowe w czasopiśmie indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR).....	63
5.4.	Patenty, wzory przemysłowe i zgłoszenia patentowe	64
5.5.	Kierowanie i udział w projektach badawczych	66
5.6.	Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych.....	67
5.6.1.	Międzynarodowe konferencje naukowe.....	67
5.6.2.	Krajowe konferencje naukowe	68
5.6.3.	Udział w komitetach konferencji naukowych	70
5.7.	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	71
5.8.	Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych	71
6.	Podsumowanie dorobku naukowego i wskaźniki naukometryczne	72
7.	Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	75
7.1.	Osiągnięcia dydaktyczne	75
7.2.	Opieka naukowa nad doktorantami	77
7.3.	Sprawowanie opieki nad Studenckim Kołem Naukowym.....	77
7.4.	Osiągnięcia organizacyjne.....	79
7.5.	Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki	80
8.	Dodatkowe informacje dotyczące kariery naukowej	84
8.1.	Recenzowanie artykułów naukowych i materiałów z konferencji międzynarodowych	84
8.2.	Ukończone kursy i zdobyte certyfikaty	85
8.3.	Uzyskane nagrody	85

1. Imię i nazwisko

Dawid Jan Wojcieszak

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2.1. Stopień naukowy

Doktor nauk rolniczych w dyscyplinie inżynieria rolnicza

Tytuł pracy doktorskiej: *„Technologia zbioru i przechowywania słomy kukurydzianej przeznaczonej na biomasę energetyczną lub substrat strukturalny do kompostowania”*

Promotor: prof. dr hab. inż. Jacek Przybył, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii (obecnie Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej)

Recenzenci: prof. dr hab. Andrzej Myczko, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy Oddział w Poznaniu

dr hab. inż. Karol Durczak, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii (obecnie Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej)

Stopień naukowy doktora został nadany Uchwałą Rady Wydziału Rolnictwa i Bioinżynierii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z dnia 29 września 2015 r.

2.2. Tytuł zawodowy

Magister inżynier rolnictwa, w specjalności ochrona roślin

Tytuł pracy magisterskiej: *„Wpływ różnych wariantów zaprawiania na zdrowotność zbóż jarych”*

Promotor: dr inż. Zuzanna Sawinska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii

Data uzyskania tytułu zawodowego: 21 czerwca 2011 r.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1. 22 października 2015 r. – obecnie

Stanowisko: adiunkt

Jednostka: Katedra Inżynierii Biosystemów

Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

2. 1 lutego 2018 r. – 31 stycznia 2022 r.

Stanowisko: członek kluczowej kadry B+R w projekcie pt. *„System kontroli i sterowania ruchu ziarna w maszynach do siewu z zastosowaniem czujników piezoelektrycznych”* nr LIDER/24/0137/L-8/16/NCBR/2017

Politechnika Poznańska, pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

4.1. Pierwsze osiągnięcie naukowe

Moim pierwszym osiągnięciem wynikającym z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) jest autorska monografia naukowa pt. „*Uwarunkowania techniczne i technologiczne zbioru rdzeni kolb kukurydzy*” wydana w 2024 roku przez Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu i opatrzona numerem ISBN 978-83-68187-22-9 oraz cyfrowym identyfikatorem dokumentu elektronicznego <https://doi.org/10.17306/978-83-68187-23-6>.

Recenzentami monografii byli: prof. dr hab. inż. Adam J. Lipiński, Wydział Nauk Technicznych Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie i prof. dr hab. inż. Jerzy Bieniek, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

4.1.1. Wprowadzenie

Energia jest podstawą funkcjonowania społeczeństw i stanowi główny czynnik rozwoju gospodarczego (Cergibozan, 2022). Rozwój przemysłu i wzrost liczby ludności doprowadził w ostatnich latach do znacznego zwiększenia światowego zapotrzebowania na energię. Ten trend będzie się utrzymywał. Międzynarodowe prognozy wskazują, że światowe zapotrzebowanie na energię do 2040 r. wzrośnie o 28%, a do 2050 r. – aż o 50% (EIA, 2019).

Obecne potrzeby energetyczne na świecie są zaspokajane w 84% przez konwersję paliw kopalnych. Zestawienie tych szacunków z prognozami o wyczerpywaniu się paliw kopalnych wskazuje na konieczność podejmowania działań w zakresie produkcji energii ze źródeł odnawialnych (OZE) (Langhof i Schmiedgen, 2023).

Powszechnie za źródła niewyczerpywalne uznaje się energię Słońca, wiatru i wody. Jednak nie we wszystkich miejscach na Ziemi mogą one zaspokajać w pełni potrzeby energetyczne. Ponadto ze względów technicznych magazynowanie wytworzonej energii elektrycznej i ciepła nie jest możliwe na dużą skalę. Dlatego strategię rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) powinny uwzględniać dywersyfikację ich źródeł.

Bardzo dobrym źródłem energii odnawialnej jest biomasa pochodzenia rolniczego, a w szczególności pozostałości z produkcji roślinnej. Biomasa jest jednym z najłatwiej

dostępnych źródeł energii odnawialnej (Sajid i in., 2022). Jednak pozyskiwanie biomasy będącej pozostałością powinno być prowadzone bez negatywnego oddziaływania na produktywność gleby. Przeznaczanie na produkcję energii wszystkich pozostałości po produkcji roślinnej może spowodować zmniejszenie zawartości węgla organicznego w glebie, a w konsekwencji jej degradację (Johnson i in., 2006; Karlen i in., 2011b). Niezbędne jest więc poszerzanie źródeł biomasy oraz wprowadzanie technologii jej pozyskiwania bez negatywnego wpływu na zasobność gleby.

Mało popularnym i niestosowanym na skalę przemysłową źródłem biomasy są resztki poźniwne po zbiorze ziarna kukurydzy, zwyczajowo nazywane słomą kukurydzianą. Zasoby tej biomasy są duże, ponieważ na 1 kg suchego ziarna kukurydzy przypada 1 kg suchej masy resztek poźniwnych (Sokhansanj i in., 2010; Wojcieszak i in., 2018). Na tej podstawie szacuje się, że w Polsce roczna podaż słomy kukurydzianej wynosi około 8 mln ton.

Resztki poźniwne kukurydzy składają się z czterech frakcji: łodyg, liści, rdzeni kolb i liści okrywowych kolb (Sokhansanj i in., 2010; Wojcieszak i in., 2018). Z tych czterech frakcji największą wartość opałową mają rdzenie kolb kukurydzy. Rdzenie można wykorzystywać w różnych procesach konwersji na energię. Wymaga to jednak ich odseparowania od pozostałych frakcji resztek poźniwnych.

Dotychczasowe próby wydzielenia rdzeni kolb z resztek poźniwnych nie zakończyły się wdrożeniem badanych rozwiązań do praktyki. W literaturze brakuje także kompleksowej oceny tych technologii, w szczególności energetycznego wykorzystania rdzeni. Dlatego uznano za celowe opracowanie technologii pozyskiwania rdzeni kolb podczas zbioru ziarna kukurydzy oraz przeprowadzenie pełnej oceny tej technologii w aspekcie energetycznego wykorzystania rdzeni.

4.1.2. Analiza stanu wiedzy

Analiza stanu zagadnienia w zakresie techniki i technologii zbioru słomy kukurydzianej wskazuje, że do tej pory dominowała koncepcja pozyskiwania wszystkich resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy. Wykorzystywano do tego prasy zwijające, przyczepy zbierające lub sieczkarnie polowe. Jednak pozyskana w ten sposób biomasa charakteryzowała się dużym udziałem zanieczyszczeń częściami ziemistymi, a także frakcją zwirową i kamienistą. Zanieczyszczenia mineralne biomasy powodują korozję w procesach jej konwersji termochemicznej oraz wypieranie fermentowalnych węglowodanów i potencjalną zdolność buforowania podczas obróbki wstępnej w konwersji

biochemicznej. Zanieczyszczona słoma kukurydziana nie jest przydatna do procesów konwersji energetycznej. Dlatego zanieczyszczenia mineralne próbowano wyeliminować przez zbiór resztek poźniwnych w jednym przejeździe technologicznym ze zbiorem ziarna kukurydzy. Wymagało to modyfikacji zespołu żniwnego, nabudowania na tylnej części kombajnu rozdrabniacza bijakowego oraz zaangażowania środka transportowego, gromadzącego zebrany materiał. Rozwiązania te wymagały modyfikacji technicznej kombajnu, zastosowania dodatkowego układu hydraulicznego oraz zmniejszały o połowę wydajność zbioru ziarna kukurydzy.

Opisane w literaturze rozwiązania do pozyskiwania rdzeni kolb podczas zbioru ziarna kukurydzy mają wiele wad. Zbieracz rdzeni kolb Vermeer CCX770 oddziela liście okrywowe od rdzeni kolb pneumatycznie, w strumieniu powietrza kierowanym na przenośnik taśmowy. Z przeprowadzonych analiz wynika, że liście okrywowe są połączone z rdzeniami przez dokolbie i nie ma możliwości ich pneumatycznego wydzielenia. Ponadto wyładunek zasobnika zbieracza Vermeer CCX770 wymagał zatrzymania kombajnu, co zmniejszało wydajność zbioru ziarna kukurydzy.

System Harcob i system przedstawiony przez Dolśaka i in. (2024) wymagają przebudowy kombajnu oraz nabudowania na jego tylną część zasobnika na zebrane rdzenie kolb. Przebudowany kombajn nie może być stosowany do zbioru innych zbóż i roślin technologicznie podobnych, przez co znacznie wzrastają koszty jednostkowe jego eksploatacji, ponieważ czas użytkowania maszyny ogranicza się do okresu zbioru ziarna kukurydzy. Wyładunek rdzeni z zasobnika wymaga zatrzymania kombajnu, co zmniejsza jego wydajność. Wydzielanie liści okrywowych w tych rozwiązaniach odbywa się na zasadzie pneumatycznej, co uniemożliwia odseparowania liści połączonych z rdzeniami. W literaturze nie ma również informacji o jakości rdzeni kolb zebranych przez te systemy, co jest kluczowe dla ich energetycznego wykorzystania.

Podsumowując, analiza stanu wiedzy z zakresu techniki i technologii pozyskiwania i energetycznego wykorzystania resztek poźniwnych kukurydzy pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Opisane w literaturze rozwiązania techniczne i technologiczne nie uwzględniają obrywania liści okrywowych połączonych z rdzeniami kolb kukurydzy przez dokolbie.
2. Brakuje danych o zanieczyszczeniu rdzeni kolb kukurydzy zanieczyszczeniami mineralnymi i liśćmi okrywowymi podczas ich pozyskiwania.

3. Brakuje danych charakteryzujących stopień rozdrobnienia rdzeni kolb pozyskiwanych podczas zbioru ziarna kukurydzy.
4. Wszystkie opisane technologie pozyskiwania rdzeni kolb powodują zmniejszenie wydajności zbioru ziarna kukurydzy.
5. Rozwiązania technologiczne zbioru rdzeni kolb kukurydzy opisane w literaturze wymagają przebudowy kombajnu do zbioru zbóż.

Istnieje zatem potrzeba opracowania nowoczesnej technologii wraz z urządzeniem do pozyskiwania rdzeni kolb kukurydzy przeznaczonych na biomasę energetyczną, z uwzględnieniem eliminacji zanieczyszczeń mineralnych podczas zbioru, separacji rdzeni ze strumienia resztek poźniwnych przy braku ograniczania wydajności zbioru ziarna, bez konieczności wprowadzania modyfikacji technicznych w kombajnach.

4.1.3. Sformułowanie problemu naukowego i hipoteza

Rdzenie kolb kukurydzy stanowią nowe źródło energii odnawialnej, które nie jest stosowane na skalę przemysłową, ponieważ ich zbiór wymaga rozwiązania problemów technicznych i technologicznych. Problemy technologiczne dotyczą głównie wyselekcjonowania rdzeni ze strumienia resztek podawanych z kombajnu po omłocie bez zmniejszania wydajności pracy kombajnu podczas zbioru ziarna kukurydzy. Zmniejszenie wydajności kombajnu zwiększa jednostkowe koszty jego eksploatacji.

Literatura naukowa nie zawiera opisu pełnej technologii kompleksowo rozwiązującej wskazane wyżej problemy, dotyczące wydzielania rdzeni kolb po omłocie ziarna kukurydzy oraz ich energetycznego wykorzystania. Ten zakres niewiedzy wyznacza problem naukowy. **W celu jego rozwiązania sformułowano następujący problem badawczy:**

Czy możliwe jest wydzielenie ze strumienia masy po omłocie ziarna kukurydzy rdzeni kolb bez zanieczyszczeń mineralnych i organicznych o wymaganym stopniu rozdrobnienia w procesie jednoczesnym oraz wykorzystanie zebranego materiału na cele energetyczne?

Rozwiązanie tak sformułowanego problemu naukowego wymagało weryfikacji hipotezy, którą ujęto następująco:

Istnieje technologiczna możliwość wyselekcjonowania i rozdrobnienia rdzeni kolb w procesie jednoczesnym podczas zbioru ziarna kukurydzy bez zanieczyszczeń oraz wykorzystanie zebranego materiału na cele energetyczne.

4.1.4. Cel i zakres pracy

Celem pracy było opracowanie technologii selekcjonowania rdzeni kolb kukurydzy w procesie jednoczesnym podczas zbioru ziarna, bez zanieczyszczeń frakcjami ziemistymi i liśćmi okrywowymi, z uwzględnieniem stopnia rozdrobnienia oraz określenie możliwości energetycznego wykorzystania zebranego materiału.

Zakres pracy obejmował wykonanie wymienionych poniżej zadań.

1. Zdefiniowanie założeń dla technologii selekcjonowania rdzeni kolb kukurydzy ze strumienia masy po omłocie w procesie jednoczesnym ze zbiorem ziarna.
2. Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych przenośnika selekcjonującego rdzenie.
3. Opracowanie projektu procesu technologicznego selektora rdzeni kolb kukurydzy oraz zdefiniowanie parametrów eksploatacyjnych jego głównych zespołów.
4. Skonstruowanie selektora rdzeni kolb kukurydzy.
5. Ocena eksploatacyjna prototypu selektora rdzeni kolb w procesie jednoczesnym ze zbiorem ziarna kukurydzy.
6. Określenie w warunkach laboratoryjnych wartości energetycznej rdzeni kolb kukurydzy.
7. Opracowanie modeli wartości energetycznej rdzeni kolb kukurydzy w procesie spalania i w procesie fermentacji metanowej.

4.1.5. Budowa i zasada działania selektora rdzeni kolb kukurydzy

- **Założenia technologiczne dla procesu selekcjonowania rdzeni kolb kukurydzy**

Podstawą do sformułowania założeń projektowych selektora była analiza prac naukowych dotyczących techniki zbioru ziarna, zbioru słomy kukurydzianej, wartości energetycznej resztek poźniwnych kukurydzy oraz wymagań jakościowych stawianych biomasie wykorzystywanej w procesach konwersji na energię.

Zbiór ziarna kukurydzy odbywa się przez wydzielenie go z kolb w zespole omłotowo-separującym kombajnu Wymłócone rdzenie kolb z liśćmi okrywowymi wypadają z zespołu młócaco-separującego kombajnu na powierzchnię pola. W przypadku ich zbioru wiąże się to z niepożądanym zanieczyszczeniem częściami ziemistymi, a niekiedy także frakcją żwirową i kamienistą.

Do systemu omłotowego kombajnu trafiają kolby z liśćmi okrywowymi, które nie zawsze są oddzielane od rdzenia kolb w czasie omłotu. Zgodnie z założeniami liście okrywowe mają być odseparowane od rdzeni kolb.

Długość rdzeni kolb kukurydzy wynosi średnio 150 mm. Podczas omłotu część rdzeni ulega złamaniu. Jest to korzystne, ponieważ odpowiednie rozdrobnienie jest jednym z wymagań stawianych biomasie energetycznej. Wpływa ono na gęstość nasypową rdzeni, mającą znaczenie w ich logistyce oraz dla energochłonności ich obróbki wstępnej. Jednak średnia długość rdzeni kolb po procesie omłotu jest wartością losową.

Biorąc pod uwagę przeprowadzoną wcześniej analizę literatury oraz przedstawione powyżej rozważania, przyjęto następujące ogólne założenia konstrukcyjne dla maszyny do pozyskiwania rdzeni kolb:

1. Wydzielanie rdzeni kolb będzie wykonywał przyczepiony do kombajnu selektor.
2. Wydzielanie rdzeni kolb kukurydzy będzie się odbywało w czasie zbioru ziarna. Rdzenie kolb będą odbierane bezpośrednio po wydaleniu ich z systemu omłotowo-separującego kombajnu. Takie założenie eliminuje możliwość zanieczyszczeń rdzeni kolb częściami ziemistymi oraz frakcją żwirową i kamienistą.
3. Wydzielenie z masy poomłotowej rdzeni kolb wymaga oddzielenia liści okrywowych. Ponieważ liście okrywowe są połączone z rdzeniami kolb poprzez dokolbie, założono, że proces selekcionowania rdzeni wymaga oderwania liści okrywowych.
4. W celu spełnienia wymaganego stopnia rozdrobnienia biomasy energetycznej, konieczne jest rozdrobnienie rdzeni kolb w zespole rozdrabniającym na odcinki o wymaganej teoretycznej długości 50 mm.
5. Pojemność skrzyni ładunkowej selektora powinna wystarczyć na międzyoperacyjne gromadzenie rozdrobnionych rdzeni kolb kukurydzy zebranych co najmniej z 1 ha.
6. Selektor będzie wyposażony w przenośnik wyładowczy, zapewniający przeładunek rdzeni ze skrzyni ładunkowej na równolegle poruszający się zestaw transportowy w taki sposób, aby nie ograniczyć wydajności pracy kombajnu.
7. Zastosowanie selektora nie spowoduje konieczności modyfikacji technicznej kombajnu. Zespoły robocze selektora będą zasilane z własnego źródła mocy.

8. Selektor będzie maszyną uniwersalną możliwą do zagregowania z każdym kombajnem do zbioru zbóż poprzez teleskopowy zaczep (dyszel).

• **Projekt procesu technologicznego selektora rdzeni kolb kukurydzy**

Projekt procesu technologicznego selektora obejmuje czynności związane z wyselekcjonowaniem rdzeni kolb ze strumienia masy po omłocie ziarna kukurydzy w celu ich energetycznego wykorzystania. Selektor jest zbudowany z części oraz zespołów powiązanych ze sobą w określony sposób i realizujących ściśle zdefiniowane czynności i funkcje.

Czynności zostały podzielone na główne i pomocnicze (rys. 1). Główne czynności technologiczne obejmują:

- A. Odbiór strumienia masy resztek z kombajnu po omłocie ziarna.
- B. Wyselekcjonowanie rdzeni kolb.
- C. Rozdrabnianie rdzeni kolb.
- D. Gromadzenie międzyoperacyjne w skrzyni ładunkowej selektora rozdrobnionych rdzeni kolb.

Czynnościami pomocniczymi są:

- E. Transport rdzeni kolb ze stołu selekcyjnego separatora do zespołu rozdrabniającego.
- F. Przeładunek rdzeni kolb ze skrzyni ładunkowej na towarzyszący zespół transportowy.

Poszczególnym czynnościom zostały przyporządkowane następujące funkcje:

A. Odbiór strumienia masy resztek po omłocie ziarna z kombajnu

Ziarno wydzielane z kolb trafia do zbiornika kombajnu, natomiast resztki poomłotowe, czyli rdzenie kolb i liście okrywowe są odbierane przez kosz przyjęciowy selektora.

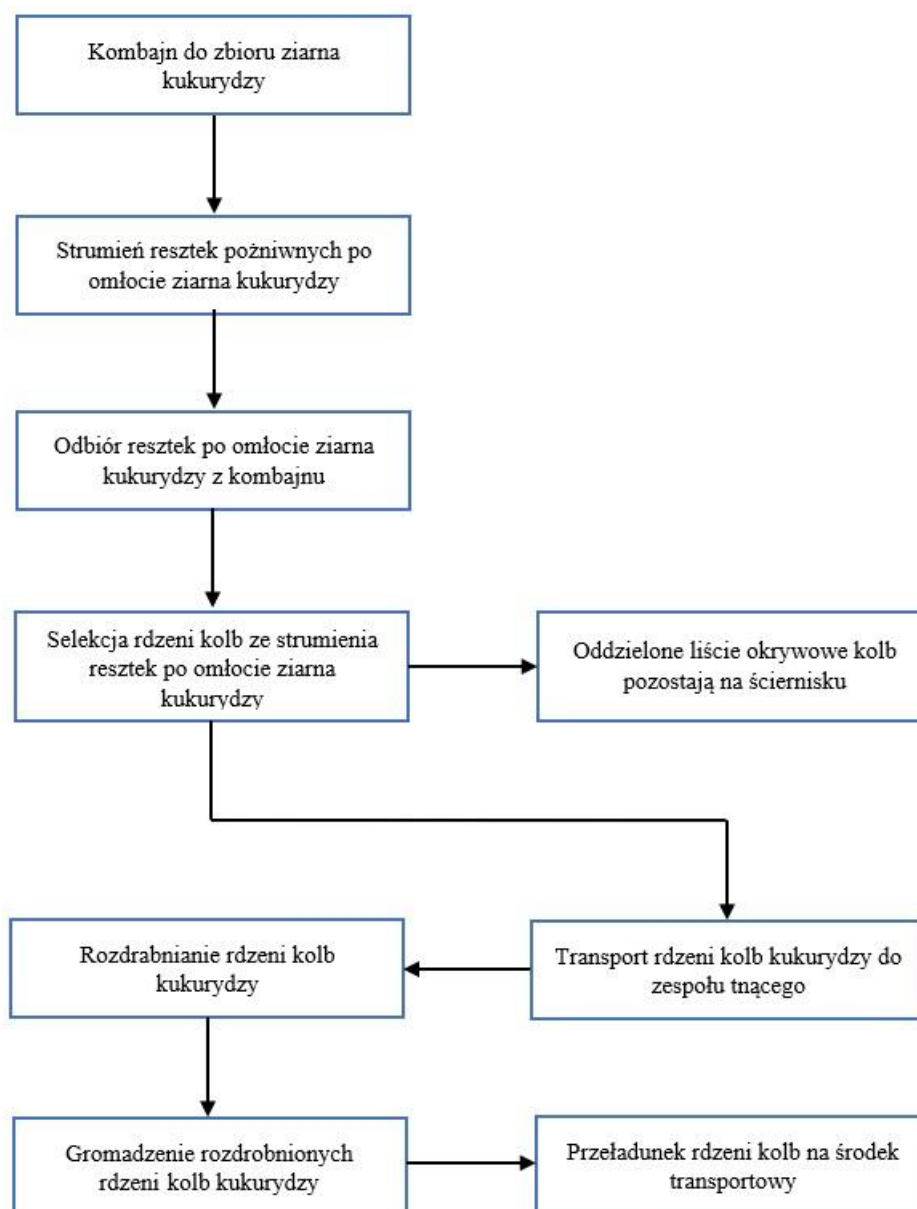
B. Selekcja rdzeni kolb

W masie poomłotowej znajdują się rdzenie kolb i liście okrywowe. Część liści jest oddzielona od rdzeni, a część jest nadal połączona z rdzeniami przez dokolbie. Zadaniem stołu selekcyjnego – umieszczonego w dnie kosza przyjęciowego – jest wydzielenie rdzeni z masy luźnych liści i poprzez oderwanie liści od rdzeni oraz transport wyselekcjonowanych rdzeni kolb w kierunku zespołu rozdrabniającego.

C. Rozdrobnienie rdzeni kolb

Jednym z parametrów wpływających na przydatność biomasy do celów energetycznych jest stopień jej rozdrobnienia. Dlatego technologia selekcionowania rdzeni kolb po omłocie ziarna kukurydzy obejmuje ich rozdrabnianie na odcinki o teoretycznej długości 50 mm.

D. Gromadzenie międzyoperacyjne w skrzyni ładunkowej selektora rozdrobnionych rdzeni kolb.



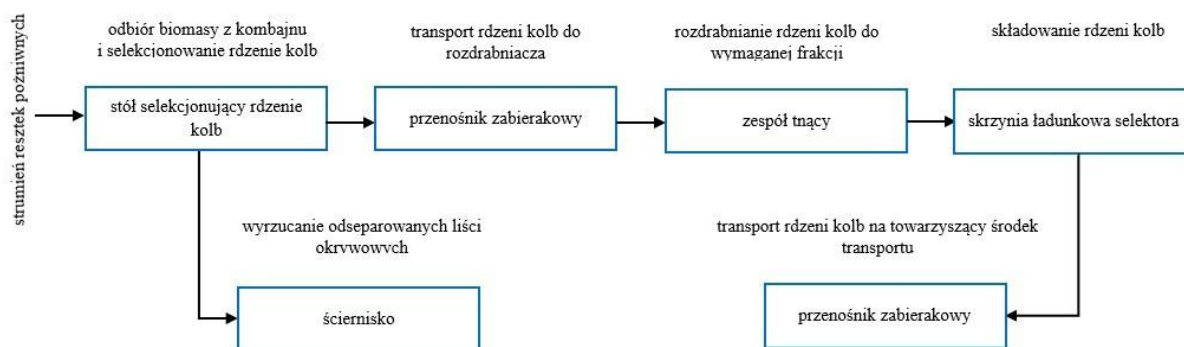
Ryc. 1. Schemat blokowy procesu selekcionowania rdzeni kolb kukurydzy podczas zbioru ziarna

Zgodnie z założeniami zastosowanie selektora nie może powodować zmniejszenia wydajności pracy kombajnu. W związku z tym, że kombajn do zbioru zbóż jest maszyną wyposażoną w zbiornik ziarna, który jest okresowo rozładowywany (po całkowitym

napelnieniu), współpracujący z nim selektor jest również wyposażony w skrzynię ładunkową na rdzenie kolb o pojemności 18 m³. Przyjęta pojemność skrzyni ładunkowej selektora umożliwiała składowanie rdzeni kolb zebranych z co najmniej z 1 ha. Skrzynię ładunkową selektora można również wyładować niezależnie od opróżniania zbiornika ziarna kombajnu.

Selektor tworzą następujące główne zespoły robocze (ryc. 2):

- stół selekcyjny
- przenośnik zabierakowy
- zespół tnący
- skrzynia ładunkowa
- przenośnik wyładowczy.

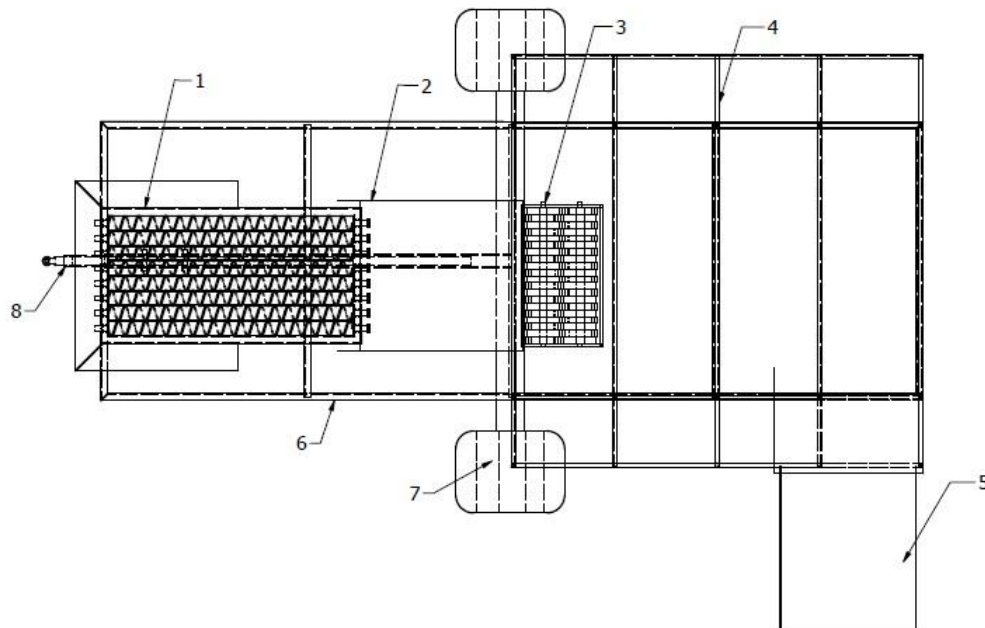


Ryc. 2. Schemat blokowy selektora do odzysku rdzeni kolb kukurydzy

Selektor (ryc. 3) jest przyczepiony do zaczepu kombajnu i jest zbudowany: ze stołu selekcyjnego rdzenie kolb (1), przenośnika zabierakowego (2) przenoszącego wyselekcjonowane rdzenie kolb do zespołu rozdrabniającego (3), skrzyni ładunkowej z przenośnikiem podłogowym do okresowego gromadzenia rozdrobnionych rdzeni kolb (4), przenośnika służącego do rozładunku skrzyni ładunkowej (5). Elementy te zostały zamontowane na ramie maszyny (6) z jednoosiowym układem jezdny (7). Selektor jest agregowany z kombajnem przez specjalnie zaprojektowany dyszel teleskopowy (8), umożliwiającą współpracę maszyny z każdym typem kombajnu do zbioru zbóż.

Zgodnie z przyjętymi założeniami zastosowanie selektora nie wymaga wprowadzania modyfikacji technicznych w kombajnie, w szczególności w układzie napędowym. Założenie to zostało zrealizowane przez wyposażenie selektora we własny układ napędowy. Źródłem napędu zespołów roboczych selektora jest wysokoprężny silnik spalinowy o mocy

110 kW. Napędza on pompę hydrauliczną, która przez system rozdzielaczy zasila silniki hydrauliczne napędzające zespoły robocze selektora.



Ryc. 3. Selektor do zbioru rdzeni kolb kukurydzy – widok z góry:
 1 – stół selekcyjny rdzenie kolb, 2 – przenośnik zabierakowy, 3 – zespół rozdrabniający, 4 – skrzynia ładunkowa, 5 – przenośnik służący do rozładunku skrzyni ładunkowej, 6 – sama selektora, 7 – jednoosiowy układ jezdy

Najważniejszym zespołem roboczym, decydującym o skuteczności działania selektora jest stół selekcyjny rdzenie kolb. Budowa stołu selekcyjnego powinna więc zapewnić oddzielenie luźnych liści okrywowych kolb lub połączonych z rdzeniami dokolbkiem, a następnie wydajne przemieszczanie wyselekcjonowanych rdzeni w kierunku przenośnika zabierakowego. Dlatego ten zespół zaprojektowano tak, że zbudowany jest ze stalowych wałów umieszczonych w ramie, oplecionych gładkimi prętami, obracających się parami współbieżnie. Zapewnienie wysokiej skuteczności selekcjonowania i przenoszenia rdzeni wymagało określenia geometrii wałów. W tym celu opracowano autorską metodę doboru geometrii i parametrów roboczych wałów stołu selekcyjnego rdzenie kolb.

4.1.6. Autorska metoda doboru geometrii wałów stołu selekcyjnego rdzenie kolb

Wydajności stołu selekcyjnego zapewniającą wyselekcjonowanie rdzeni kolb określono uwzględniając następujące założenia:

- wydajność eksploatacyjna kombajnu (W_{08}): $2,5 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$,
- plon rdzeni kolb kukurydzy: $3,3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$,

- plon liści okrywowych: $1,6 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- gęstość objętościowa rdzeni kolb: $250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- objętościowe natężenie przepływu rdzeni kolb: $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Wydajność stołu selekcyjnego zależy od parametrów wałów, tj. od ich średnicy, średnicy opłotu i skoku opłotu. W celu optymalizacji tych parametrów analizowano trzy warianty średnicy wałów, trzy warianty średnicy opłotu wałów oraz cztery warianty skoku opłotu wałów stołu selekcyjnego (tab. 1).

Tabela 1. Warianty parametrów wałów stołu selekcyjnego rdzenie kolb

Średnica wałów (mm)	Średnica opłotu (mm)	Skok opłotu (mm)
80	8	75
10	10	100
134	12	120
-	-	150

Optymalizację wartości wymienionych parametrów wałów stołu selekcyjnego przeprowadzono według współczynnika wydajności (V) i współczynnika selekcionowania rdzeni kolb (WSR).

Współczynnik wydajności V określono z zależności:

$$V = b \cdot h \cdot E \cdot M \cdot f(S_S) \cdot RMP \cdot T [\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

V – współczynnik wydajności stołu selekcyjnego ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$),

b – szerokość robocza stołu selekcyjnego (m),

h – wysokość warstwy materiału na stole selekcyjnym (m),

E – współczynnik efektywności transportu (-),

M – współczynnik wypełnienia stołu selekcyjnego materiałem (-),

$f(S_S)$ – funkcja wpływu skoku ślimaka (S) na przesuwanie materiału ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{obr}^{-1}$),

RMP – obroty wałów stołu selekcyjnego ($\text{obr} \cdot \text{s}^{-1}$),

T – czas pracy stołu selekcyjnego (s).

Określenie współczynnika wydajności stołu selekcyjnego wymagało empirycznego wyznaczenia współczynnika efektywności transportu (E) rdzeni kolb i współczynnika wypełnienia materiałem. Współczynnik określono na podstawie gęstości objętościowej (ρV) i obliczonej gęstości rdzenia kolby kukurydzy. Gęstość objętościową

(ρ_V) wyznaczano na podstawie pomiaru masy materiału, z dokładnością do 0,01 kg, w skrzyni o pojemności 0,1 m³ i obliczono z równania:

$$\rho_V = \frac{m_{obj}}{V} \quad (2)$$

gdzie:

ρ_V – gęstość objętościowa rdzeni kolb kukurydzy (kg·m⁻³),

m_{obj} – masa rdzeni kolb kukurydzy w zbiorniku o pojemności 0,1 m³ (kg),

V – objętość skrzyni ładunkowej (m³).

Gęstość rdzenia kolby kukurydzy określono ze wzoru:

$$\rho_r = \frac{m_r}{V_r} \quad (3)$$

gdzie:

ρ_r – gęstość rdzenia kolby kukurydzy (masa właściwa) (kg·m⁻³),

m_r – średnia masa jednego rdzenia kolby kukurydzy (kg),

V_r – objętość jednego rdzenia kolby kukurydzy (m³).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów przyjęto, że średnia masa świeżego rdzenia kolby kukurydzy (podczas zbioru ziarna) wynosi 0,05 kg i że rdzeń kolby kukurydzy w przybliżeniu ma kształt walca, którego objętość określono z zależności:

$$V_r = \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot L \quad (4)$$

gdzie:

V_r – objętość rdzenia kolby kukurydzy (m³),

D – średnica rdzenia kolby kukurydzy (m),

L – długość rdzenia kolby kukurydzy (m).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów przyjęto, że średnia średnica rdzenia kolby kukurydzy wynosi 0,03 m, a średnia długość – 0,15 m.

Współczynnik wypełniania stołu selekcyjnego materiałem określono ze wzoru:

$$M = \frac{\rho_V}{\rho_r} \quad (5)$$

gdzie:

M – współczynnik wypełniania stołu selekcyjnego materiałem (-),

ρ_V – gęstość objętościowa rdzeni kolb kukurydzy (kg·m⁻³),

ρ_r – gęstość rdzenia kolby kukurydzy (masa właściwa) ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Współczynniki efektywności transportu (E) i współczynnik selekcjonowania rdzeni kolb (WSR) określono na stanowisku pomiarowym, składającym się z dwóch współbieżnie obracających się wałów, będących częścią stołu selekcjonującego rdzenie kolb. Współczynnik efektywności transportu E wyznaczono z proporcji masy rdzeni dostarczonych na początek wałów stołu selekcjonującego (m_p) i masy rdzeni przetransportowanych (m_k) w ciągu 1 minuty na podstawie zależności:

$$E = \frac{m_p}{m_k} \quad (6)$$

gdzie:

E – współczynnik efektywności transportu (-),

m_p – masa rdzeni dostarczonych na początek wałów stołu selekcjonującego (kg),

m_k – masa rdzeni przetransportowanych ciągu 1 minuty (kg).

Współczynnik selekcjonowania rdzeni kolb WSR wyznaczono z proporcji masy mieszaniny liści okrywowych i rdzeni kolb (m_m) dostarczonych na początek układu wałów stołu selekcjonującego i masy wyselekcjonowanych rdzeni kolb (m_r) na końcu systemu wałów stołu selekcjonującego według wzoru:

$$WSR = \frac{m_m}{m_r} \quad (7)$$

gdzie:

WSR – współczynnik selekcjonowania rdzeni kolb kukurydzy (-),

m_m - masy mieszaniny liści okrywowych i rdzeni kolb dostarczonych na początek układu wałów stołu selekcjonującego (kg),

m_r – masa wyselekcjonowanych rdzeni kolb kukurydzy (kg).

Pomiary masy prowadzono z dokładnością do 0,01 kg.

4.1.6. Określanie ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem algorytmów gradientowych typu *trust region*

Wartość energetyczna biomasy w procesie spalania, czyli wartość opałowa (Q_r^w), zależy od parametrów ciepła spalania (Q_s), oznaczanego również jako HHV (z ang. *high heat value*) i wilgotności (W^a). Dlatego niezbędne było określenie tych dwóch parametrów na podstawie wyników analiz laboratoryjnych. Ciepło spalania określa się poprzez badanie w kalorymetrze lub na podstawie formuł matematycznych uwzględniających skład

chemiczny paliwa. Najczęściej w tych formułach są uwzględniane procentowe zawartości pierwiastków C, H, O i S. Najpowszechniej stosowaną formułą do określania ciepła spalania, uwzględniającą procentową zawartość tych pierwiastków jest wyrażenie Dulonga (Boguski, 1901):

$$Q_s = 0,3383C + 1,443 (H - (O/8)) + 0,09428S \text{ [MJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (8)$$

gdzie:

- Q_s – ciepło spalania ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),
- C – zawartość węgla w spalanej substancji (%),
- H – zawartość wodoru w spalanej substancji (%),
- O – zawartość tlenu w spalanej substancji (%),
- S – zawartość siarki w spalanej substancji (%).

Opracowano również formuły matematyczne uwzględniające więcej parametrów wchodzących w podstawową analizę techniczną paliw stałych, przeznaczonych do procesu spalania. Przykładem takiej formuły jest wyrażenie Graboskiego i Baina (1981):

$$Q_s = 0,328C + 1,4306H - 0,237N + 0,0929S - \left(1 - \frac{A}{100}\right) \left(40,11 \left(\frac{H}{C}\right)\right) + 0,3466 \quad (9)$$

gdzie:

- Q_s – ciepło spalania ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),
- C – zawartość węgla w spalanej substancji (%),
- H – zawartość wodoru w spalanej substancji (%),
- N – zawartość azotu w spalanej substancji (%),
- O – zawartość tlenu w spalanej substancji (%),
- S – zawartość siarki w spalanej substancji (%),
- A – procentowa zawartość popiołu w spalanej substancji (%).

Zastosowanie różnych formuł do określania ciepła spalania może być obarczone dużym błędem, wynikającym z tego, że zostały skalibrowane na podstawie danych eksperymentalnych pozyskanych dla innych materiałów. Formuła Dulonga została opracowana do określania ciepła spalania węgla (Hosokai i in., 2016). Formuła Graboskiego i Baina (1981) służy do określania ciepła spalania materiałów zaliczanych do lignocelulozowych, a konkretnie dla drewna. W praktyce duże błędy w określaniu wartości energetycznej są niedopuszczalne. Dlatego, realizując niniejszą pracę, przeprowadzono proces optymalizacji formuły Dulonga oraz Graboskiego i Baina do określania ciepła

spalania rdzeni kolb kukurydzy z wykorzystaniem algorytmów gradientowych typu *trust region*.

Przedstawienie zastosowanego algorytmu gradientowego typu *trust region* wymaga omówienia ogólnych ram metody najmniejszych kwadratów i algorytmu minimalizacji (optymalizacji).

Analiza obliczeń najmniejszych kwadratów ze szczególnym zastosowaniem do kalibracji modelu empirycznego (Q_s) konfrontuje obliczone wielkości mierzalne $\mathbf{u}_{EMP}$ i wyznaczone eksperymentalnie $\mathbf{u}_{EXP}$ w celu minimalizacji rozbieżności. Wektor reszt $\mathbf{r}$ można przedstawić w następujący sposób:

$$\mathbf{r} = \mathbf{u}_{EXP} - \mathbf{u}_{EMP}(\mathbf{x}) \quad (10)$$

gdzie:

$\mathbf{x}$ – wektor wskaźnikowy parametrów.

W tej postaci wektor reszt $\mathbf{r}$ służy do określania różnic między wartościami zmierzonymi, a obliczonymi. Dopasowanie wartości parametrów zawartych w wektorze w modelu empirycznym, który symuluje wartość ciepła spalania, jest możliwe za pomocą iteracyjnej procedury minimalizacji różnic między estymacjami modelu a zmierzonymi wartościami.

Do minimalizacji funkcji celu w użyciu metody najmniejszych kwadratów, stosowanej w wielu obszarach nauk technicznych. Dla sformułowania modelu parametrycznego do zastosowań inżynierskich stosuje się specjalną postać funkcji celu, która określa rozbieżności między modelem a obserwowanym zjawiskiem. W metodzie najmniejszych kwadratów funkcja celu przyjmuje postać:

$$\omega(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M r_j^2(\mathbf{x}) \quad (11)$$

gdzie każde r_j jest funkcją zmiennej $\mathbf{x}$, przy założeniu, że $M \geq S$ (M to liczba pomiarów, a S jest liczbą parametrów w wektorze $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_S]$). Poprzez minimalizowanie tej funkcji wybierane są wartości parametrów, które najlepiej dopasowują model do danych.

Specjalna postać funkcji celu sprawia, że metoda najmniejszych kwadratów jest mniej pracochłonna w porównaniu z minimalizacją (optymalizacją) funkcji ciągłej. Poszczególne składniki r_j łączy się w wektor resztkowy: $\mathbf{r} : R^n \rightarrow R^m$, w następujący sposób:

$$\mathbf{r}(\mathbf{x}) = [r_1(\mathbf{x}), r_2(\mathbf{x}), \dots, r_m(\mathbf{x})]^T \quad (12)$$

Na tej podstawie można zapisać jako $\omega(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \|\mathbf{r}(\mathbf{x})\|_2^2$. Pochodne ω można wyrazić w postaci jakobianu $J(\mathbf{x})$, który jest macierzą $M \times S$ pochodnych cząstkowych reszty, zdefiniowanych jako:

$$J(\mathbf{x}) = \frac{\partial r_j}{\partial r_i} = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial x_1} & \frac{\partial r_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial r_1}{\partial x_S} \\ \frac{\partial r_2}{\partial x_1} & \frac{\partial r_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial r_2}{\partial x_S} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial r_M}{\partial x_1} & \frac{\partial r_M}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial r_M}{\partial x_S} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Gradient i Hessian ω jest wyrażany w następujący sposób:

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \nabla \omega(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^m r_j(\mathbf{x}) \nabla r_j(\mathbf{x}) = J(\mathbf{x})^T \mathbf{r}(\mathbf{x}) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} H(\mathbf{x}) = \nabla^2 \omega(\mathbf{x}) &= \sum_{j=1}^m r_j(\mathbf{x}) \nabla^2 r_j(\mathbf{x}) = J(\mathbf{x})^T + \sum_{j=1}^m \nabla r_j(\mathbf{x}) \nabla^T r_j(\mathbf{x}) = \\ &= J(\mathbf{x})^T J(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^m \nabla r_j(\mathbf{x}) \nabla^T r_j(\mathbf{x}) \end{aligned} \quad (15)$$

W wielu zastosowaniach inżynierskich pierwsze cząstkowe pochodne reszt są łatwe do obliczenia, a tym samym macierz Jacobiego $J(\mathbf{x})$. Podobnie jak gradient $\mathbf{g}(\mathbf{x})$, który można wyznaczyć z równania (14). Natomiast macierz drugich pochodnych cząstkowych, tzw. hesjan $\nabla^2 \omega(\mathbf{x})$, można obliczyć bez rzeczywistego wyznaczania drugich pochodnych funkcji r_j , używając jedynie wartości wyznaczonego wcześniej jakobianu $J(\mathbf{x})$ – pierwszy wyraz w równaniu (15). Co oznacza, że praktycznie wyznaczenie macierzy Hessego sprowadza się do obliczenia iloczynu: $J(\mathbf{x})^T J(\mathbf{x})$, bez konieczności określania pochodnych wyższych rzędów, co jest charakterystyczne dla metody najmniejszych kwadratów. Wynika to z tego, że iloczyn jakobianów jest bardziej istotny niż drugi składnik równania 15, ponieważ reszty są wynikiem rozwiązania afinicznego (tj. $\nabla^2 \mathbf{r}(\mathbf{x})$ mają relatywnie małe wartości). Dodatkowo wraz z kolejnymi iteracjami w procesie minimalizacji same wartości reszt (tj. $r_j(\mathbf{x})$) stają się stosunkowo małe. Większość algorytmów nieliniowych najmniejszych kwadratów wykorzystuje te strukturalne właściwości hesjanu.

Najpopularniejsze algorytmy minimalizacji równania 11 pasują do technik minimalizacji opartych na poszukiwaniu wzdłuż linii lub w obszarze zaufania modelu. Algorytmy te są oparte na metodach Newtona i quasi-Newtona z modyfikacjami wykorzystującymi specjalną funkcję ω . Najskuteczniejszym algorytmem w obrębie metod najmniejszych kwadratów jest algorytm Levenberga-Marquardta (LMA; Garbowski, 2012).

Algorytm LMA wykorzystuje przybliżenie macierzy Hessego, które znajduje zastosowanie w metodzie Gaussa-Newtona $\nabla^2 \omega_k \approx J_k^T J_k$, jednak metodę wyszukiwania wzdłuż linii zastąpiono regionem zaufania. Zastosowanie regionu zaufania pozwala wyeliminować z metody Gaussa-Newtona błędy spowodowane zbyt małą ilością rang jacobianu $J(x)$.

Algorytm LMA można opisać i przeanalizować, posługując się regionem zaufania. W przypadku sferycznego regionu zaufania podproblemem do rozwiązania w każdej iteracji jest:

$$\min_{\mathbf{p}} \frac{1}{2} \|\mathbf{J}_k \mathbf{p} + \mathbf{r}_k\|^2, \text{ poddawany } \|\mathbf{p}\| \leq \Delta_k \quad (16)$$

gdzie $\Delta_k > 0$, to promień regionu zaufania, a $\mathbf{p}$, to kierunek poszukiwań.

Do optymalizacji formuł Dulonga oraz Grabosky'ego i Baina użyto zbioru danych uzyskanych w badaniach laboratoryjnych rdzeni kolb kukurydzy.

4.1.7. Prognozowanie produkcji metanu z rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem procesów gaussowskich

Laboratoryjne badania wydajności metanowej substratów zgodnie z normą DIN są czasochłonne, ponieważ w zależności od rodzaju substratu mogą trwać nawet 40 dni. Ponadto są one również kosztochłonne ze względu na wymaganą specjalistyczną infrastrukturę laboratoryjną. Praktyka energetyczna obliguje do szybkiego podejmowania decyzji o rodzaju procesu konwersji energetycznej, do którego będzie przeznaczona biomasa. Szczególnie długim czasem rozkładu w procesie fermentacji metanowej, ze względu na duży udział kompleksu lignocelulozowego, charakteryzują się rdzenie kolb kukurydzy odzyskane podczas zbioru ziarna. Jedną z metod szybkiej oceny produkcji metanu może być modelowanie matematyczne, uwzględniające skład elementarny (C, H, N, S i O) oraz wilgotność substratów (W^a). Dlatego w pracy zastosowano procesy gaussowskie (GP) do predykcji uzysku metanu z rdzeni kolb kukurydzy.

W teorii prawdopodobieństwa i statystyce procesy Gaussa są procesami stochastycznymi, czyli zbiorem zmiennych losowych indeksowanych w czasie lub przestrzeni tak, że każdy skończony zbiór tych zmiennych losowych ma wielowymiarowy rozkład normalny. Rozkład procesów gaussowskich jest ciągłym rozkładem tych zmiennych losowych, czyli rozkładem funkcji z ciągłą dziedziną. W praktyce procesy gaussowskie są używane do modelowania rozkładu prawdopodobieństwa funkcji, zazwyczaj w kontekście regresji bayesowskiej. Dodatkowo GP umożliwiają nie tylko określenie poszukiwanej wartości średniej, ale także niepewności estymacji.

Prognozowanie wartości funkcji w nowych punktach odbywa się za pomocą interpolacji pomiędzy punktami zdefiniowanymi w parę zbiorów uczących, które pozwalają zbudować ciągły model tworzący, tzw. powierzchnię zastępczą.

Poprawny opis konstrukcji powierzchni zastępczej opartej na procesach gaussowskich wymaga przede wszystkim wzięcia pod uwagę modelu regresji liniowej (LR). Ogólnie LR jest liniową funkcją parametrów modelu i jednocześnie jest nieliniową funkcją wektora wejściowego (tj. wektora parametrów). Zazwyczaj jest zdefiniowana następująco:

$$y(\mathbf{x}, \mathbf{w}) = \sum_{j=1}^N w_j \varphi_j(\mathbf{x}) \quad (17)$$

i jest liniową kombinacją nieliniowych i ustalonych funkcji bazowych $\varphi_j(\mathbf{x})$ zmiennych wejściowych (np. funkcji wielomianowej lub radialnych funkcji bazowych).

Dla N_u podanych wzorców uczących $(\mathbf{x}_n, t_n)$, gdzie $\mathbf{x}_n$ jest wektorem wejściowym (C, H, N, S, O i wilgotność), a t_n to odpowiedź – wydajność metanu, dla $n = 1, \dots, N_u$, parametr w modelu liniowego można określić, stosując metodę najmniejszych kwadratów z penalizacją:

$$\mathbf{w} = (\boldsymbol{\theta}^T \boldsymbol{\theta} + \alpha \mathbf{I})^{-1} \boldsymbol{\theta}^T \mathbf{t} \quad (18)$$

gdzie $\boldsymbol{\theta}_{N \times M}$, to macierz bazowa o elementach zdefiniowanych $\theta_m(\mathbf{x}_n)$. Parametr regularyzacji α nazywany jest hiperparametrem i określany jest na podstawie zbioru walidacyjnego (podobnie jak w przypadku receptorów wielowarstwowych) lub poprzez maksymalizację pewności zbioru $p(\mathbf{t}|\alpha)$ względem α w ramach wnioskowania bayesowskiego (Bishop, 2007).

Przeformułowanie modelu liniowego do postaci reprezentacji dualnej umożliwia uzyskanie modelu procesu gaussowskiego. Proces modelowania liniowego polega na minimalizowaniu zregulowanego błędu (tj. macierzy Grama symetrycznej o wymiarach $N \times N$) i przyjmuje postać:

$$\mathbf{K} = \boldsymbol{\theta} \boldsymbol{\theta}^T = \boldsymbol{\theta}(\mathbf{x})^T \boldsymbol{\theta}(\mathbf{x}') = k(\mathbf{x}, \mathbf{x}') \quad (19)$$

gdzie $k(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$, to funkcja jądra.

Wektor $k(\overline{\mathbf{x}_n}, \mathbf{x})$ przedstawia n-ty wiersz lub kolumnę macierzy $\mathbf{K}$.

Prognoza dla nowych danych wejściowych $\mathbf{x}^*$ może być obliczona na podstawie formuły:

$$GP(\mathbf{x}^*|\mathbf{x}, \mathbf{t}, \alpha) = k(\mathbf{x}, \mathbf{x}')^T (\mathbf{K} + \alpha \mathbf{I})^{-1} \mathbf{t} \quad (20)$$

gdzie:

$t = (t_1 \dots t_N)^T$ - to wektor wartości docelowej modelu,

$k(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ - zwanej jako kowariancja między wszystkimi innymi danymi wejściowymi, a nową daną wejściową $\mathbf{x}^*$.

Zgodnie z teorią bayesowską, reprezentacja dualna wyniku modelu liniowego prowadzi do procesu gaussowskiego, a funkcje jądra są interpretowane jako funkcje kowariancji procesu gaussowskiego. Korzystając z modelu regresji, można obliczyć rozkład zmiennej docelowej $y(\mathbf{x}^*)$ prognozy dla nowego wektora wejściowego $\mathbf{x}^*$. Dla procesów gaussowskich warunkowy rozkład $p(y|\mathbf{t})$, to rozkład Gaussa o średniej obliczonej z następującej zależności:

$$mean(\mathbf{x}^*) = \mathbf{k}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{t} \quad (21)$$

Natomiast kowariancja jest obliczana z formuły:

$$\alpha^2(\mathbf{x}^*) = \mathbf{c} - \mathbf{k}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{k} \quad (22)$$

gdzie $\mathbf{C}_{N \times M}$ to macierz kowariancji zdefiniowana na podstawie zależności:

$$\mathbf{C}(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = k(\mathbf{x}, \mathbf{x}') + \beta^{-1} \mathbf{I} \quad (23)$$

gdzie:

β - wariancja rozkładu docelowego

$\mathbf{I}$ - macierz jednostkowa.

Macierz kowariancji $\mathbf{C}(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ określa związek, w którym wektory $\mathbf{x}$ i $\mathbf{x}'$, będące blisko siebie w przestrzeni wejściowej, generują silnie skorelowane wartości $y(\mathbf{x})$ i $y(\mathbf{x}')$ w przestrzeni wyjściowej. Funkcja kowariancji może być dowolną funkcją generującą określoną nieujemną macierz kowariancji dla dowolnego, uporządkowanego zbioru wektorów wejściowych $(x_1, \dots, x_N)$, np. funkcja kowariancji kwadratowej wykładniczej $k(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ opisana równaniem:

$$k(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = v \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_i^M \omega_i (x_i - x'_i)^2\right) + b \quad (24)$$

gdzie v kontroluje pionową skalę procesu, a b reprezentuje przesunięcie pionowe procesu gaussowskiego.

Parametry ω_i wskazują odległości w każdym i -tym wymiarze. Jeśli ma małą wartość, to jej wpływ na parametr i jest niewielki, dlatego i -te wejście jest nieistotne. Hiperparametry

ω_i pełnią bardzo ważną rolę, ponieważ mają bezpośredni związek z wrażliwością modelu względem parametrów wejściowych i dostarczają miar ważności parametrów wejściowych.

Po zdefiniowaniu funkcji kowariancji jest możliwe dokonywanie prognoz nowych wektorów parametrów modelu. Jednak przed tym jest konieczne ustalenie hiperparametrów.

$$r = [v, \omega_1, \dots, \omega_M, b, \beta] \quad (25)$$

Odnalezienie tych parametrów wymaga poszukania ich najbardziej prawdopodobnego zestawu poprzez maksymalizację logarytmicznej funkcji wiarygodności, danej wzorem:

$$\ln p(\mathbf{t}|\mathbf{r}) = \frac{1}{2} \ln |\mathbf{C}| - \frac{1}{2} \mathbf{t} \mathbf{C}^{-1} \mathbf{t} - \frac{N}{2} \ln 2\pi \quad (26)$$

z użyciem dowolnych algorytmów optymalizacji, opartych na gradientach, np. algorytm Levenberga-Marquadta (LMA), jak przedstawiono w punkcie 4.1.1.6., pierwszego rzędu lub algorytmu *trust region* (TRA) (Nocedal i Wright, 1999). W niniejszej pracy zastosowano algorytm TRA, który zapewnia szybkie prognozowanie.

.4.1.8. Omówienie najważniejszych wyników

Parametry techniczne głównych podzespołów selektora

- **Stół selekcyjny rdzenie kolb**

Na podstawie analizy wymiarów tylnych osłon zespołów młócająco-separujących kombajnów do zbioru ziarna kukurydzy przyjęto, że stół selekcyjny rdzenie kolb posiada szerokość 880 mm, a jego długość wynosi 1800 mm. Zgodnie z tym założeniem opracowano, wyprodukowano i poddano badaniom siedem wariantów wałów stołu selekcyjnego. W wariantach uwzględniono: różne liczby wałów – 6, 8 i 10, średnice wałów – 134, 100 i 80 mm oraz trzy średnice opłotu wałów – 8, 10 i 12 mm ze skokiem 75, 100, 120 i 150 mm.

Na podstawie wyników eksperymentów przeprowadzonych na stanowisku badawczym oraz obliczeń określono współczynniki: efektywności transportu (E), selekcjonowania rdzeni kolb (WSR) oraz wypełnienia materiałem (M). Objętość transportowanego materiału (V) obliczono na podstawie równania (1) z uwzględnieniem: grubości warstwy materiału $h = 250$ mm, prędkości obrotowej wałów $RMP = 2$ obr. $\cdot$ s $^{-1}$, czasu pracy $T = 60$ s i $f = s$.

Tabela 2. Wyniki optymalizacji geometrii wałów stołu selekcyjnego rdzenie kolb

Wariant wałów	Objętość transportowanego materiału V [$\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	Współczynnik efektywności transportu E [%]	Współczynnik wypełnienia materiałem M [-]	Współczynnik selekcjonowania rdzeni kolb WSR [%]
A	0,591 (1,998)*	45,5	0,65	77,7
B	0,878 (2,664)*	50,7	0,65	79,7
C	0,948 (2,003)*	72,8	0,65	91,1
D	1,376 (2,670)*	79,3	0,65	93,8
E	1,706 (3,204)*	81,9	0,65	78,4
F	1,786 (3,218)*	84,5	0,65	68,6
G	2,244 (4,023)*	85,8	0,65	58,1

* Objętość transportowanego materiału V przy uwzględnieniu współczynnika wypełnienia materiałem $M=1$.

Największą wartość współczynnika efektywności transportu E , wynoszącą 85,8%, uzyskano dla wałów w wariantcie konstrukcyjnym G (tab. 2).

Dlatego objętość transportowanego materiału przez wały o średnicy 134 mm z opłotem o średnicy 12 mm i skokiem opłotu 150 mm była największa spośród testowanych i wynosiła $2,244 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Jednak wariant konstrukcyjny G charakteryzował się najmniejszym ze wszystkich wariantów współczynnikiem selekcjonowania rdzeni kolb (WSR), który osiągnął wartość 58,1%. Największy współczynnik WSR wynoszący 93,8% otrzymano dla wariantu D wałów. Przy tym wariantcie konstrukcyjnym uzyskano współczynnik efektywności transportowej wynoszący 79,3% oraz objętość transportowanego materiału $V = 1,376 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Jednak stół selekcyjny selektora realizuje dwie równorzędne czynności technologiczne. Pierwsza czynność to selekcjonowanie rdzeni kolb z masy po omłocie ziarna kukurydzy, a druga to transportowanie rdzeni kolb do przenośnika zabierakowego. Dlatego optymalnym wariantem konstrukcyjnym wałów stołu selekcyjnego rdzenie kolb jest również wariant D z ośmioma wałami o średnicy 100 mm, z opłotem średnicy 10 mm i skokiem opłotu 100 mm.

Współbieżnie obracające się pary wałów są osadzone w ramie wykonanej z profilu stalowego o przekroju prostokąta $80 \times 60 \text{ mm}$ ze ścianą o grubości 5 mm. W ścianach bocznych są wykonane otwory o średnicach 60 mm ze wspawanymi tulejami stalowymi o średnicy zewnętrznej 55 mm. Do ramy stołu selekcyjnego przymocowany jest kosz przyjęciowy wykonany z blachy stalowej o grubości 3 mm, giętej na zimno i spawanej. Szerokość robocza kosza wynosi 1400 mm, a długość 1200 mm.

Aktywna powierzchnia robocza stołu selekcyjnego wynosi $1,74 \text{ m}^2$. Przy prędkości obrotowej wałów osiągającej $120 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ oraz wysokości warstwy materiału

250 mm przepustowość stołu selekcyjnego wynosi $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 3). Długość konstrukcyjna stołu selekcyjnego rdzenie kolb wynosi 1920 mm, natomiast długość robocza jest mniejsza i równa się 1800 mm. Szerokość konstrukcyjna wynosi 1000 mm, a robocza – 880 mm.

Tabela 3. Parametry techniczne stołu selekcyjnego rdzenie kolb kukurydzy

Parametr	Wartość	Jednostka
Szerokość konstrukcyjna	1000	mm
Długość konstrukcyjna	1980	mm
Liczba wałów	8	szt.
Średnica wałów	100	mm
Średnica opłotu wałów	10	mm
Szerokość robocza	880	mm
Skok opłotu wałów	100	mm
Długość robocza	1800	mm
Aktywna powierzchnia robocza	1,74	m^2
Prędkość obrotowa wałków	120	$\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$
Objętość transportowanego materiału	1,376	$\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

- **Zespół rozdrabniający rdzeni kolb**

Zespół rozdrabniający rdzenie kolb jest zbudowany ze współbieżnie obracających się wałów stalowych z nożami, pomiędzy którymi znajdują się pierścienie dystansowe w kształcie koła. Współbieżnie obracające się wały z nożami są umieszczone w obudowie. Zespół rozdrabniający rdzenie zaprojektowano na zasadzie łamania i ścinania rdzeni kolb kukurydzy pomiędzy dwoma współbieżnie obracającymi się zespołami nożowymi. Wały tnące są złożone z dziesięciu tarczy, które mają cztery noże na obwodzie. Czopy wałów są osadzone na łożyskach w obudowie. Szerokość robocza rozdrabniacza rdzeni kolb wynosi 1000 mm. Średnica pierścienia z nożami tnącymi do wierzchołka ostrza wynosi 300 mm. Osie wałów tnących w przekroju mają kształt kwadratu o boku 60 mm. Wykonanie obudowy rozdrabniacza zaplanowano z blachy o grubości 20 mm.

Tabela 4. Parametry techniczne i technologiczne rozdrabniacza rdzeni kolb kukurydzy

Parametr	Wartość	Jednostka
Szerokość konstrukcyjna	1040	mm
Długość konstrukcyjna	600	mm
Szerokość robocza	100	mm
Długość robocza	560	mm
Teoretyczna długość cięcia	50	mm
Prędkość obrotowa walców	40	$\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$
Wydajność	126	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Grubość pierścieni i tym samym szerokość ostrzy wałów tnących wynosi 50 mm. Czyli teoretyczna długość cięcia równa się 50 mm.

Wydajność zespołu tnącego osiąga $126 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 4), przy uwzględnieniu szerokości roboczej i średnicy wałów, ich prędkości obrotowej wynoszącej $40 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ i szczeliny pomiędzy nimi osiagającej 3 mm oraz współczynnika wypełnienia strefy rozdrabniającej na poziomie 0,5.

- **Skrzynia ładunkowa**

Założono, że skrzynia ładunkowa selektora do zbioru rdzeni kolb kukurydzy w przekroju poprzecznym ma kształt trapezu równoramiennego o podstawach 2000 mm i 3000 mm oraz wysokości 2000 mm. Trapezowy kształt przekroju poprzecznego powoduje, że ściany boczne są odchylone od pionu o kąt 26° , co eliminuje zatrzymywanie się rdzeni kolb w skrzyni ładunkowej. Ściany przednia i tylna są ustawione pod kątem prostym. Takie rozwiązanie umożliwiło uzyskanie pojemności skrzyni wynoszącej 18 m^3 (tab. 5).

Tabela 5. Parametry techniczne i technologiczne zbiornika selektora

Parametr	Wartość	Jednostka
Szerokość konstrukcyjna	3000	mm
Długość konstrukcyjna	3000	mm
Pojemność	18,0	m^3
Kąt nachylenia ścian bocznych	26	$^\circ$

- **Przenośnik zabierakowy**

Szerokość robocza taśmy przenośnika zabierakowego wynosi 900 mm i wynika z szerokości roboczej stołu selekcyjnego rdzenie kolb, która wynosi 880 mm, ponieważ rdzenie kolb trafiają na przenośnik bezpośrednio ze stołu selekcyjnego. Przy wysokości zabieraków wynoszącej 200 mm i prędkości liniowej taśmy $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ jego wydajność wynosi $129 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 6).

Tabela 6. Parametry techniczne przenośnika zabierakowego przenoszącego rdzenie ze stołu selekcyjnego do zespołu tnącego

Parametr	Wartość	Jednostka
Szerokość robocza taśmy	900	mm
Prędkość ruchu przenośnika	0,2	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Wysokość zbieraków	200	mm
Wydajność przenośnika	129,0	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

- **Przenośnik wyładowujący rdzenie kolb**

Szerokość robocza przenośnika wyładowującego rdzenie kolb ze zbiornika selektora na zestaw transportowy została określona na 1000 mm, a wysokość zabieraków na 200 mm. Przy prędkości ruchu przenośnika $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ wydajność rozładunku wynosi $432 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 7), co przy pojemności zbiornika wynoszącej 18 m^3 umożliwia rozładunek w czasie 2 minut.

Tabela 7. Parametry techniczne przenośnika do rozładunku skrzyni ładunkowej selektora

Parametr	Wartość	Jednostka
Szerokość robocza	1000	mm
Prędkość ruchu przenośnika	0,6	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Wysokość zbieraków	200	mm
Wysokość punktu wyładunku	4000	mm
Wydajność przenośnika	432	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Wyniki badań eksploatacyjnych

- **Wydajność pracy i współczynniki eksploatacyjne**

Badania eksploatacyjne przeprowadzono, agregując selektor do odzysku rdzeni kolb kukurydzy z kombajnem do zbioru zbóż John Deere 9880i STS o mocy silnika 347 kW i wyposażonym w 8-rzędowy zespół żniwny Mais Star Horizon. Dla porównania przeprowadzono również badania eksploatacyjne kombajnu podczas zbioru ziarna kukurydzy bez selektora.

Chronometraż pracy kombajnu oraz kombajnu z selektorem przeprowadzono podczas zbioru kukurydzy na ziarno na polu o powierzchni 67,3 ha, podczas trzech zmian roboczych. Zbierano ziarno i rdzenie kolb kukurydzy odmiany Koletis firmy KWS. Obsada na plantacji przed zbiorem wynosiła 83 tys. roślin $\cdot \text{ha}^{-1}$, a średni plon ziarna o wilgotności 28% był równy $8,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zebrany plon kukurydzy składał się w 22,5% z ziarna, w 7,5% z rdzeni kolb, w 6,6% z liści okrywowych, w 11,2% z liści i 52,3% z łodyg kukurydzy. Kombajn pracował ze średnią prędkością $1,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Na podstawie zestawienia czasów trwania czynności zarejestrowanych podczas chronometrażu zestawu, złożonego z kombajnu do zbioru ziarna i selektora do odzysku rdzeni kolb kukurydzy obliczono wskaźniki i współczynniki eksploatacyjne.

Najbardziej miarodajnym wskaźnikiem, świadczącym o rzeczywistych możliwościach maszyn i technologii (Przybył i Sęk, 2015), jest wydajność eksploatacyjna (W_{08}) odnosząca się do czasu ogólnego zmiany roboczej.

Wydajność eksploatacyjna kombajnu podczas zbioru ziarna kukurydzy wynosiła średnio $2,49 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$, a podczas pracy z selektorem - $2,47 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 8).

Tabela 8. Wskaźniki i współczynniki eksploatacyjne kombajnu z i bez selektora do zbioru rdzeni kolb podczas zbioru ziarna kukurydzy

Wskaźnik	Jednostka	Kombajn z selektorem	Kombajn
W_1	$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$	5,12	4,97
W_{02}	$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$	3,30	3,37
W_{04}	$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$	3,06	3,12
W_{08}	$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$	2,47	2,49
K_{02}	-	0,64	0,68
K_{04}	-	0,60	0,63
K_{08}	-	0,48	0,50
A_{04}	$\text{rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$	0,33	0,32
A_{08}	$\text{rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$	0,41	0,40

Przed wykonaniem badań eksploatacyjnych, selektor poddano testom podzespołów w badaniach wstępnych, podczas których zidentyfikowano i usunięto usterki oraz niedoskonałości technologiczne. Taki przebieg badań umożliwił przeprowadzenie oceny eksploatacyjnej selektora bez przestojów powodowanych ustawkami technicznymi, co znalazło odzwierciedlenie w wynikach chronometrażu.

Na podstawie analizy czasów roboczych wynikających z przeprowadzonego chronometrażu wyznaczono współczynniki wykorzystania czasu operacyjnego (K_{02}), wykorzystania czasu roboczego (K_{04}) oraz wykorzystania czasu ogólnego zmiany (K_{08}). Należy zwrócić uwagę, że średnia wartość współczynnika K_{02} , uwzględniającego czas nawrotów i przejazdów jałowych podczas zbioru ziarna tylko kombajnem wynosiła 0,68, a podczas współpracy kombajnu z selektorem – 0,64, co wskazuje na to, że selektor nie powodował trudności w poruszaniu się kombajnu po polu. Średnia wartość współczynnika K_{08} kombajnu podczas zbioru ziarna wynosiła 0,50, a podczas zbioru ziarna i rdzeni kolb selektorem – 0,48 (tab. 8), co również wskazuje, że selektor nie wpływa istotnie na zmniejszenie wydajności pracy kombajnu do zbioru ziarna kukurydzy.

• Jakość rozdrobnienia rdzeni kolb

W celu określenia rozdrobnienia rdzeni kolb przez układ tnący selektora pobrano losowo próby rdzeni z zespołu separującego kombajnu oraz ze skrzyni ładunkowej selektora. Pobrane próby przesiano przez sita, a frakcje po przesianiu zważono. Na tej podstawie obliczono, że 95,0% rdzeni po omłocie ziarna ma długość większą niż 50 mm (tab. 9).

Tabela 9. Udział frakcji rdzeni kolb po omłocie ziarna i po wydzieleniu selektorem

Frakcja	>50 mm	40-50 mm	20-40 mm	<20 mm
Po omłocie ziarna (%)	95,0±0,01	0,5±0,00	4,0±0,01	0,5±0,00
Po odzysku selektorem (%)	2,1±0,86	84,1±1,02	8,6±3,34	5,1±2,20

Wyniki pomiarów rozdrobnienia rdzeni kolb kukurydzy wydzielonych selektorem wskazują, że zespół tnący działał prawidłowo, ponieważ 97,8% rdzeni została rozdrobniona na odcinki o długości do 50 mm (tab. 9).

Wyniki badań laboratoryjnych

• Wyniki analizy technicznej

Analiza techniczna biomasy obejmuje oznaczenie: wilgotności, popiołu, części lotnych oraz ciepła spalania i wartości opałowej.

Oznaczenie wilgotności całkowitej w rdzeniach kolb kukurydzy wykonano bezpośrednio po pozyskaniu ich selektorem. Wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej z uwzględnieniem roku pozyskania. Wilgotność całkowita rdzeni kolb bezpośrednio po zbiorze selektorem różniła się istotnie statystycznie w zależności od roku i wynosiła od 53,5% do 60,7% (tab. 10). Wilgotność rdzeni kolb kukurydzy pozyskanych selektorem można porównać z wilgotnością świeżej biomasy drzewnej, która jest stosowana na szeroką skalę jako paliwo w ciepłowniach i elektrociepłowniach. Według Gendka i Nurka (2016) wilgotność całkowita świeżych zrębków gałęzi po zrębowych mieści się w przedziale 50–60%, a świeże zrębki z całych drzew iglastych mają wilgotność od 45% do 55%. Dla porównania wilgotność świeżych zrębków wierzby energetycznej, bezpośrednio po zbiorze, wynosi od 50% do 52,5% (Frączek i Mudryk, 2009).

Gołaszewski i in. (2020) podają, że biomasa może zostać poddana procesowi spalania wyłącznie wówczas, gdy jej wilgotność nie przekracza 50%. Jednak dopuszczalna wilgotność zależy od rodzaju instalacji, w której ma być spalana biomasa. Polska Grupa Energetyczna w wymaganiach jakościowych i warunkach dostawy biomasy podaje, że wilgotność w stanie roboczym biomasy pochodzenia rolniczego, dostarczanej do Elektrociepłowni Szczecin, powinna się mieścić w granicach 40–60% (PGE, 2023). Na tej podstawie można stwierdzić, że rdzenie kolb spełniają wymogi stawiane biomase przeznaczonej do konwersji w ciepłowniach i elektrociepłowniach, a wilgotność całkowita jest na takim samym poziomie, co w biomase drzewnej stosowanej w energetyce na skalę przemysłową.

Tabela 10. Wyniki analizy technicznej rdzeni kolb kukurydzy pozyskanych selektorem w trzech latach

Parametr	Rok pozyskania	Wartość średnia
Wilgotność całkowita [%]	2020	60,7 ^a ±2,81
	2021	56,1 ^b ±0,92
	2022	53,5 ^c ±0,20
Popiół [%]	2020	2,55±0,11
	2021	1,56±0,05
	2022	2,85±0,02
Części lotne [%]	2020	92,8 ^{ab} ±0,92
	2021	93,4 ^a ±0,34
	2022	92,1 ^b ±0,06

± odchylenie standardowe; identyczne indeksy górne (a,b,c) oznaczają brak istotnej różnicy ($p < 0,05$) pomiędzy wartościami średnimi parametrów według testu HSD Tuckey'a

Zawartość popiołu w rdzeniach kolb kukurydzy zebranych selektorem różniła się statystycznie w zależności od roku i wynosiła od 1,56% do 2,54% (tab. 10). Z literatury wynika, że rdzenie kolb zawierają najmniej popiołu ze wszystkich frakcji resztek poźniwnych kukurydzy. Dowodzą tego Lizotte i in. (2015), twierdząc że, liście kukurydzy zawierają 7,69–12,59% popiołu, a łodygi 4,62–6,59%. Potwierdza to słuszność prezentowanej w tej pracy koncepcji pozyskiwania samych rdzeni kolb kukurydzy.

Zawartość popiołu w rdzeniach kolb kukurydzy jest mniejsza w porównaniu ze znaną i stosowaną na szeroką skalę w ciepłownictwie słomą zbóż kłosowych, która zawiera 4,3–10,6% popiołu. Jego zawartość w rdzeniach kolb można porównać z zawartością w biomase drzewnej, również stosowanej powszechnie jako paliwo w ciepłowniach i elektrociepłowniach. Gendek i Nurek (2016) podają, że biomasa leśna w formie zrębki z gałęzi drzew zawiera 1,0–3,0% popiołu, a zrębka z całych drzew – 1,0–2,0%. Natomiast Vassilev i in. (2023) dowiedli, że zawartość popiołu w łuskach słonecznika wynosi 3,0%, a w zrębkach drewna bukowego – 1,3%. Na tej podstawie można stwierdzić, że rdzenie kolb kukurydzy pozyskane selektorem charakteryzują się taką samą zawartością popiołu, co stosowana na szeroką skalę biomasa drzewna i mniejszą niż słoma zbóż kłosowych.

Rdzenie kolb kukurydzy pozyskane selektorem w zależności od roku zawierały 92,1–93,4% części lotnych (tab. 10). Dla porównania węgiel kamienny zawiera 26,8% części lotnych, biomasa leśna z sosny zwyczajnej – 76,8%, a wierzba energetyczna – podobnie do biomasy leśnej, czyli 76,3% (Kosowska-Golachowska i in., 2016).

Ciepło spalania rdzeni kolb pozyskanych selektorem w stanie roboczym wynosiło 8,13–8,58 MJ·kg⁻¹, a wartość opałowa od 6,90 MJ·kg⁻¹ do 7,38 MJ·kg⁻¹. Wyniki testu statystycznego Tukey'a wskazały, że ciepło spalania i wartość opałowa rdzeni zebranych

w 2022 r. różniły się istotnie w stanie roboczym (tab. 12). W literaturze prezentowane są dane dotyczące wartości ciepła spalania wierzby energetycznej, które wynoszą $8,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, przy wilgotności całkowitej 48,6% (Szczukowski i Stolarski, 2013).

Tabela 11. Ciepło spalania i wartość opałowa rdzeni kolb w stanie roboczym pozyskanych selektorem w trzech latach

Parametr	Rok pozyskania	Wartość średnia
Ciepło spalania [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]	2020	$8,16^b \pm 0,07$
	2021	$8,13^b \pm 0,12$
	2022	$8,58^a \pm 0,05$
Wartość opałowa [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]	2020	$6,93^b \pm 0,07$
	2021	$6,90^b \pm 0,13$
	2022	$7,38^a \pm 0,05$

$\pm$ odchylenie standardowe; identyczne indeksy górne (a,b) oznaczają brak istotnej różnicy ($p < 0,05$) pomiędzy wartościami średnimi parametrów według testu HSD Tucky'a

Dla określenia potencjału energetycznego rdzeni kolb kukurydzy w procesie spalania oznaczono również ich ciepło spalania i wartość opałową w stanie analitycznym, czyli wysuszonych do wilgotności wynoszącej 6%. Ciepło spalania rdzeni kolb w stanie analitycznym było równe $17,6$ – $18,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, a wartość opałowa $16,4$ – $17,3 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Wyniki testu statystycznego Tukey'a wskazały, że ciepło spalania i wartość opałowa rdzeni zebranych w 2020 r. różniły się istotnie w stanie analitycznym (tab. 12).

Tabela 12. Ciepło spalania i wartość opałowa rdzeni kolb w stanie analitycznym

Parametr	Rok pozyskania	Wartość średnia
Ciepło spalania [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]	2020	$17,6^b \pm 0,01$
	2021	$18,5^a \pm 0,14$
	2022	$18,4^a \pm 0,03$
Wartość opałowa [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]	2020	$16,4^b \pm 0,02$
	2021	$17,3^a \pm 0,03$
	2022	$17,3^a \pm 0,14$

$\pm$ odchylenie standardowe; identyczne indeksy górne (a,b) oznaczają brak istotnej różnicy ($p < 0,05$) pomiędzy wartościami średnimi parametrów według testu HSD Tucky'a

Analiza literatury dotyczącej wartości opałowej biomasy drzewnej, najszerszej stosowanej w energetyce, wskazuje, że biomasa pozostała po wycince drzew sosny ma wartość opałową $17,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, a zrębki wierzby energetycznej – $16,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ przy wilgotności całkowitej wynoszącej 7% (Kosowska-Golachowska i in., 2016).

Podsumowując przedstawione wyniki analizy technicznej, należy stwierdzić, że w porównaniu z biomasą drzewną i słomy zbóż kłosowych, rdzenie kolb kukurydzy są wartościową biomasą dla przemysłu energetycznego.

- **Wynikaj analizy elementarnej**

Analiza elementarna dotyczy oceny zawartości podstawowych pierwiastków tworzących substancję organiczną paliw stałych, czyli węgla, wodoru, azotu, siarki i tlenu (Werle, 2021). Analiza elementarna jest powszechnie stosowana do oceny biomasy energetycznej (Duboc i in., 1995; Kantorek i in., 2019). Udział tych pierwiastków w paliwach stałych jest różny, dlatego nowe rodzaje biomasy powinny być poddawane analizie elementarnej.

Zawartość węgla w rdzeniach kolb kukurydzy pozyskanych selektorem wynosiła 44,5–47,5%, zawartość wodoru – 5,8–6,0%, azotu – 0,51–1,54%, a siarki – 0,02–0,07%. Rdzenie kolb zawierały od 45,2% do 48,5% tlenu. Wyniki testu statystycznego Tukey’a wskazały, że różnice w zawartości tych pierwiastków różniły się istotnie w zależności od roku (tab. 13).

Tabela 13. Wyniki analizy elementarnej rdzeni kolb kukurydzy pozyskanych selektorem w trzech latach

Pierwiastek	Rok pozyskania	Zawartość [%]
C	2020	47,2 ^a ±0,37
	2021	44,5 ^c ±0,43
	2022	45,8 ^b ±0,12
H	2020	5,9 ^a ±0,06
	2021	6,0 ^a ±0,06
	2022	5,8 ^b ±0,04
N	2020	0,51 ^c ±0,00
	2021	1,02 ^b ±0,01
	2022	1,54 ^a ±0,05
S	2020	0,02 ^c ±0,00
	2021	0,04 ^b ±0,00
	2022	0,07 ^a ±0,01
O	2020	45,2 ^c ±0,30
	2021	48,5 ^a ±0,49
	2022	46,7 ^b ±0,23

± odchylenie standardowe; identyczne indeksy górne (a,b,c) oznaczają brak istotnej różnicy ($p < 0,05$) pomiędzy wartościami średnimi parametrów według testu HSD Tucky’a

Przedstawione wyniki analizy elementarnej pozwalają stwierdzić, że rdzenie kolb kukurydzy charakteryzują się taką samą zawartością węgla i wodoru, co słoma zbóż kłosowych.

Podsumowując przedstawiony skład elementarny oraz jego analizę i porównanie z danymi literaturowymi, można stwierdzić, że rdzenie kolb kukurydzy są wartościową biomasą energetyczną, a ich spalanie może zmniejszyć emisję tlenków siarki.

- **Wyniki fermentacji metanowej**

Wydajność biogazu z rdzeni kolb pozyskanych selektorem podczas zbioru ziarna kukurydzy wynosiła od 409,3 do 443,6 m³·Mg⁻¹ s.m. i różniła się istotnie w zależności od roku. Natomiast wydajność metanu zawierała się w przedziale od 243,2 do 248,1 m³·Mg⁻¹ s.m. i nie różniła się statystycznie w zależności od roku pozyskania rdzeni kolb kukurydzy. Na tej podstawie określono, że zawartość metanu w biogazie z rdzeni kolb wynosiła od 55,8% do 57,5% (tab. 14).

Tabela 14. Wydajność biogazu i metanu z rdzeni kolb kukurydzy pozyskanych selektorem w trzech sezonach wegetacyjnych

Rok pozyskania rdzeni kolb	Średnia wydajność biogazu [m ³ ·Mg ⁻¹ s.m.]	Średnia wydajność metanu [m ³ ·Mg ⁻¹ s.m.]	Procentowa zawartość metanu w biogazie [%]
2020	443,6 ^a ±11,9	248,1 ^a ±4,7	56,0
2021	409,3 ^b ±6,9	243,1 ^a ±2,8	55,8
2022	423,9 ^a ±10,1	243,7 ^a ±4,2	57,5

± – odchylenie standardowe; identyczne indeksy górne (a,b,c) oznaczają brak istotnej różnicy ($p < 0,05$) pomiędzy wartościami średnimi według testu HSD Tuckey'a

Rdzenie kolb, wydzielone selektorem podczas zbioru ziarna kukurydzy, mają wydajność biogazu i metanu mieszczącą się w zakresie danych prezentowanych w literaturze. W porównaniu z kiszonką z całych roślin kukurydzy charakteryzują się również dużym procentowym udziałem metanu w biogazie.

- **Wyniki adaptacji za pomocą optymalizacji formuł do określania ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem algorytmów gradientowych typu trust region**

Formuła Dulonga została opracowana do określania ciepła spalania węgla i jest oparta na zawartości C, H, N, S oraz współczynnikach przypisanych tym pierwiastkom. Graboski i Bain (1981) opracowali formułę do określania ciepła spalania drewna, która uwzględnia zawartość C, H, N, S oraz dodatkowo proporcję H/C i przypisane im współczynniki. Wynikiem optymalizacji formuł Dulonga oraz Graboskiego i Baina, którą przeprowadzono w tej pracy, są nowe wartości współczynników dostosowane do estymacji ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy. Wartości współczynników parametrów uwzględnionych w pierwotnych formułach i po optymalizacji zestawiono w tabeli 15.

Tabela 15. Wartości współczynników parametrów formuł do określania ciepła spalania

Formuła	Parametry				
	C	H	N	S	H/C
Oryginalne współczynniki					
Dulonga	0,3383	1,443	-	0,09428	-
Graboskyego i Baina	0,328	1,4306	0,237	0,0929	40,11
Współczynniki optymalne					
Dulonga	0,3932	-2,7643	-	-6,1653	-
Graboskyego i Baina	-0,1104	0,6761	0,248	0,0929	37,13

Po optymalizacji formuła Dulonga przyjęła postać:

$$HHV = 0,3932C - 2,7643(H - (O/8)) - 6,1653S \quad (27)$$

Natomiast formułę Graboskyego i Baina charakteryzuje zależność:

$$HHV = -0,1104C + 0,6761H - 0,248N + 0,0929S - \left(1 - \frac{A}{100}\right) \left(37,13 \left(\frac{H}{C}\right)\right) + 0,34 \quad (28)$$

Optymalizacja formuł spowodowała zmniejszenie błędu określania ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy. W przypadku formuły Dulonga błąd określania ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy zmniejszył się z wartości 11,51%, przy oryginalnych współczynnikach parametrów, do 0,72%, przy zoptymalizowanych wartościach tych współczynników. Natomiast w formule Graboskyego i Baina błąd określania ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy zmniejszył się po optymalizacji z 6,53% do 0,20%.

Procedura optymalizacji oparta na gradientowych algorytmach minimalizacji rozbieżności między wynikami estymacji – modelami empirycznymi 8 i 9, a wynikami badań laboratoryjnych charakteryzowała się dużą niezawodnością. Zbieżność wyników estymacji i wyników badań laboratoryjnych była osiągnięta w zaledwie kilku iteracjach.

- **Wyniki prognozowania wydajności metanu rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem procesów gaussowskich**

W procesach gaussowskich hiperparametrami nazywa się parametry modelu, które kontrolują jego zachowanie i dopasowanie do danych. Te parametry są związane z procesem gaussowskim, który jest modelem probabilistycznym do przewidywania wartości funkcji na podstawie danych empirycznych. Dobór odpowiednich hiperparametrów jest istotny dla skutecznego dopasowania modelu procesu gaussowskiego do danych i uzyskania wiarygodnych predykcji.

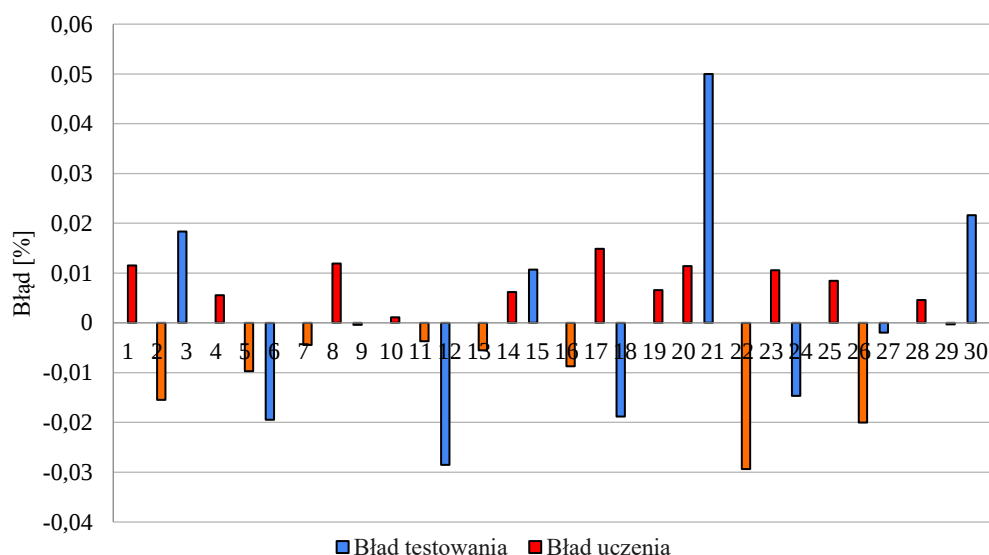
W przeprowadzonym prognozowaniu wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy jako hiperparametry uwzględniono procentowe zawartości pierwiastków C, H, N, S, O oraz wilgotność. Wartości hiperparametrów brane pod uwagę w procesach gaussowskich zastosowanych do predykcji metanu z rdzeni kolb kukurydzy przedstawiono w tabeli 16.

Tabela 16. Hiperparametry zastosowane w procesach gaussowskich do prognozowania wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy

Hiperparametr	C	H	N	S	O	Wilgotność
Wartość	-0,49	14,49	20,37	26,80	9,64	3,15

Modelowanie wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy przeprowadzono z zastosowaniem procesów gaussowskich na zestawie danych składającym się z trzydziestu przypadków. Co trzeci przypadek w zestawie danych został wykorzystany jako testowy. Model GP do prognozowania wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy oceniono wielkością błędu uczenia i błędu testowania. Błąd uczenia odnosi się do różnicy między rzeczywistą wartością danej obserwacji a wartością przewidywaną przez model GP w punkcie tej obserwacji. Natomiast błąd testowania odnosi się do różnicy między rzeczywistą wartością obserwacji testowej a wartością przewidywaną przez model GP dla tego punktu testowego. Jest to miara, która ocenia zdolność modelu do generalizacji na nowych danych, które nie były wykorzystywane w procesie uczenia.

Błąd uczenia GP w prognozowaniu wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy mieścił się w zakresie od 2,94% do 1,15%. Oznacza to, że różnica między przewidywaną przez model a rzeczywistą wydajnością metanu z rdzeni kolb kukurydzy w zależności od przypadku różniła się od 1,15% do 2,94%. Model GP do prognozowania wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy przetestowano na przypadkach z zestawu danych, które nie były użyte jako przypadki uczące. Wyniki testowania wskazały, że model GP miał błąd testowania w przedziale od 2,85% do 5,0%. Oznacza to, że różnica między przewidywaną przez model na nieznanymi danych a rzeczywistą wydajnością metanu z rdzeni kolb kukurydzy wynosiła od 2,85% do 5,0% (rys. 4).



Ryc. 4. Błędy testowania i błędy uczenia procesów gaussowskich w prognozowaniu wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy

4.1.9. Wnioski

Zrealizowanie zadań badawczych, które wynikały z postawionego celu pracy umożliwiło sformułowanie następujących wniosków:

1. Opracowany projekt technologiczny selektora umożliwia wydzielenie rdzeni kolb, bez zanieczyszczeń liśćmi okrywowymi i częściami ziemistymi, ze strumienia resztek po omłocie ziarna kukurydzy w procesie jednoczesnym.
2. Stół selekcyjny rdzenie kolb – zbudowany z ośmiu par współbieżnie obracających się wałów o średnicy 100 mm i oplocie o średnicy 10 mm ze skokiem 100 mm – selekcyjnie 93,8% rdzeni kolb ze strumienia masy po omłocie ziarna kukurydzy oraz obrywa liście okrywowe połączone z rdzeniami przez dokolbie.
3. Zespół tnący selektora rozdrabnia 98,3% wydzielonych rdzeni kolb kukurydzy na odcinki o długości nie większej niż 50 mm. Taka dokładność rozdrobnienia spełnia wymagania stawiane przez zakłady energetyczne.
4. Ocena eksploatacyjna wykazała, że zastosowanie selektor rdzeni kolb kukurydzy nie zmniejsza wydajności kombajnu podczas zbioru ziarna kukurydzy.
5. Rdzenie kolb kukurydzy wydzielone selektorem są źródłem wartościowej biomasy do spalania w zakładach energetyki zawodowej, ponieważ ich parametry jakościowe określone w analizach technicznej i elementarnej nie odbiegają od stosowanej na skalę przemysłową biomasy drzewnej i słomy zbóż kłosowych.
6. Wydzielone rdzenie kolb kukurydzy zastosowane jako substrat do biogazowni cechuje wydajność metanu zbliżona do wydajności kiszonki z całych roślin kukurydzy, co

wpisuje je w produkcję energii z surowców biomasowych drugiej generacji, czyli w strategię wykorzystania produktów ubocznych i odpadów z produkcji rolniczej, pozyskanych bez zubażania gleby w materię organiczną.

7. Optymalizacja formuł matematycznych do określania ciepła spalania paliw i drewna metodą algorytmów gradientowych *trust region* umożliwiła opracowanie formuły przeznaczonej do predykcji ciepła spalania wyselekcjonowanych rdzeni kolb kukurydzy na podstawie zawartości pierwiastków węgla, wodoru, azotu oraz siarki.
8. Opracowany model procesów gaussowskich do prognozowania wydajności metanu z rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem wyników analizy elementarnej i wilgotności jako hiperparametrów umożliwia predykcję z dokładnością porównywalną z wynikami eksperymentów laboratoryjnych.
9. Opracowany selektor rdzeni kolb kukurydzy oraz wyniki weryfikacji jego działania i wyniki analiz laboratoryjnych wartości energetycznego wykorzystania wyselekcjonowanych rdzeni kolb kukurydzy pozytywnie weryfikują postawioną hipotezę, a tym samym stanowią rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego.

4.1.10. Literatura

Bishop C.M. 2007. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. ISBN: 978-0387-31073-2.

Boguski, J.J. 1901. *Zmiana wzoru Dulonga do oznaczania ciepłotajności paliwa na podstawie jego składu chemicznego*. Chemik Polski, 20(43), 689–690.

Cergibozan R. 2022. *Renewable energy sources as a solution for energy security risk: Empirical evidence from OECD countries*. Renewable Energy, 183, 617–626.

Dolšak B., Breznik A., Kaučič K., Imenšek N., Marčec M., Gselman P., Humar J., Krajnc M. 2024. *Design and initial testing of a maize cob collection system*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 17(3), 108–114.

Duboc P., Schill N., Menoud L., Van Gulik W., Von Stockar U. 1995. *Measurements of sulfur, phosphorus and other ions in microbial biomass: Influence on correct determination of elemental composition and degree of reduction*. Journal of Biotechnology, 43, 148–158.

EIA. 2019. *World Energy Outlook 2019 with Projections to 2050*. U.S. Energy Information Administration, Office of Energy Analysis, U.S. Department of Energy, Washington, DC, 20585.

Frączek J., Mudryk K. 2009. *Wpływ wilgotności rozdrabnianych pędów wierzby Salix viminalis L. na skład granulometryczny uzyskanych zrębków*. Acta Agrophysica, 14(1), 49–60.

- Garbowski T. 2012. *Material model calibration based on full-field measurement and inverse analysis*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. ISBN 978-83-7775-201-2.
- Gendek A., Nurek T. 2016. *Variability of energy woodchips and their economic effects*. Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 58(2), 62–71.
- Gołaszewski, J., Krzyżaniak, M., Olba-Zięty, E., Stolarski, M., Radawiec, W., Konkol, M., Kowalski R., Rój E., Faber, A. 2020. *Technologie rynkowe przetwarzania biomasy lignocelulozowej do biopaliw stałych, ciekłych i gazowych*. Olsztyn: Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego.
- Graboski, M., Bain, R. 1981. *Properties of biomass relevant to gasification*. W: Biomass gasification – principles and technology (Ed. T.B. Reed, pp. 41–69). New Jersey: Noyes Data Corporation.
- Hosokai, S., Matsuoka, K., Kuramoto, K., Suzuki, Y. 2016. *Modification of Dulong's formula to estimate heating value of gas, liquid and solid fuels*. Fuel Processing Technology, 152, 399–405.
- Johnson J.M.F., Allmaras R.R., Reicosky D.C. 2006. *Estimating source carbon from crop residues, roots, and rhizodeposits using the national grain-yield database*. Agronomy Journal, 98, 622–636.
- Kantorek M., Jesionek K., Polesek-Karczewska S., Ziółkowski P., Badur J. 2019. *Thermal utilization of meat and bone meals. Performance analysis in terms of drying process, pyrolysis and kinetics of volatiles combustion*. Fuel, 254, 115548.
- Karlen D.J., Birell S.J., Hess J.R. 2011. *A five-year assessment of corn stover harvest in central Iowa, USA*. Soil & Tillage Research, 115–116, 47–55.
- Kosowska-Golachowska M., Wolski K., Gajewski W., Kijo-Kleczkowska A., Muciał T., Środa K. 2016. *Spalanie biomasy agro i leśnej w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej*. Rynek Energii, 3(124), 90-99. ISSN 1425-5960. <https://rynek-energii.pl/pl/RE124> (dostęp 18.08.2023 r.)
- Langhof M., Schmiedgen A. 2023. *13 years of biomass production from three poplar clones in a temperate short-rotation alley cropping agroforestry system*. Biomass and Bioenergy, 175, 106853.
- Lizotte P.L., Savoie P., De Champlain A. 2015. *Ash content and calorific energy of corn stover components in eastern Canada*. Energies, 8(6), 4827-4838.
- Nocedal J., Wright S.J. 1999. *Numerical optimization*. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. Springer New York, USA. ISBN 978-0387-30303-1.
- PGE 2023. *Wymagania jakościowe i warunki dostawy biomasy pochodzenia rolniczego w formie zrębków z upraw energetycznych lub zrębków z sadów do PGE Energia Ciepła S.A. Oddział w Szczecinie – Elektrociepłownia Szczecin*. Pobrano 16.08.2023 r. z <https://www.gkpge.pl/grupa-pge/przetargi/biomasa/wymagania-jakosciowe-i-warunki-dostaw-biomasy>

Przybył, J., Sęk, T. 2015. *Projektowanie inżynierskie rolniczych procesów technologicznych*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Sajid J., Sajid M.B., Ahmad M.M, Kamran M., Ayub R., Ahmed N., Mahmood M., Abbas A. 2022. *Energetic, economic, and greenhouse gas emissions assessment of biomass and solar photovoltaic systems for an industrial facility*. Energy Reports, 8, 12503–12521.

Sokhansanj S., Mani S., Tagore S., Turhollow A.F. 2010. *Techno-economic analysis of using corn stover to supply heat and power to a corn ethanol plant – Part 1: Cost of feedstock supply logistics*. Biomass and Bioenergy, 34 (1): 75-81.

Szczukowski S., Stolarski M. 2013. *Plantacje drzew i krzewów szybko rosnących jako alternatywa biomasy z lasu – stan obecny, szanse i zagrożenia rozwoju w Biomasa leśna na cele energetyczne* pod red. Piotra Gołosa i Adama Kaliszewskiego. Instytut Badawczy Leśnictwa. ISBN 978-83-62830-18-3

Werle M. (2021). *Termiczne przetwarzanie biomasy odpadowej jako element gospodarki obiegu zamkniętego*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. ISBN 978-83-7880-764-3

Wojcieszak D., Przybył J., Myczko R., Myczko A. 2018. *Technological and energetic evaluation of maize stover silage for methane production on technical scale*. Energy 151: 903-912.

4.2. Drugie osiągnięcie naukowe

Do dorobku uznanego za drugie osiągnięcie naukowe zaliczam cykl powiązanych tematycznie prac naukowych - opublikowanych w czasopismach naukowych i w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych oraz patent - zatytułowany:

„Technika i technologia zbioru resztek poźniwnych kukurydzy z przeznaczeniem na substrat do produkcji biogazu”.

4.2.1. Prace wchodzące w skład drugiego osiągnięcia naukowego

Cykl obejmuje cztery oryginalne prace twórcze opublikowane w czasopismach naukowych lub materiałach z konferencji międzynarodowych, indeksowanych w bazach Web of Science i Scopus oraz oryginalne rozwiązanie techniczne w postaci patentu:

A1. Wojcieszak D., Przybył J., Dach J., Zaborowicz M., Staszak Ż. 2018. *Economic assessment of the technology harvesting maize straw for biogas production*. Contemporary Research Trends in Agricultural Engineering 2018. BIO Web of Conferences 10, 01017 (2018). doi.org/10.1051/bioconf/20181001017.

Punkty MNiSW:15. Indeksowane w: Web of Science i Scopus

A2.Przybył J., Wojcieszak D., Kowalik I., Dach J. 2018. *Influence of the harvesting and ensilage technology on the quality of maize straw silage*. Contemporary Research Trends in Agricultural Engineering 2018. BIO Web of Conferences 10, 02027 (2018). doi.org/10.1051/bioconf/20181002027.

Punkty MNiSW:15. Indeksowane w: Web of Science i Scopus

A3.Wojcieszak D., Przybył J., Myczko R., Myczko A. 2018. *Technological and energetic evaluation of maize stover silage for methane production on technical scale*. Energy 151: 903-912. doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.082

IF=5,737, Punkty MNiSW: 45

A4.Przybył J., Wojcieszak D., Kowalik I. *Sposób i urządzenie przygotowujące do zbioru resztki poźniwne po zbiorze kukurydzy na ziarno*. Nr prawa wyłącznego: Pat.235790, data udzieleni prawa 04.06.2020 r.

A5.Przybył J., Wojcieszak D., Garbowski T. 2024. *Effect of corn stover ensiling on methane production and carbon dioxide emissions*. Energies 17(23): art. 6179.

IF=3,000, Punkty MNiSW: 140

4.2.2. Geneza osiągnięcia

Biomasa roślinna jest ważnym substratem do produkcji biogazu, który może zastąpić kopalne nośniki energii (Svensson i in. 2025, Tjutju i in. 2024, Muneer i in. 2021, Johansson

i in. 2015). W ostatniej dekadzie celowa uprawa roślin na substrat do biogazowni zastała znacznie ograniczona ze względu na konkurencję z produkcją pasz dla zwierząt i żywności dla stale zwiększającej się populacji ludzi na świecie (Svensson i in. 2025, Ignaciuk i in. 2006). W tym kontekście dobrym źródłem surowców do produkcji biogazu są produkty uboczne lub pozostałości z produkcji roślinnej.

Wykorzystywanie biomasy ubocznej do produkcji biogazu wpisuje się w koncepcję gospodarki obiegu zamkniętego (CEB) (Feng i in. 2023), ponieważ poferment będący pozostałością po procesie produkcji biogazu jest dobrym nawozem, a zawarta w nim materia organiczna wraca do gleby (Czekała i in. 2020). Biogaz wyprodukowany w systemie CBE ma bardzo duże znaczenie w ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych (GHG) (Capros i in. 2019, Vergote i in. 2020).

Podstawowym produktem ubocznym w produkcji roślinnej jest słoma. Jednak słoma roślin żdźbłowych, oprócz swoich podstawowych zastosowań, wykorzystywana jest jeszcze do wielu innych celów, w tym do produkcji pelletu oraz jako substrat do produkcji podłoża pieczarkowego, co wywołuje deficyt na rynku słomy. Ponadto słoma zbożowa ze względu na dużą zawartość suchej materii i ligniny, uważana jest za trudny substrat do procesu fermentacji metanowej. Ta sytuacja skłania więc do poszukiwania innych źródeł biomasy. Dlatego uwagę skierowano na niewykorzystane dotąd szerzej, nie tylko w naszym kraju źródło biomasy, jakim są resztki poźniwne kukurydzy pozostające na polu po zbiorze ziarna, nazywane również słomą kukurydzianą.

W ostatniej dekadzie na świecie obserwuje się ciągły wzrost produkcji ziarna kukurydzy. W Polsce aktualnie produkcja ziarna kukurydzy przekracza 8,3 mln. ton (FAO Statistic 2024). Na każdy 1 kg suchej masy ziarna przypada 1 kg resztek poźniwnych (Shnners i in. 2007). Na tej podstawie można stwierdzić, że resztki po zbiorze ziarna kukurydzy są i będą dużym oraz stabilnym źródłem biomasy.

W opublikowanych pracach naukowych opisane zostały właściwości chemiczne i energetyczne resztek poźniwnych kukurydzy. Jednak prace dotyczące ich energetycznego zagospodarowania nie zawierają informacji o maszynach i liniach technologicznych do zbioru oraz o metodach przechowywania słomy kukurydzianej. Wyniki prac z zakresu zbioru i składowania słomy kukurydzianej przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej można odnieść jedynie do warunków klimatycznych, agrotechnicznych, a w szczególności ekonomicznych panujących w tym kraju.

Słoma kukurydziana to nie tylko rozdrobnione łodygi, ale także leżące na powierzchni pola liście, rdzenie kolbowe oraz liście okrywowe kolb (Dubas, 1981). Prawdopodobnie, dlatego dotychczas nie ma naukowo zweryfikowanych metod zbioru słomy kukurydzianej.

Drugą tego przyczyną może być agrotechniczny termin zbioru resztek poźniwnych kukurydzy przypadający późną jesienią, co jest związane z ich dużą wilgotnością, która wynosi ok. 50% (Niedziółka i in., 2007; Przybył i in., 2013; Shineers i in., 2007) i może ulegać pewnym wahaniom ze względu na termin zbioru, warunki pogodowe oraz typ mieszańca (Styszko i Majewski, 2010). Według Watson'a i Mash'a (1971) bezpieczne przechowywanie materiału roślinnego bez ryzyka jego zapleśnienia gwarantuje wilgotność poniżej 10%. W praktyce przyjęło się, że materiały objętościowe takie, jak siano czy słoma, przeznaczone do przechowywania powinny zawierać nie więcej niż 20% wody (Gieroba i in. 1995, Smith in. 2020). Oznacza to, że słoma kukurydziana w warunkach naszego kraju nie może być składowana tak, jak słoma innych zbóż. Uniknięcie strat wymaga zastosowanie procesu konserwacji, np. dosuszenia albo zakiszenia.

4.2.3. Sformułowanie problemu naukowego

Podstawową trudnością w wykorzystaniu słomy kukurydzianej jako substratu do produkcji biogazu jest jej możliwie pełne zebranie (po zbiorze ziarna kukurydzy), a następnie długoterminowe przechowywanie. Brak naukowych opracowań dotyczących zbioru, składowania i przechowywania słomy kukurydzianej w literaturze z zakresu inżynierii rolniczej, która obecnie stanowi integralną część dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, identyfikuje obszar niewiedzy, który wyznacza problem naukowy. W celu jego rozwiązania sformułowano następujący problem badawczy:

Czy możliwe jest efektywne zebranie resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy przy wykorzystaniu standardowych maszyn do zbioru zielonek oraz ich długoterminowe przechowanie w taki sposób, aby stanowiły wartościowy substrat do produkcji biogazu?

Rozwiązanie tak sformułowanego problemu naukowego wymagało weryfikacji następującej hipotezy:

Istnieje techniczna i technologiczna możliwość efektywnego zebranie wilgotnych resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy z wykorzystaniem standardowych maszyn do zbioru zielonek oraz jej długoterminowe przechowanie w taki sposób, aby stanowiła wartościowy substrat do produkcji biogazu.

4.2.4. Cel i zakres badań

Celem badań było opracowanie technologii efektywnego zebrania resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy z wykorzystaniem istniejącej techniki oraz ich długoterminowego przechowania z przeznaczeniem do produkcji biogazu.

Realizacja przyjętego celu badań obejmowała następujący zakres zadań:

1. Analizę możliwości wykorzystania standardowych maszyn i linii technologicznych, stosowanych do zbioru zielonek i innych materiałów objętościowych do zbioru resztek poźniwnych kukurydzy.
2. Analizę technologii długoterminowego przechowywania wilgotnych resztek poźniwnych kukurydzy przeznaczonych na substrat do produkcji biogazu.
3. Opracowanie parametrów procesu fermentacji metanowej oraz przeprowadzenie fermentacji zakiszonej słomy kukurydzianej w biogazowni rolniczej.
4. Opracowanie autorskiego rozwiązania technicznego, zwiększającego efektywność zbioru resztek poźniwnych kukurydzy.
5. Opracowanie autorskiej technologii zbioru oraz procesu składowania słomy kukurydzianej przeznaczonej do produkcji biogazu oraz jej energetyczna ocena.

4.2.5. Opis procesu badawczego

Resztki poźniwne kukurydzy mają bardzo duży potencjał jako źródło biomasy przeznaczonej na substrat do biogazowni. Jednak agrotechniczny termin ich zbioru przypada późną jesienią, kiedy temperatura powietrza zmniejsza się, a jego wilgotność się zwiększa. Powoduje to trudności technologiczne w zbiorze tej biomasy oraz trudności w jej długoterminowym przechowaniu, ponieważ wilgotność słomy kukurydzianej znacznie przekracza 20%. Duża wilgotność wiąże się z dużym udziałem zanieczyszczeń mineralnych. W literaturze brakuje danych dotyczących technologii zbioru i długoterminowego przechowania resztek po zbiorze ziarna kukurydzy. Nie ma również rozwiązania technicznego dedykowanego do zbioru resztek poźniwnych kukurydzy lub poprawiającego efektywność jej zbioru.

Zatem odpowiadając na zidentyfikowane braki wiedzy, technologii i techniki podjęto proces badawczy, którego celem było opracowanie technologii efektywnego zebrania wilgotnych resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy z wykorzystaniem istniejącej techniki oraz ich długoterminowego przechowania z przeznaczeniem do produkcji biogazu.

Do procesu badawczego wybrano standardowe maszyny do zbioru zielonek wyposażone w zespoły tnące, tzn. przyczepę zbierającą i sieczkarnię polową oraz powszechnie stosowaną prasę zwijającą bez zespołu tnącego. Na podstawie przeprowadzonej analizy konserwacji produktów objętościowych przyjęto, że zebrana słoma kukurydziana będzie przechowywana metodą zakiszenia w pryzmie polowej, silosie elastycznym oraz w belach cylindrycznych owiniętych folią.

Przechowywanie w wymienionych formach wymagało prasy silosującej, ładującej rozdrobnioną słomę kukurydzianą do silosu elastycznego oraz zaangażowania owijkarki do owinięcia bel cylindrycznych.

Uzyskaną kiszonkę ze słomy kukurydzianej poddano laboratoryjnym badaniom biogazodochodowości. Na podstawie wyników badań laboratoryjnych opracowano parametry procesowe i zaplanowano eksperyment weryfikujący przydatność zakiszonej słomy kukurydzianej do produkcji biogazu w kontenerowej biogazowni rolniczej, w skali technicznej. Wyniki badań wykazały, że kiszonka ze słomy kukurydzianej jest dobrym substratem do produkcji biogazu, jednak wymaga dokładnego rozdrobnienia na krótkie odcinki.

Analiza efektywności technologii zbioru, przechowywania wykazała, że sieczkarnia polowa umożliwia zbiór słomy kukurydzianej bez zanieczyszczeń i najdokładniej ją rozdrabnia. Jednak sieczkarnia charakteryzowała się największymi stratami mechanicznymi, co umożliwiało zebranie jedynie 50% dostępnej na polu biomasy. Było to w głównej mierze spowodowane przez przygniatanie części biomasy kołami kombajnu do zbioru ziarna kukurydzy. Na tej podstawie podjęto prace w celu opracowania koncepcji rozwiązania technicznego zmniejszającego straty mechaniczne sieczkarni podczas zbioru resztek poźniwnych kukurydzy. Opracowano oryginalny, autorski sposób i urządzenie przygotowujące do zbioru resztki poźniwne po zbiorze kukurydzy na ziarno. Przeprowadzono badania autorskiego rozwiązania technicznego, których wyniki potwierdziły jego działanie oraz wykazały, że zwiększa to efektywność zbioru resztek poźniwnych kukurydzy z 50,3 do 88%.

Uwzględniając wszystkie przeprowadzone analizy i wyniki otrzymane w procesie badawczym opracowano autorską technologię zbioru i przechowywania słomy kukurydzianej przeznaczonej do produkcji biogazu oraz przeprowadzono jej energetyczną ocenę. Sformułowano również zalecenia technologiczne i wytyczne dla zbioru słomy kukurydzianej i jej przetwarzania w wartościowy substrat do biogazowni.

Wynikiem przeprowadzonego procesu badawczego było pozytywne potwierdzenie przyjętej hipotezy, a tym samym rozwiązanie postawionego problemu badawczego.

4.2.6. Omówienie przeprowadzonych badań i ich rezultatów

4.2.6.1. Analiza możliwości wykorzystania standardowych maszyn i linii technologicznych stosowanych do zbioru zielonek i innych materiałów objętościowych do zbioru wilgotnych resztek późniwnych kukurydzy

Podstawowym wymaganiem stawianym substratom do produkcji biogazu jest ich rozdrobnienie. Mniejsze cząstki substratu przyspieszają rozkład jego materii organicznej, czyli skracają czas przebywania porcji substratu w komorze fermentacyjnej biogazowni. Dlatego z technologicznego punktu widzenia najlepiej do zbioru słomy kukurydzianej wykorzystać maszyny, które są wyposażone w układ tnący. **Dlatego celem pierwszego zadania (praca A1) była analiza możliwości wykorzystania standardowych maszyn i linii technologicznych stosowanych do zbioru zielonek i innych materiałów objętościowych do zbioru wilgotnych resztek późniwnych kukurydzy.**

Zakres pierwszego zadania obejmował przeprowadzenie badań eksploatacyjnych, na podstawie których określono wydajność pracy maszyn, godzinowe zużycie paliwa oraz obliczono koszty eksplantacji maszyn i agregatów maszynowych. **Przeprowadzono również analizę strat mechanicznych powodowany przez maszyny podczas zbioru oraz analizę teoretycznej długości cięcia układów tnących maszyn.**

Wydajność eksploatacyjna maszyn i agregatów maszynowych jest najbardziej miarodajna i świadczy o rzeczywistych możliwościach maszyny. Podczas zbioru słomy kukurydzianej największą wydajność eksploatacyjną uzyskała przyczepa zbierająca. Przy wyładunku zebranej słomy na pryzmę wydajność eksploatacyjna przyczepy zbierającej wynosiła $2,3 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$, natomiast przy wyładunku do prasy silosującej wydajność zmniejszyła się do $1,3 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$. Różnica ta wynika z tego, że czas wyładunku z przyczepy zbierającej do prasy silosującej jest determinowany przez wydajność napełniania silosu elastycznego przez prasę. Zużycie oleju napędowego przez ciągnik zagregowany z przyczepą wynosiło $16,4 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Wydajność eksploatacyjna sieczkarni polowej podczas zbioru słomy kukurydzianej wynosiła $1,0 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$, przy zużyciu paliwa wynoszącym $30,0 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Z najmniejszą wydajnością eksploatacyjną wynoszącą $0,8 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$ i najmniejszym zużyciem paliwa, wynoszącym $12,0 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, słomę kukurydzianą zebrano zmiennokomorową prasą zwijającą.

Analiza ekonomiczna oparta na kalkulacji kosztów eksploatacji wykazała, że zbiór resztek poźniwnych kukurydzy sieczkarnią kosztuje $74,2 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$. Zbiór przyczepą kosztował $34,7 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ i $38,0 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ w zależności od procesu składowania. Koszt zbioru słomy kukurydzianej zmiennokomorową prasą zwijającą był zbliżony do kosztu zbioru przyczepą zbierającą i wynosił $38,3 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$.

Straty mechaniczne, czyli powodowane maszynami podczas zbioru, określono z ilorazu dostępnej na powierzchni pola masy słomy kukurydzianej oraz masy zebranej i wyrażono w procentach. Sieczkarnia polowa spowodowała straty mechaniczne słomy kukurydzianej wynoszące 49,7%. Przyczepa zbierająca charakteryzowała się mniejszymi stratami mechanicznymi, bo wynoszącymi 35%. Najmniej strat, bo 32,6% spowodowała prasa zwijająca.

Sieczkarnia polowa była wyposażona w bębnowy zespół tnący o średnicy bębna 630 mm i szerokości 750 mm. Na obwodzie bębna rozmieszczono 28 noży w układzie „V”, a teoretyczna długość cięcia wynosiła 20 mm. Przyczepa zbierająca była wyposażona w podbieracz palcowy o szerokości roboczej 2,0 m i ładowacz bębnowy współpracujący z zespołem tnącym z 45 nożami o teoretycznej długości cięcia 34 mm. Zmiennokomorowa prasa zwijająca nie posiadała zespołu tnącego. Słoma kukurydziana zebrana sieczkarnią polową miała średnią długość 25 mm, a układ tnący przyczepy zbierającej umożliwił rozdrobnienie na odcinki o długości od 40 do 120 mm. Słoma zebrana prasą zwijającą nie była rozdrobniona.

Z przeprowadzonych badań i analizy wynika, że sieczkarnia polowa umożliwia zebranie słomy kukurydzianej o jakości spełniającej wymagania stawiane przez instalacje do produkcji biogazu. Jednak sieczkarnia polowa spowodowała największe straty mechaniczne. Dlatego podjęto działania mające na celu ograniczenie tych strat.

4.2.6.2. Analiza możliwości długoterminowego przechowywania wilgotnych resztek poźniwnych kukurydzy przeznaczonych na substrat do produkcji biogazu

Uwzględniając wilgotność resztek poźniwnych kukurydzy, wynikającą z późnojesiennego terminu ich zbioru, przyjęto że jedyną racjonalną metodą ich długoterminowego przechowywania jest zakiszanie. Zbiór resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy z zastosowaniem różnych maszyn związany jest z ich przechowywaniem w zdefiniowany sposób, w warunkach beztlenowych. Wilgotne resztki poźniwne kukurydzy zebrane sieczkarnią polową lub przyczepą zbierającą można zakiszać w silosie elastycznym lub w przyłomie polowej, a zebrane prasą zwijającą w belach cylindrycznych

owiniętych folią. **Dlatego celem drugiego zadania (praca A2) była ocena jakości kiszonek ze słomy kukurydzianej wykonanych w pryzmie polowej, silosie elastycznym oraz w belach cylindrycznych owiniętych folią.** Dodatkowo badano, czy dodatek preparatu wspomagającego proces zakiszania wpływa na jakość kiszonki ze słomy kukurydzianej.

Kiszonki ze słomy kukurydzianej wyprodukowane w wymienionych wcześniej silosach poddano analizom w Laboratorium Katedry Żywienia Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Zakres analiz obejmował określenie zawartości kwasów organicznych (octowego, masłowego, propionowego) oraz odczynu pH. Na podstawie wartości tych parametrów przeprowadzono ocenę według skali Fliega-Zimmera, która służy do oceny jakości kiszonek w skali od złej do bardzo dobrej jakości.

Z wyników badań laboratoryjnych wynika, że słoma kukurydziana zakiszona w silosie elastycznym wg skali Fliega-Zimmera charakteryzowała się dobrą jakością. Natomiast jakość kiszonki wyprodukowanej w pryzmie polowej była słaba, a kiszona z bel cylindrycznych była złej jakości. Zaobserwowano również, że preparat wspomagający zakiszanie, zawierający szczepy bakterii kwasu mlekowego wpłynął na polepszenie jakości kiszonki ze słomy kukurydzianej.

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepszym sposobem długoterminowego przechowania słomy kukurydzianej jest jej zakiszenie w silosie elastycznym.

4.2.6.3. Opracowanie parametrów procesowych oraz sprawdzenie możliwości fermentowania zakiszonej słomy kukurydzianej w biogazowni rolniczej

Uzysk i dynamika produkcji metanu, to dwa najważniejsze wskaźniki w produkcji biogazu. Na podstawie tych wskaźników wykonuje się projekt oraz ekonomiczną ocenę biogazowni (Li i in. 2016). Wskaźniki te określone są na podstawie standardowych badań laboratoryjnych biogazdochodowości (Adl i in. 2012). W literaturze dostępne są wyniki laboratoryjnych badań porównania fermentacji mezo- i termofilnej słomy kukurydzianej (Cieślik i in. 2016), wydajności biogazu z zakiszonej słomy kukurydzianej (Przybył i in. 2013), wydajności biogazowej elementów struktury plonu słomy kukurydzianej (Menardo i in. 2015, Wojcieszak i in. 2020), wpływu obróbki wstępnej na wydajność biogazu słomy kukurydzianej (Zhou i in. 2012), wydajności biogazowej mieszanek słomy kukurydzianej i pomiotu kurzego (Li in. 2013) oraz prace dotyczące hydrolizy słomy kukurydzianej (Li i in. 2016). **Brakuje natomiast danych dotyczących**

ciągłej fermentacji metanowej słomy kukurydzianej w pełnej skali (w biogazowni). Dlatego celem trzeciego zadania (praca A3) było wyznaczenie parametrów procesowych oraz sprawdzenie możliwości fermentowania zakiszonej słomy kukurydzianej w biogazowni rolniczej. Zadanie trzecie zrealizowano w dwóch etapach. Pierwszy obejmował laboratoryjne badania właściwości fizycznych i biogazodochodowości zakiszonych resztek poźniwnych kukurydzy. W drugim etapie, na podstawie wyników badań laboratoryjnych, określono parametry pracy biogazowni oraz zaplanowano i przeprowadzono eksperyment w skali technicznej.

Pierwszy etap badań wydajności biogazowej kiszonki ze słomy kukurydzianej zostały przeprowadzone w Laboratorium Badawczym Technologii i Biosystemów Rolniczych Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Poznaniu. Zastosowano akredytowaną metodę statycznej fermentacji biogazowej (PCA/ILAC-MRA) w oparciu o normę DIN 38414 cz. 8. Stanowisko badawcze było wyposażone w termostatowany zestaw dziewięciu eudiometrów. Mieszanina fermentacyjna składała się z 360 ± 1 g inokulatu zawierającego szczepy bakterii fermentacji metanowej i 20 ± 1 g próbki badanej kiszonki z resztek poźniwnych kukurydzy. Udział próbki w mieszaninie fermentacyjnej wynosił 5%. Próbkę kiszonki ze słomy kukurydzianej przed fermentacją rozdrobniono na odcinki o długości 20-30 mm i ujednolicono. Podczas rozdrabniania kiszonka nie kruszyła się, a po rozdrobnieniu mieszanina była średnio jednorodna.

Po trzech tygodniach fermentacji skumulowana produkcja biogazu z zakiszonej słomy kukurydzianej wynosiła $292,49 \text{ Nm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m.o, a z gnojowicy krów - $283,33 \text{ Nm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m.o. Biogaz uzyskany z zakiszonej słomy kukurydzianej zawierał 48,6% metanu oraz 49,9% dwutlenku węgla. Duża zawartość dwutlenku węgla w biogazie wpływa na obniżenie wartości opałowej oraz zwolnienie tempa spalania biogazu. Jednak duży udział dwutlenku węgla w biogazie może ograniczać emisję NO_x z jego spalania (Qian i in. 2017). W wytworzonym biogazie zaobserwowano również niską zawartość amoniaku oraz niskie stężenie dwutlenku siarki.

Drugi etap badań przeprowadzono w stali technicznej, w kontenerowej biogazowni rolniczej. Zbilansowaną mieszaninę fermentacyjną przygotowano na bazie gnojowicy krów mlecznych i kiszonki ze słomy kukurydzy w oparciu o parametry technologiczne substratów oznaczone w badaniach laboratoryjnych. Kontenerowa biogazownia rolnicza była zbudowana z: komory fermentacyjnej o całkowitej objętości 36 m^3 , nabudowanego elastycznego zbiornika biogazu o pojemności 12 m^3 , dozownika substratów stałych o pojemności 3 m^3 , przeznaczonego do dozowania kiszonki za pomocą kaskady

przenośników ślimakowych. Osobną część biogazowni stanowiły: zbiornik z pompą na gnojowicę o pojemności 10 m³, zbiornik na poferment o pojemności 5 m³ oraz jednostka kogeneracyjną o mocy 10 kW energii elektrycznej. Komora fermentacyjna biogazowni wykonana była z blachy nierdzewnej. Wewnątrz komory znajdują się mieszadła łopatkowe na ogrzewanym poziomym wale. Biogazownia wyposażona była w układ ogrzewania cieczowego w formie podłużnych rynien pod wysklepionym dnem komory fermentacyjnej. Całość była izolowana warstwą wełny mineralnej i wykończona płytą warstwową. Układ sterowniczy biogazowni pozwalał na pracę w systemie ciągłym automatycznym przy zadanych parametrach technologicznych lub w trybie ręcznym.

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono parametry procesu produkcji biogazu w kontenerowej biogazowni rolniczej. Kiszonka ze słomy kukurydzianej charakteryzowała się wysoką zawartością suchej masy wynoszącą 61.11%, co wpłynęło na jej mały udział w mieszance fermentacyjnej. Utrzymanie 12% obciążenia mieszaniny fermentacyjnej oraz obciążenia objętościowego (BR) na poziomie 3,62 kg s.m.o.·m⁻³·dzień⁻¹ w komorze fermentacyjnej zapewniało wprowadzanie raz na dobę 3,3 t gnojowicy krów i 109,3 kg zakiszonej słomy kukurydzianej, co stanowiło mieszanekę substratów w proporcji 9:1. Po 8 godzinach od wprowadzenia mieszanek substratów, wypompowywano 1,02 t pofermentu.

Dla zapewnienia ciągłej pracy kontenerowej biogazowni rolniczej przez miesiąc, należało zapewnić 3,33 t zakiszonej słomy kukurydzianej i 32,50 t gnojowicy.

Podczas 30-dniowego procesu fermentacji w kontenerowej biogazowni rolniczej, nie odnotowano istotnych wahań analizowanych parametrów, a proces przebiegał w sposób stabilny. Dobowe uzyski biogazu były takie same, a stężenia gazów w biogazie były wyrównane.

Uzyskane wyniki wydajności biogazu z mieszaniny gnojowicy krów i zakiszonej słomy kukurydzianej w stosunku 9:1 były zbliżone do obliczeń teoretycznych, w których określono wartość 1150,6 m³ biogazu na rok o 52,25% zawartości metanu. W badaniach dziennie uzyskiwano 28,71 m³ biogazu o zawartości metanu 54%, czyli stanowiło to 15,50 m³ metanu na dzień. Roczny uzysk biogazu z badanych substratów wynosiłby 10 480,6 m³. Rzeczywiste roczne zapotrzebowanie na substraty dla ciągłej pracy biogazowni kontenerowej wynosiło by 390 t gnojowicy krów i 40 t zakiszonej słomy kukurydzianej.

4.2.6.4. Opracowanie autorskiego rozwiązania technicznego zwiększającego efektywność zbioru resztek poźniwnych kukurydzy

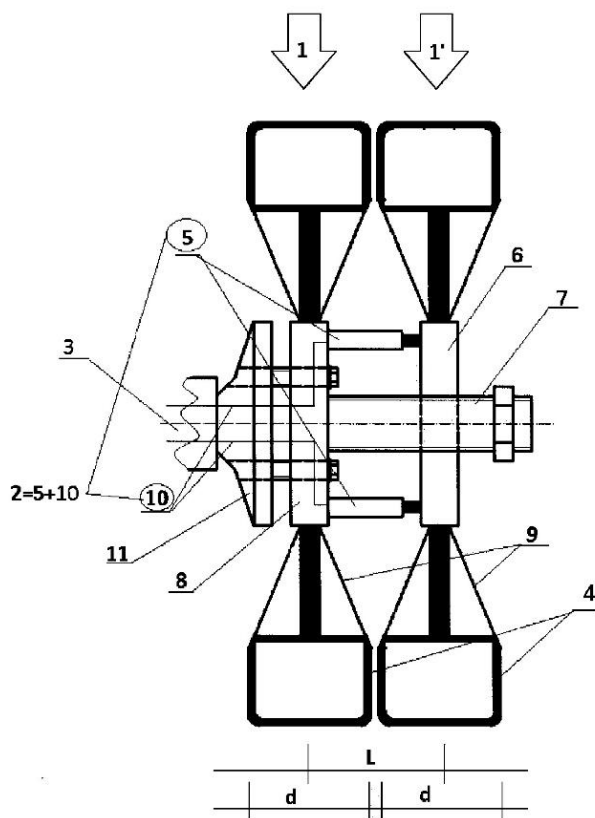
Przedstawione wcześniej w rozdziałach 4.2.6.1 i 4.2.6.2 wyniki badań wskazują, że resztki poźniwne kukurydzy przeznaczone na substrat do biogazowni najkorzystniej było zebrać sieczkarnią polewą, ponieważ są pocięta na najkrótsze odcinki. Jednak sieczkarnia polowa powodowała największe straty mechaniczne podczas zbioru, wynoszące 49,7%. Straty te były powodowane przez to, że przednie koła kombajnów podczas zbioru ziarna kukurydzy przygniatają dwa rzędy roślin kukurydzy do gleby. Uniemożliwiało to podebranie roślin oraz zebranie zespołem żniwnym sieczkarni łodyg i liści tych przygnięconych roślin, co jest problemem technicznym i technologicznym.

Dlatego celem zadania czwartego było opracowanie rozwiązania technicznego umożliwiającego zmniejszenie strat mechanicznych podczas zbioru resztek poźniwnych kukurydzy po zbiorze ziarna sieczkarnią polową.

Cel zadania czwartego zrealizowano opracowując autorskie rozwiązanie techniczne (patent A4) pt. „*Sposób i urządzenie przygotowujące do zbioru resztki poźniwne po zbiorze kukurydzy na ziarno*”, nr Pat.235790.

Sposób przygotowania do zbioru resztek poźniwnych po zbiorze kukurydzy na ziarno według autorskiego rozwiązania prowadzi się tak, że w kombajnie do zbioru ziarna kukurydzy współpracującym z zespołem żniwnym do obrywania kolb, w którym zespół rozdrabniający łodygi jest wyłączony modyfikuje się koła przedniej osi. Modyfikacja polega na tym, że montuje się na przedniej osi kombajnu koła bliźniacze, których odległość względem siebie można regulować, a następnie prowadzi się zbiór kolb kukurydzy, zostawiając złamane łodygi roślin na polu tak, że nie kontaktują się z glebą. Pozostałości po omłocie kolb, czyli rdzenie i liście okrywowe kolb wypadają z kombajnu i zawieszają się na złamanych łodygach kukurydzy, przez to nie mają kontaktu z glebą. Tak przygotowane resztki po zbiorze ziarna kukurydzy zbierane są sieczkarnią polową z rzędowym lub bezrzędowym zespołem żniwnym.

Autorskie rozwiązanie techniczne zwiększające efektywność zbioru resztek poźniwnych kukurydzy, to kombajn wyposażony w zespół żniwny do zbioru ziarna kukurydzy z wyłączonym zespołem rozdrabniającym, w którym na przedniej osi zamontowano koła bliźniacze, których odległość względem siebie można regulować (ryc. 5).



Ryc. 5. Schemat budowy systemu kół bliźniaczych w urządzeniu przygotowującym do zbioru resztek poźniwnych kukurydzy: 1 – koło wewnętrzne, 1' – koło zewnętrzne, 2 – układ regulujący odległość pomiędzy osiami kół, 3 – piasta osi, 4 – opony kół, 5 – siłowniki, 6 – felga z wzmocnioną gwiazdą koła zewnętrznego, 7 – sworzeń odsadczy, 8 – felga z wzmocnioną gwiazdą koła zewnętrznego, 9 – osłony zabezpieczające gwiazdy felg, 10 – układ doprowadzający medium robocze do siłowników, 11 – układ odbierający medium robocze do siłowników

Schemat budowy systemu kół bliźniaczych wg autorskiego rozwiązania zaprezentowano na ryc. 1. Odległość pomiędzy kołami bliźniaczymi umieszczonych na przedniej osi kombajnu (1 i 1') jest regulowana hydraulicznie lub pneumatycznie, a zakres regulacji stanowi wielokrotność odległości pomiędzy rzędami kukurydzy, czyli 70 +/- 5 cm, natomiast szerokość każdej opony jest nie większa niż 500 mm i nie mniejsza niż 400 mm. Koła umieszczone po jednej strony osi przedniej zamontowane są na dystansujących je wzajemnie siłownikach hydraulicznych lub pneumatycznych o długości nie mniejszej niż 700 mm i nie większej niż 800 mm. Koła bliźniacze (1 i 1') składają się z felgi koła zewnętrznego, która wyposażona jest w umieszczony osiowo sworzeń odsadczy (7) połączony z wzmocnioną gwiazdą felgi (8), która przykręcona jest za pomocą śrub do piasty osi (3) kombajnu. Na wewnętrznej feldze (8) znajdują się siłowniki elektryczne (5) do zmiany odległości między kołami bliźniaczymi (1 i 1'). Felga (6) z wzmocnioną gwiazdą

koła zewnętrznego (1') założona jest na sworzeń osadczy (7) będący częścią wewnętrznej felgi (8) kół bliźniaczych (1 i 1'), a na sworzniu osadczym (7) wytworzone są frezy prowadzące. Felga koła zewnętrznego (6) połączona jest z felgą koła wewnętrznego (8) za pomocą siłowników (5) o zmiennej długości, które zmieniają odległość pomiędzy zamontowanymi po jednej stronie kombajnu kołami bliźniaczymi (1 i 1') w zakresie 70 +/- 5 cm. Gwiazdy felg koła wewnętrznego (1) i zewnętrznego (1') przykryte są osłonami zabezpieczającymi (9) o stożkowym kształcie, które zapobiegają gromadzeniu się ziemi oraz błota w obręczach felg. Medium robocze do pracy siłowników (5) dostarczane jest poprzez układ dolotowy (10) i odbiorczy zabudowany w piaście (11) kombajnu oraz gwieździe bliźniaczego koła wewnętrznego (1).

Weryfikację skuteczności działania opracowanego rozwiązania technicznego przeprowadzono podczas badań polowych. Zakres tych badań obejmował porównanie strat mechanicznych podczas zbioru resztek poźniwnych siewkarnią polową po zbiorze ziarna kukurydzy kombajnem ze standardowym układem kół przedniej osi oraz z układem według opracowanego rozwiązania (Pat.235790).

Zbiór resztek poźniwnych siewkarnią polową, po zbiorze ziarna kukurydzy kombajnem ze standardowym układem kół przedniej osi, powodował 50% straty mechaniczne. Natomiast zastosowanie autorskiego rozwiązania technicznego w kombajnie, zmniejszyło straty mechaniczne podczas zbioru resztek poźniwnych kukurydzy do 12%. Na tej podstawie stwierdzono, że opracowane rozwiązanie zwiększa skuteczność zbioru z 50 do 88%. Potwierdza to zrealizowanie celu czwartego zadania.

4.2.6.5. Opracowanie autorskiej technologii zbioru i przechowywania słomy kukurydzianej przeznaczonej do produkcji biogazu oraz jej energetyczną ocenę

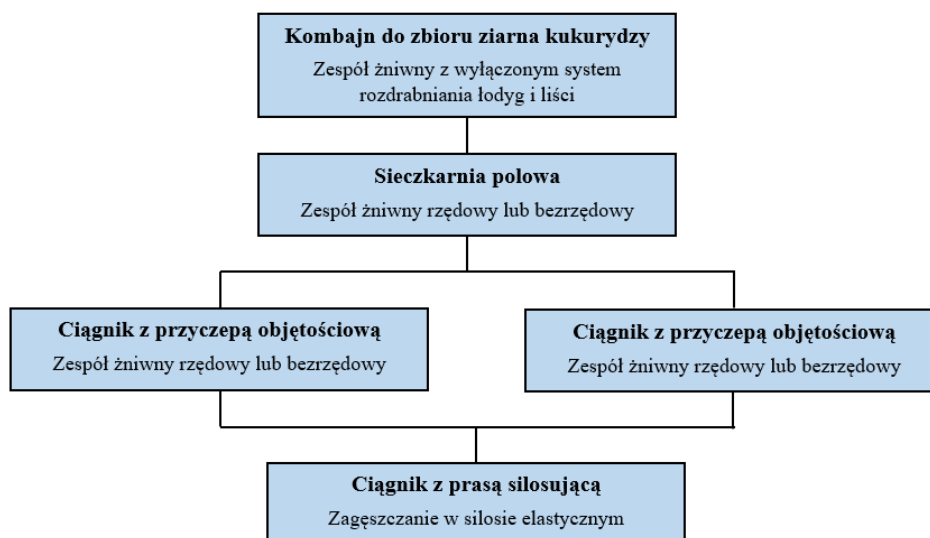
Zaprezentowane wcześniej wyniki badań, analiz oraz patent rozwiązywały jedynie cząstkowe problemy technologiczne i techniczne zbioru i przechowywania wilgotnych resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy. Nie rozwiązują one jednak w kompleksowy sposób zidentyfikowanego w tym osiągnięciu problemu badawczego. **Dlatego celem zadania piątego (praca A5) było opracowanie efektywnej technologii zbioru i długoterminowego przechowywania wilgotnych resztek poźniwnych kukurydzy, które będą wartościowym substratem do produkcji biogazu.**

Zakres zadania piątego obejmował opracowanie technologii zbioru słomy kukurydzianej z wykorzystaniem standardowych maszyn rolniczych do zbioru zielonek, weryfikację skuteczności opracowanej technologii podczas badań polowych oraz jej ocenę energetyczną na podstawie wyników tych badań. Określono również emisję gazów cieplarnianych z produkcji energii w biogazowni zasilanej resztkami poźniwnymi kukurydzy zebranymi opracowaną technologią.

Uwzględniając przeprowadzoną analizę literatury oraz wyniki przeprowadzonych badań przyjęto następujące ogólne założenia dla technologii zbioru i długoterminowego przechowania wilgotnych resztek poźniwny kukurydzy:

- Zbiór resztek poźniwnych będzie prowadzony po zbiorze ziarna kukurydzy kombajnem wyposażonym w zespół żniwny do obrywania kolb z możliwością wyłączenia systemu rozdrabniania łodyg i liści roślin kukurydzy. Umożliwi to pozostawienie łodyg kukurydzy złamanych w miejscu ich wciągnięcia przez wałki obrywające kolb, bez kontaktu z powierzchnią pola.
- Zbiór resztek poźniwnych będzie przeprowadzony maszyną rolniczą z systemem tnącym umożliwiającym pocięcie materiału na odcinki o długości 25 mm.
- Wilgotne resztki poźniwne kukurydzy będą przechowywane w warunkach beztlenowych, gwarantujących prawidłowy przebieg procesu zakiszania.
- Czas przechowywania rozdrobnionych resztek poźniwnych zostanie wykorzystany na biologiczną obróbkę wstępną zwiększającą ich wartość energetyczną w procesie fermentacji metanowej.

Schemat blokowy autorskiej technologii zbioru i przechowywania wilgotnych resztek poźniwnych zaprezentowano na rycinie 6. Przed zbiorem resztek poźniwnych odbywa się zbiór ziarna kombajnem z zespołem żniwnym do obrywania kolb z funkcją wyłączania zespołu rozdrabniającego łodygi i liście kukurydzy. Łodygi kukurydzy są łamane w miejscach wciągnięcia ich pomiędzy wałki obrywające kolb w zespole żniwnym. Na złamane łodygi z liści spadają, wyrzucane z zespołu młóca-co-separującego kombajnu, rdzenie i liście okrywowe kolb. Tak przygotowane resztki poźniwne zbierane są sieczkarnią polową wyposażoną w rzędową lub bezrzędową przystawkę do zbioru całych roślin kukurydzy. Ciągłość pracy sieczkarni jest możliwa dzięki dwóm zestawom transportowym, poruszającym się w układzie równoległym z sieczkarnią. Zestawy transportowe odwożą zebrane resztki poźniwne kukurydzy do prasy silosującej, która ładuje je i zagęszcza w silosie elastycznym.



Ryc. 6. Schemat blokowy autorskiej technologii zbioru i przechowywania resztek poźniwnych kukurydzy

Opracowaną technologię zweryfikowano w warunkach technicznych, podczas eksperymentu polowego w Gospodarstwie Nasiennym Rolnym BOVINAS Sp. z o.o. w Chodowie. Ziarno kukurydzy odmiany Ambrosini firmy KWS o liczbie FAO 220 typu stay green zebrano kombajnem do zbioru zbóż Claas Lexion 580 z zespołem żniwnym Dominoni SL 968, który obrywał kolby, ale nie rozdrabniał łodyg. Obsada roślin przed zbiorem wynosiła 94,8 tys. roślin·ha⁻¹. Struktura plonu kukurydzy przedstawiała się następująco: 61% kolby, 24% łodygi, 15% liście i 8% liście okrywowe kolb. Plon ziarna o wilgotności 36% wynosił 12 t·ha⁻¹. Zbierana biomasa zawierała 33% s.m. (suchej masy). Średni plon świeżej masy słomy kukurydzianej wynosił 36,1 t·ha⁻¹, co stanowiło 11,9 t·ha⁻¹ suchej masy.

Słomę kukurydzianą zebrano sieczkarnią polową Claas Jaguar 830, wyposażoną w 6-rzędowy adapter (M 6) do zbioru całych roślin kukurydzy. Nastawiona teoretyczna długość cięcia sieczkarni wynosiła 20 mm. Zebraną i rozdrobnioną biomasę transportowano zestawami złożonymi z ciągników i przyczep objętościowych o pojemności 10 m³. Słoma została zakiszona w silosie elastycznym prasą silosującą Annaburger G7000.

Wydajność pracy maszyn określono metodą chronometrażu. Na podstawie zarejestrowanych czasów trwania czynności technologicznych obliczono, że wydajność eksploatacyjna sieczkarni polowej podczas zbioru słomy kukurydzianej wynosi 1 ha·h⁻¹, a do utrzymania ciągłości jej pracy potrzebne były 3 zestawy transportowe. Ze względu na to, że sieczkarnia była maszyną wiodącą, przyjęto że wydajność eksploatacyjna całej technologii wynosiła 1 ha·h⁻¹.

Zebraną wilgotną słomę kukurydzianą zakiszono czterema metodami: z preparatem wspomagającym zakiszanie zawierającym bakterie szczepu *Lactobacillus plantarum*, z preparatem wspomagającym zakiszanie, w którym substancjami aktywnymi był benzoesan sodu, kwas propionowy i propionit sodu, z preparatem wspomagającym zakiszanie zawierającym bakterie kwasu mlekowego szczepu *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus Buchneri* oraz bez preparatu wspomagającego zakiszanie.

Metodę zakiszania oceniono ilością uzyskanego metanu z kiszonki ze słomy kukurydzianej. Największą wydajność metanu, wynoszącą $229,3 \text{ Nm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m. uzyskano ze słomy kukurydzianej zakiszonej z preparatem zawierającym bakterie kwasu mlekowego szczepu *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus Buchneri*.

W celu obliczenia rzeczywistych nakładów energetycznych na zbiór i zakiszanie słomy kukurydzianej różnymi metodami uwzględniono wszystkie strumienie skumulowanych nakładów energii. Obejmowały one skumulowaną energię maszyn i ciągników, energię pracy ludzi, energię preparatów wspomagających zakiszanie i silosu elastycznego (folii). Całkowity nakład energii na produkcję kiszonki ze słomy kukurydzianej wynosił od $1009,9$ do $1095,1 \text{ MJ} \cdot \text{t}^{-1}$ s.m., w zależności od metody zakiszania.

Wartość energetyczna kiszonek została oceniona wskaźnikiem E_{CSS} energii wytworzonej podczas kogeneracji metanu uzyskanego z kiszonek. Przyjęty wskaźnik jest sumą energii elektrycznej i ciepła uzyskanych z kogeneracji metanu z 1 t s.m. zakiszonej słomy kukurydzianej. Na tej podstawie określono, że 1 t s.m. słomy kukurydzianej zakiszonej naturalnie uzyskano najmniej, bo $5,2 \text{ GJ}$ energii. Największą wartość energetyczną, wynoszącą $6,5 \text{ GJ} \cdot \text{t}^{-1}$ s.m. miała kiszonka wyprodukowana z dodatkiem preparatu zawierającego szczepy *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus Buchneri* bakterii kwasu mlekowego. Wartość energetyczna kiszonki z preparatem na bazie benzoesanu sodu, kwasu propionowego i propionitu sodu wynosiła $6,2 \text{ GJ} \cdot \text{t}^{-1}$ s.m.

Zakres zadania piątego obejmował również obliczenie ekwiwalentu emisji dwutlenku węgla I_{GHG} produkcji kiszonek ze słomy kukurydzianej różnymi metodami. Największy ekwiwalent emisji CO_2 , wynoszący $145,2 \text{ kgCO}_2 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m., stwierdzono dla produkcji kiszonki ze słomy kukurydzianej z preparatem wspomagającym zakiszanie opartym na kwasie propionowym. Natomiast najmniejszy ekwiwalent, wynoszący $123,9 \text{ kgCO}_2 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m. określono dla kiszonki wyprodukowanej w sposób naturalny.

Ekwiwalent emisji dwutlenku węgla I_{GHG} odniesiono do całkowitej wartości energetycznej kiszonek E_{CSS} . W ten sposób wyznaczono całkowitą emisję dwutlenku węgla

T_{CO_2e} przypadającą na 1 GJ potencjału energetycznego słomy kukurydzianej zakiszzonej w różny sposób.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że najmniejszą emisję dwutlenku węgla wynoszącą $19,2 \text{ kg CO}_2 \cdot \text{GJ}^{-1}$ uzyskano wytwarzając energię z resztek poźniwnych zebranych opracowaną technologią i zakiszonych z preparatem zawierającym bakterie kwasu mlekowego szczepu *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus Buchneri*.

Wyniki badań uzyskane w ramach realizacji zadania piątego wskazują, że istnieje techniczna i technologiczna możliwość efektywnego zbioru i długoterminowego przechowania resztek poźniwnych po zbiorze ziarna kukurydzy, które mogą być wartościowym substratem dla biogazowni.

4.2.6.5. Podsumowanie i zalecenia technologiczne

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań i analiz można stwierdzić, że postawiona hipoteza została zweryfikowana pozytywnie. Tym samym postawiony problem badawczy został rozwiązany, a wyznaczony obszar niewiedzy naukowej jest uzupełniony.

Uwzględniając powyższe, sformułowano następujące wnioski, które są również zaleceniami i wytycznymi technologicznymi:

- Wilgotne resztki poźniwne po zbiorze ziarna kukurydzy najkorzystniej jest zebrać sieczkarnią polową, bo jej system tnący umożliwia uzyskanie najkrótszych odcinków, a przez to przyspiesza proces fermentacji mlekowej.
- Zastosowanie opracowanego sposobu i urządzenia przygotowującego do zbioru resztki poźniwne po zbiorze ziarna kukurydzy istotnie ogranicza straty mechaniczne powodowane przez sieczkarnię polową.
- Najkorzystniej jest przechowywać resztki poźniwne w silosie elastycznym, ponieważ ta metoda przechowywania gwarantuje uzyskanie kiszonki najlepszej jakości.
- Aplikacja preparatu wspomagającego zakiszanie zawierającego bakterie kwasu mlekowego szczepu *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus* do słomy kukurydzianej przechowywanej w silosie elastycznym zwiększa uzysk biogazu i metanu, czyli spełnia funkcję obróbki wstępnej.
- Zakiszona słoma kukurydziana może uzupełniać bazę surowcową biogazowni rolniczych i charakteryzuje się dobrym uzyskiem biogazu.

4.2.6.6. Literatura

- Dubas A. 1981. *Kukurydza w gospodarstwie wielkoobszarowym*. PWRiL, Warszawa.
- Capros P., Zazias G., Evangelopoulou S., Kannavou M., Fotiou T., Siskos P., De Vita A., Sakellaris K. 2019. *Energy-system modelling of the EU strategy towards climate-neutrality*. Energy Policy, 134, 110960.
- Cieślak M., Dach J., Lewicki A., Smurżyńska A., Janczak D., Pawlicka-Kaczorowska J., Bonieki P., Cyplik P., Czekąła W., Jóźwiakowski K. 2016. *Methane fermentation of the maize straw silage under meso- and thermophilic conditions*. Energy 115, 1495-1502.
- Czekąła W., Lewicki A., Pochwatka P., Czekąła A., Wojcieszak D., Jóźwiakowski K., Waliszewska H. 2020. *Digestate management in Polish farms as an element of the nutrient cycle*. Journal of Cleaner Production 242, art. 118454.
- FAO Statistic (2024). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pobrano z <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Feng W., Wang T., Yang F., Cen R., Liao H., Qu Z. 2023. *Effects of biochar on soil evaporation and moisture content and the associated mechanisms*. Environmental Sciences Europe 35, 66.
- Gieroba J., Nowak J., Sawa J. 1995. *Alternatywne technologie zbioru siana*. Postęp Nauk Rolniczych 42(2): 103-115.
- Ignaciuk A., Vohringer F., Ruijs A., Ierland E.C. 2006. *Competition between biomass and food production in the presence of energy policies: a partial equilibrium analysis*. Energy Policy 34(10), 1127–1138.
- Johansson E., Prade T., Angelidaki I., Svensson S.-E., Newson W., Gunnarsson I., Hovmalm H. 2015. *Economically viable components from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) in a biorefinery concept*. International Journal of Molecular Sciences 16 (4), 8997–9016.
- Menardo S., Airoidi G., Cacciatore V., Balsari P. 2015. *Potential biogas and methane yield of maize stover fractions and evaluation of some possible stover harvest chains*. Biosystems Engineering 129, 352-359.
- Muneer F., Hovmalm H.P., Svensson S.E., Newson W.R., Johansson E., Prade T. 2021. *Economic viability of protein concentrate production from green biomass of intermediate crops: a pre-feasibility study*. Journal of Cleaner Production 294, 126304.
- Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A. 2007. *Ocena właściwości energetycznych i mechanicznych brykietów z masy późniejszej kukurydzy*. Inżynieria Rolnicza, 7(95), 153-159.
- Przybył J., Kot W., Wojcieszka D., Mioduszevska N., Durczak K.. 2013. *Biogas yield of maize straw*. Agricultural Engineering 148(2), 103-111.
- Shinners, K.J., Binversie, B.N., Muck, R.E., Weimer, P.J. 2007. *Comparison of wet and dry corn stover harvest and storage*. Biomass and Bioenergy 31(4), 211–221.
- Smith W.A., Wendt L.M., Bonner I.J., Murphy J.A. 2020. *Effects of storage moisture content on corn stover biomass stability, composition, and conversion efficacy*. Frontier Bioengineering and Biotechnology 8, 716.

Styszko L., Majewski A. 2010. *Słoma kukurydziana jako surowiec do produkcji biogazu*. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. Rocznik Ochrona Środowiska, 12, 191-206.

Svensson S.E., Johansson E., Kreuger E., Prade T. 2025. *Evaluating intermediate crops for biogas production – Effects of nitrogen fertilization and harvest timing on biomass yield, methane output and economic viability*. Biomass and Bioenergy 192, 107497.

Tjutju N.A.S., Ammenberg J., Lindfors A. 2024. *Biogas potential studies: a review of their scope, approach, and relevance*. Renewable Sustainable Energy Review 201, 114631,

Vergote, T.L.I., Bodé, S., De Dobbelaere, A.E.J., Buysse, J., Meers, E., Volcke, E.I.P., 2020. *Monitoring methane and nitrous oxide emissions from digestate storage following manure mono-digestion*. Biosystems Engineering 196, 159–171.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Moja aktywność naukowa obejmuje wizyty naukowe i staże naukowe, podczas których prowadziłem badania naukowe. Efektami tych działań były publikacje w recenzowanych czasopismach naukowych. Uczestniczyłem również w realizacji projektu naukowego, finansowanego przez NCBiR, poza macierzystym Uniwersytetem, którego efektem były publikacje w recenzowanych czasopismach, recenzowane materiały z konferencji międzynarodowych oraz zgłoszenia patentowe i patenty.

5.1. Aktywność naukowa w zagranicznych instytucjach naukowych

Po uzyskaniu stopnia doktora w 2022 r. nawiązałem współpracę z Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy, Department Agromechatronics, Poczdam, Niemcy. Efektem nawiązanej współpracy był staż, łącznie 9 tygodni w terminach:

- 20-26 lutego 2023 r.
- 1-30 czerwca 2023 r.
- 14 sierpnia - 11 września 2023 r.

Podczas stażu kontynuowałem moje badania naukowe związane z energetycznym wykorzystaniem resztek pożywnych kukurydzy. Wynikiem prac badawczych przeprowadzonych podczas moich staży naukowych w Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy Poczdam jest recenzowana publikacja naukowa:

Wojcieszak D., Pawłowski A., Dammer K. H., Przybył J. 2023. *Chemical and energetical properties in methane fermentation of morphological parts of corn with different variety earliness standard* FAO. Agricultural Engineering 23(1): 273 – 287. (140 pkt. MEiN₂₀₂₃, indeksowany w Web of Science)

Celem badań, których wyniki przedstawiono w tej pracy, było określenie wpływu wzorca wczesności odmiany kukurydzy FAO na skład chemiczny i wartość energetyczną części morfologicznych (frakcji) roślin kukurydzy. W artykule dowiodłem, że rdzenie kolb są potencjalnie dobrym substratem do biogazowni, co wynika z ich właściwości chemicznych i energetycznych.

Po uzyskanie stopnia doktora w 2018 r. nawiązałem współpracę z International Institute of Sugar Beet Research (IIRB), której efektem był udział w dwóch seminariach sekcji Agricultural Engineering:

- 14-15 maja 2018 r. - seminarium sekcji Agricultural Engineering IIRB w Berno University of Technology w Szwajcarii.
- 20-21 maja 2025 r. - seminarium sekcji Agricultural Engineering IIRB w Institut du Rafinage de la Betterave, połączony z wizytą studyjną na Désherb'Avenir 2025 w Reims, Francja.

5.2. Aktywność naukowa w krajowych uczelniach i instytucjach naukowych

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora odbyłem dwa staże naukowe w krajowej instytucji naukowej, łącznie 14 tygodni:

- Staż naukowy w Akredytowanym Laboratorium LBMPZ w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, Oddział w Poznaniu. Termin stażu 1-30 września 2013 r.
- Staż naukowy w Akredytowanym Laboratorium LBMPZ w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, Oddział w Poznaniu. Termin stażu: 15 lutego – 30 kwietnia 2014 r.

Efektem mojej aktywności naukowej w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, Oddział Poznań jest oryginalna praca twórcza w czasopiśmie Energy:

Wojcieszak D., Przybył J., Myczko R., Myczko A. 2018. *Technological and energetic evaluation of maize stover silage for methane production on technical scale*. Energy 151: 903-912. doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.082 (45 pkt MNiSW₂₀₁₆, IF=5,737;,))

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, w 2018 r. nawiązałem współpracę z Instytutem Konstrukcji Maszyn, Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej. Efektem tej współpracy był projekt finansowany z NCBiR, w którym zostałem zatrudniony na stanowisku członka kluczowej kadry B+R na czas od 1 lutego 2018 r. do 31.01.2022 r. (**47 miesięcy**). Tytuł projektu:

- „System kontroli i sterowania ruchu ziarna w maszynach do siewu z zastosowaniem czujników piezoelektrycznych”, nr. projektu: LIDER/24/0137/L-8/16/NCBR/2017.

Efektem prac badawczych zrealizowanych w projekcie LIDER na Politechnice Poznańskiej są:

- Recenzowana publikacja naukowa:
 1. Gierz Ł., Markowski P., Choszcz D., J., **Wojcieszak D.** 2023. *Effect of using deflector in the distributor head of a pneumatic seed drill on the oat seed sowing unevenness*. Scientific Reports 13: art. 15471. (140 pkt. MEiN₂₀₂₃, IF = 3,800)
- Recenzowane materiały z konferencji międzynarodowych:

1. Gierz Ł., **Wojcieszak D.**, Szymenderski J., Staszak Ż., Marcinkiewicz J. *A method and a station for measurement of the aerodynamic properties of crop seeds*. Engineering Mechanics 2018: 24th International Conference, May 14-17, 2018, Svratka, Czech Republic. Paper #228, pp. 241–244, doi: 10.21495/91-8-241. (MNiSW 15 pkt.)
 2. Gierz Ł., Gierz S., Selech J., **Wojcieszak D.**, Staszak Ż., Marcinkiewicz J., Romek D. *Method of controlling the outflow of liquid from the sprayer during the dressing process*. Engineering Mechanics 2018: 24th International Conference, May 14-17, 2018, Svratka, Czech Republic. Paper #237, pp. 233–236, doi: 10.21495/91-8-233. (MNiSW 15 pkt.)
 3. Gierz Ł., Selech J., Marcinkiewicz J., Ulbrich D., Romek D., Staszak Ż., **Wojcieszak D.** *A simulation analysis of the strength of an innovative supporting structure of a mechanical pneumatic seed drill*. Engineering Mechanics 2018: 24th International Conference, May 14-17, 2018, Svratka, Czech Republic. Paper #220, pp. 237–240, doi: 10.21495/91-8-237. (sMNiSW 15 pkt.)
 4. Szymenderski J., Gierz Ł., **Wojcieszak D.**, Koszela K. *Testing of electrical signals from piezoelectric sensors in application for counting grains in seeding machine*. Proceedings of 2018 19th International Conference Computational Problems of Electrical Engineering, CPEE 2018, Banska Stiavnica; Slovakia; 9 September 2018 through 12 September 2018. ISBN: 978-153867895-4. DOI: 10.1109/CPEE.2018.8506916. (MNiSW 15 pkt.)
- Przyznany patent:
 1. *Układ kontroli zatkań wysiewu*. Numer prawa wyłącznego: Pat.237925. Data udzielenia prawa: 11.02.2021 r. – **nagrodzony Srebrnym Medalem International Warsaw Invention Show 2019.**
 - Zgłoszenie patentowe:
 1. *Stanowisko do generowania uderzeń mechanicznych małej energii oraz badania odpowiedzi elektrycznej czujników uderzowych*. Numer zgłoszenia patentowego: P.430059. Data zgłoszenia: 28.05.2019 r. Postępowanie w toku. **Nagrodzone Brązowym Medalem Taiwan Innotech Expo Invention Contest 2019.**

5.3. Publikacje naukowe w czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR)

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora opublikowałem łącznie 11 prac indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR). Sumaryczny Impact Factor opublikowanych prac wynosi **50,603**.

1. Stasiak M., Staszak Ż., Siwek J., **Wojcieszak D.** 2025. *Application of state models in a binary–temporal representation for the prediction and modelling of crude oil prices*. Energies 18(3): art. 691. (140 pkt. MNiSW₂₀₂₄, IF = 3,000)

2. Przybył J., **Wojcieszak D.**, Garbowski T. 2024. *Effect of corn stover ensiling on methane production and carbon dioxide emissions*. Energies 17(23): art. 6179. (140 pkt. MNiSW2024, IF = 3,000)
3. Gierz Ł., Markowski P., Choszcz D., J., **Wojcieszak D.** 2023. *Effect of using deflector in the distributor head of a pneumatic seed drill on the oat seed sowing unevenness*. Scientific Reports 13: art. 15471. (140 pkt. MEiN₂₀₂₃, IF = 3,800)
4. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Czajkowski Ł., Majka J., Pawłowski A. 2022. *Effects of harvest maturity on the chemical and energetic properties of corn stover biomass combustion*. Materials 15: art. 2831. (140 pkt. MEiN₂₀₂₁, IF = 3,748)
5. **Wojcieszak D.**, Zaborowicz M., Przybył J., Boniecki P., Jędrus A. 2021. *Assessment of the content of dry matter and dry organic matter in compost with neural modelling methods*. Agriculture 11: art. 307. (100 pkt. MEiN₂₀₂₁, IF = 3,408)
6. Boniecki P., Raba B., Pilarska A., Sujak A., Zaborowicz M., Pilarski K., **Wojcieszak D.** 2021. *Neural reduction of image data in order to determine the quality of malting barley*. Sensors 21: art.5696. (100 pkt. MEiN₂₀₂₁, IF = 3,847)
7. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Ratajczak I., Goliński P., Janczak D., Waśkiewicz A., Szentner K., Woźniak M. 2020. *Chemical composition of maize stover fraction versus methane yield and energy value in fermentation proces*. Energy 198, art. 117258. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117258 (200 pkt. MEiN₂₀₁₉, IF = 7,147)
8. Woźniak M., Ratajczak I., **Wojcieszak D.**, Waśkiewicz A., Szentner K., Przybył J., Borysiak S., Goliński P. 2021. *Chemical and structural characterization of maize stover fractions in aspect of its possible applications*. Materials 14: art. 1527. (140 pkt. MEiN₂₀₂₁, IF = 3,847)
9. Czekala W., Lewicki A., Pochwatka P., Czekala A., **Wojcieszak D.**, Józwiakowski K., Waliszewska H. 2020. *Digestate management in polish farms as an element of the nutrient cycle*. Journal of Cleaner Production 242, art. 118454. (140 pkt. wg MNiSW₂₀₁₉, IF = 9,297)
10. Czajkowski Ł., **Wojcieszak D.**, Olek W., Przybył J. 2019. *Thermal properties of fractions of corn stover*. Construction and Building Materials 210: 709–712. Doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.092. (140 pkt. MNiSW₂₀₁₉, IF=4,046; 5 year IF=4,685)
11. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Myczko R., Myczko A. 2018. *Technological and energetic evaluation of maize stover silage for methane production on technical scale*. Energy 151: 903-912. doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.082 (45 pkt. MNiSW₂₀₁₈, IF=5,737)

5.4. Patenty, wzory przemysłowe i zgłoszenia patentowe

Ważnym elementem mojej działalności badawczo-naukowej jest opracowywanie patentów. **Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora** jako współautor uzyskałem 3

patenty, 2 wzory przemysłowe, złożyłem 5 krajowych zgłoszeń patentowych i **1 europejskie zgłoszenie patentowe** oraz 1 zgłoszenie wzoru przemysłowego.

1. **Patent:** Przybył J., **Wojcieszak D.**, Kowalik I. *Sposób i urządzenie przygotowujące do zbioru resztki poźniwne po zbiorze kukurydzy na ziarno*. Numer prawa wyłącznego: **Pat.235790**. Data udzielenia prawa: 04.06.2020 r.
2. **Patent:** Gierz Ł., Szymenderski J., **Wojcieszak D.**, Staszak Ż., Marcinkiewicz J., Semkło Ł., Paszkiewicz B. *Układ kontroli zatkań wysiewu*. Numer prawa wyłącznego: **Pat.237925**. Data udzielenia prawa: 11.02.2021 r.
3. **Patent: Wojcieszak D.**, Pawłowski A. Przybył J. *Stół wielorowkowy*. Numer prawa wyłącznego: **Pat.246668**. Data zgłoszenia 02.02.2022 r. Data udzielenia prawa: 05.12.2024 r.
4. **Wzór przemysłowy:** Przybył J., **Wojcieszak D.**, Czajkowski Ł., Majka J., Zaborowicz M., Wyczałek M. *Selektor rdzeni kolb kukurydzy*. Numer prawa wyłącznego: **Rp.28363**. Data udzielenia prawa: 29.08.2022 r. **(30 pkt MNiSW)**
5. **Wzór przemysłowy:** Czajkowski Ł., Majka J., Przybył J., **Wojcieszak D.**, Zaborowicz M., Wyczałek M. *Suszarnia rdzeni kolb kukurydzy*. Numer prawa wyłącznego: **Rp.28362**. Data udzielenia prawa: 29.08.2022 r. **(30 pkt. MNiSW)**
6. Zgłoszenie patentowe: Gierz Ł., Szymenderski J., **Wojcieszak D.**, Koszela K., Paszkiewicz B., Przybył K. *Stanowisko do generowania udarów mechanicznych małej energii oraz badania odpowiedzi elektrycznej czujników udarowych*. Numer zgłoszenia patentowego: **P.430059**. Data zgłoszenia: 28.05.2019 r.
7. Zgłoszenie patentowe: Przybył J., **Wojcieszak D.**, Czajkowska Ł., Majka J., Zaborowicz M., Wyczałek M. *Paliwo do grilla – osadka grillowa*. Numer zgłoszenia patentowego: **P.441880**. Data zgłoszenia: 29.07.2022 r.
8. Zgłoszenie patentowe: Przybył J., **Wojcieszak D.**, Czajkowski Ł., Majka J., Zaborowicz M., Wyczałek M. *Sposób i linia technologiczna do parametryzacji rdzeni kolb kukurydzianych*. Numer zgłoszenia patentowego: **P.441881**. Data zgłoszenia: 29.07.2022 r.
9. Zgłoszenie patentowe: Przybył J., **Wojcieszak D.**, Czajkowski Ł., Majka J., Zaborowicz M., Wyczałek M. *Sposób zbioru rdzeni kolb kukurydzy i urządzenie do zbioru rdzeni kolb kukurydzy*. Numer zgłoszenia patentowego: **P.441879**. Data zgłoszenia: 29.07.2022 r.
10. Zgłoszenie patentowe: Czajkowska Ł., Majka J., Przybył J., **Wojcieszak D.**, Zaborowicz M., Wyczałek M. *Dwusekcyjna suszarka do suszenia rdzeni kolb kukurydzy, zwłaszcza na cele energetyczne i sposób suszenia rdzeni kolb kukurydzy, zwłaszcza na cele energetyczne*. Numer zgłoszenia patentowego: **P.441882**. Data zgłoszenia: 29.07.2022 r.

11. Zgłoszenie wzoru przemysłowego: Przybył J., **Wojcieszak D.**, Czajkowisk Ł., Majka J., Zaborowicz M., Wyczałek M. *Linia technologiczna do parametryzacji rdzeni kolb kukurydzy*. Numer zgłoszenia wzoru przemysłowego: **Wp.30970**. Data zgłoszenia: 29.07.2022 r.
12. Europejskie zgłoszenie patentowe: **Wojcieszak D.**, Pawłowski A., Przybył J. *Multi-slot table*. Numer zgłoszenia: **EP22205817.4**. Data zgłoszenia: 07.11.2022 r.

5.5. Kierowanie i udział w projektach badawczych

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora uczestniczyłem w realizacji jednego projektu uzyskanego w drodze konkursu MNiSW.

1. Projekt nr N313 270938 pt. „Technologia zbioru i przechowywania słomy kukurydzianej jako biomasy energetycznej i substratu strukturalnego do kompostowania”. Realizacja projektu: 01.09.2011-31.12.2013 r. Rola w projekcie: **wykonawca**.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora uczestniczyłem łącznie w realizacji 4 projektów. Kierowałem 2 projektami pozyskanymi w drodze konkursów NCBiR oraz 1 działaniem naukowym pozyskanym w drodze konkursu NCN. Uczestniczyłem również, jako członek kluczowej kadry B+R w realizacji 1 projektu LIDER.

1. Projekt nr POIR.04.01.04-00-0018/18 pt. „Prace badawczo-rozwojowe nad prototypową technologią zbioru i przetwarzania rdzeni kolb kukurydzy na cele energetyczne”. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Działanie 4.1.4 Projekty aplikacyjne. Realizacja projektu: 01.08.2019-30.06.2022 r. Rola w projekcie: **kierownik badawczy ds. zbioru i parametryzacji biomasy**.
2. Projekt nr POIR.01.01.01-00-0890/19 pt. „Opracowanie innowacyjnego samojezdnego i samozaładowczego wozu paszowego”. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Projekt realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju 6/1.1.1/2019 – Szybka ścieżka. Realizacja projektu: 01.04.2020-30.04.2022 r. Rola w projekcie: **kierownik B+R**.
3. Działanie naukowe nr 2021/05/X/NZ9/00917 pt. „Wpływ wzorca wczesności odmian i procesu ekstruzji na właściwości chemiczne organów kukurydzy”. Działanie naukowe finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu Miniatura 5. Realizacja zadania badawczego: 01.01.2022-01.06.2023 r. Rola: **kierownik działania naukowego**.

4. System kontroli i sterowania ruchu ziarna w maszynach do siewu z zastosowaniem czujników piezoelektrycznych. Lider VIII Nr LIDER/24/0137/L-8/16/NCBIR/2017. Realizacja projektu: 01.02.2018-31.01.2021 r. Rola w projekcie: **członek kadry B+R – pracownik naukowy**.

5.6. Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych

5.6.1. Międzynarodowe konferencje naukowe

Uczestniczyłem aktywnie w 13 międzynarodowych konferencjach naukowych. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora wygłosiłem 4 referaty, a po uzyskaniu stopnia naukowego doktora 9 referatów.

1. Przybył J., **Wojcieszak D.**, Mioduszevska N. *Nowe koncepcje siewu kukurydzy*. IX Międzynarodowe Warsztaty Akademickie „Rolnictwo, Technika, Zdrowie i Życie”. Opole – Głucholazy, 9-11 listopad 2011 r.
2. **Wojcieszak D.**, Majchrzak L., Nowak W., Chudobiecki J. *Badanie dywersyfikacji małych gospodarstw rolnych w Bretanii i Wielkopolsce*. Konferencja InterEconoMix 2012 24 November 2012, Poznań, Poland.
3. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Mioduszevska N., Dach J., Lewicki A. *Analisis of the posibilites of corn stover use for biogas production*. International Conference on Aneorobic Digestion Biogas Science 26th-30th October 2014 Vienna, Austria.
4. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Mioduszevska N., Dach J., Zaborowicz M. *Evaluation of methane and biogas production from corn stover*. IV International Conference of PhD Students „Multidirectional research in agriculture and forestry” Cracow, 21-22 March 2015.
5. Przybył J., Dach J., **Wojcieszak D.**, Mazurkiewicz J., Zaborowicz M. *The possibility of maize straw application as a substrate for biogas plants*. IX International Scientific Symposium ”Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture”, Lublin, Poland, 22-24 November 2017.
6. Gierz Ł., **Wojcieszka D.**, Szymenderski J., Staszak Ż., Mackiewicz J. *A method and a station for measurement of the aerodynamic properties of crop seeds*. 24th International Conference Engineering Mechanics 2018, 14-17 May 2018, Svratka, Czech Republic
7. **Wojcieszak D.**, Walkowiak R., Czajka M., Podsiadłowski S., Przybył J. *Modelling of the wind erodibility index for light soil under tillage operations*. SoWaSe-ESSC International Conference on “Soil and Water Security: Challenges for the next 30 years!” Imola, Italy – June 6-8, 2018.
8. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Mazurkiewicz J., Janczak D., Zaborowicz M. *Increasing the energy value of corn stover used in biogas plant without pre-procesing*. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 Vienna, Austria, 3-6 December 2018.

9. **Wojcieszak D.**, Przybył J. *Influence quality of corn stover silage for methane yield*. X International Scientific Symposium „Farm Machinery in Sustainable Agriculture” 20-23 November 2019, Lublin, Poland.
10. Przybył J., **Wojcieszak D.** *Energy value of corn cobs*. X International Scientific Symposium „Farm Machinery in Sustainable Agriculture” 20-23 November 2019, Lublin, Poland.
11. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Zaborowicz M., Koszela K., Boniecki P., Kujawa S., Mueller W., Gierz Ł., Przybył K. Eleventh International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2019). 10-13 May, 2019, Guangzhou, China.
12. **Wojcieszak D.**, Pawłowski A., Przybył J. *Energy comparison of corn stover fraction*. XI International Scientific Symposium „Farm Machinery in Sustainable Agriculture”, 13-15 June 2022 Bari, Itali.
13. **Wojcieszak D.**, Garbowski T., Pawłowski A., Przybył J. *Process of selecting corn cob cores during grain harvesting*. XII International Scientific Symposium „Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture”, Lublin, Poland, 2024

5.6.2. Krajowe konferencje naukowe

Uczestniczyłem aktywnie w 18 krajowych konferencjach naukowych, na których wygłosiłem 9 referatów przed oraz 9 referatów po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

1. Przybył J., **Wojcieszak D.**, Mioduszevska N. *Analiza możliwości zbioru i przechowywania słomy kukurydzianej*. XIX Konferencja Naukowa „Postęp naukowo-techniczny i organizacyjny w rolnictwie”. Zakopane, 6-10 luty 2012 r.
2. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Kowalik I., Mioduszevska N. *Ocena technologii zbioru słomy kukurydzianej*. II Konferencja „Inżynierii Biosystemów Rolnictwa” Poznań 24 stycznia 2013 r.
3. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Mioduszevska N., Dach J., Kowalik I. *Analiza eksploatacyjna i ekonomiczna technologii zbioru i przechowywania resztek poźniwnych po zbiorze kukurydzy na ziarno*. XX Jubileuszowe Sympozjum Naukowe „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie” Zakopane 11-15 luty 2013 r.
4. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Mioduszevska N., Dach J. *Koszty zbioru i składowania resztek poźniwnych po zbiorze kukurydzy na ziarno*. XXI Sympozjum Naukowe „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie” Zakopane 3-7 luty 2014 r.
5. Mioduszevska N., **Wojcieszak D.**, Przybył J., Dach J., Gaj R. *Wykorzystanie pulpy pofermentacyjnej z biogazowni w uprawie kukurydzy i buraków cukrowych*. Konferencja Naukowa „Aktualne problemy inżynierii biosystemów” Poznań 27 luty 2014 r.

6. Przybył J., **Wojcieszak D.** *Analiza technologii zbioru słomy kukurydzianej.* I Konferencja Doktorantów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. 29.09.2014 r.
7. **Wojcieszak D.**, Czekala J., Przybył J., Dach J. *Kompostowanie osadów ściekowych z dodatkiem słomy.* Konferencja Przyrodnicza Inżynieria i ochrona środowiska w ekosystemach wodnych i glebowych, 27-28 listopada 2014 r., Poznań.
8. **Wojcieszak D.**, Czekala J., Przybył J., Mioduszevska N., Dach J. *Technologia kompostowania słomy kukurydzianej z osadem ściekowym.* XXII Szkoła Naukowa "Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie,, Zakopane 2015.
9. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Mioduszevska N., Zaborowicz M., Kowalik I., Dach J. *Energetyczne zagospodarowanie słomy kukurydzianej.* IV Konferencja Naukowa „Aktualne problemy inżynierii biosystemów”, Poznań 26 lutego 2015 r.
10. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Dach J., Lewicki A., Zaborowicz M. *Zwiększenie uzysku energii ze słomy kukurydzianej bez stosowania obróbki wstępnej.* XXIV Konferencja Naukowa „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie” Zakopane 6-10 luty 2017 r.
11. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Janczak D., Ratajczak I., Goliński P. *Potencjał energetyczny frakcji resztek poźniwnych po zbiorze kukurydzy na ziarno.* XXV Jubileuszowa Konferencja Naukowa z cyklu: „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”, 5-9 luty 2018 r.
12. **Wojcieszak D.**, Przybył J., Czajkowski Ł., Majka J., Wyczałek M. *Wpływ wskaźnika wczesności odmian kukurydzy na parametry technologiczne rdzeni kolb.* XXVII Konferencja Naukowa Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie, Zakopane, 3-7 lutego 2020 r.
13. **Wojcieszak D.**, Przybył J. *Technologia zbioru i możliwości wykorzystania resztek poźniwnych kukurydzy.* XXIX Konferencja Naukowa „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie” Zakopane 6-9 luty 2023 r.
14. **Wojcieszak D.**, Garbowski J., Pawłowski A., Przybył J. *Proces selekcji rdzeni kolb podczas zbioru ziarna kukurydzy.* XXX Jubileuszowa Konferencja Naukowa z cyklu: „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”. Zakopane, 5-8 lutego 2024 r.
15. Przybył J., **Wojcieszak D.** *Koncepcja nowej prasoowijarki Sipma SD-132.* XXX Jubileuszowa Konferencja Naukowa z cyklu: „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”. Zakopane, 5-8 lutego 2024 r.
16. **Wojcieszak D.** Przybył J., Garbowski T. *Określanie ciepła spalania rdzeni kolb kukurydzy z zastosowaniem algorytmów gradientowych typu trust region.* XXXI Konferencja Naukowa z cyklu: „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”. Zakopane, 3-6 lutego 2025 r.
17. Przybył J., **Wojcieszak D.**, Nosal M., Woszek J. *Zapotrzebowanie mocy przez prasoowijarkę Sipma SD-132.* XXXI Konferencja Naukowa z cyklu: „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”. Zakopane, 3-6 lutego 2025 r.

18. **Wojcieszak D.**, Czechłowski M., Łuczak T., Chudaś D. *Innowacje rozwiązania samojezdnego wozu paszowego ALIMAMIX MOTION*. XXXI Konferencja Naukowa z cyklu: „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”. Zakopane, 3-6 lutego 2025 r.

5.6.3. Udział w komitetach konferencji naukowych

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora uczestniczyłem w 1 Komitecie naukowym i 3 komitetach organizacyjnych krajowych konferencji naukowych oraz w 1 Komitecie naukowym i w 6 komitetach technicznych międzynarodowych konferencji naukowych.

1. VI Konferencja naukowa pt. „Aktualne problemy inżynierii biosystemów 2016”, Poznań 18-20.05.2016 r. – **członek Komitetu Organizacyjnego**
2. VII Konferencja naukowa pt. „Aktualne problemy inżynierii biosystemów 2017”, Poznań 29-30.06.2017 r. – **członek Komitetu Organizacyjnego**
3. VIII Konferencja naukowa pt. „Aktualne problemy inżynierii biosystemów 2018”, Poznań 19-20.06.2018 r. – **członek Komitetu Organizacyjnego**
4. *III Ogólnopolska Konferencja Nowe Horyzonty w Naukach Przyrodniczych BIOT 2018*. Poznań, 25 maja 2018 r. – **członek Komitetu Naukowego**
5. *2nd International Conference on Green Energy and Applications 2018 (ICGEA 2018)* March 24-26, 2018 Singapore – **członek Komitetu Technicznego**
6. *International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE 2018)*, Paris, France on October 29-31, 2018 – **członek Komitetu Technicznego**
7. *4th International Conference of Food and Biosystems Engineering 2019 (4th I.C. FABE 2019)*, 30 May-02 June 2019 Crete island, Greece – **członek Komitetu Naukowego**
8. *2nd International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE 2019)*, August 19-22, 2019, Munich, Germany - **członek Komitetu Technicznego**
9. *3th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE 2020)*, August 16-18, 2020, Lisbon, Portugal - **członek Komitetu Technicznego**
10. *5th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE 2022)*, August 24-26, 2022, Brest, France – **członek Komitetu Technicznego**
11. *7th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA 2023)*, March 10-12. 2023 Singapur - **członek Komitetu Technicznego**

5.7. Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora zostałem 1 raz członkiem komitetu redakcyjnego czasopisma Resources Environment and Information Engineering oraz 5 razy byłem redaktorem gościnnym czasopism AgriEngineering, Agriculture i Applied Sciences.

1. Resources Environment and Information Engineering, od 2018 do dnia dzisiejszego, SyncSci Publishing Pte. Ltd., Funkcja: **Członek Komitetu Redakcyjnego**
<https://www.syncsci.com/journal/REIE/about/editorialTeam>
2. Wydanie specjalne pt. “*Intelligent Agricultural Engineering Solutions in Environmental Protection*”, AgriEngineering (ISSN 2624-7402) Wydawnictwo MDPI. Funkcja: **Redaktor gościnny**
https://www.mdpi.com/journal/agriengineering/special_issues/iaesep_md#info
3. Wydanie specjalne pt. “*Image Analysis Techniques in Agriculture*”, Agriculture (ISSN 2077-0472) Wydawnictwo MDPI. Funkcja: **Redaktor gościnny**
https://www.mdpi.com/journal/agriculture/special_issues/Image_Analysis_Agriculture
4. Wydanie specjalne “*Advanced Energy Materials: Latest Engineering Advances and Prospects*”, Applied Sciences (ISSN 2076-3417) Wydawnictwo MDPI. Funkcja: **Redaktor gościnny**
https://www.mdpi.com/journal/applsci/special_issues/0VD24PKF9
5. Wydanie specjalne “*Application of Modern Agricultural Equipment in Crop Cultivation*”, Agriculture (ISSN 2077-0472), Wydawnictwo MDPI. Funkcja: **Redaktor gościnny**
https://www.mdpi.com/journal/agriculture/special_issues/6PIS627VH4
6. Wydanie specjalne “*Smart Agriculture Based on Big Data and Internet of Things (IoT)*”, Applied Sciences (ISSN 2076-3417), Wydawnictwo MDPI. Funkcja: **Redaktor gościnny**
https://www.mdpi.com/journal/applsci/special_issues/6BU5E41T67

5.8. Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych

1. Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej – **członek** od 2012 r.
2. Oddział Poznański Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej – **członek zarządu i skarbnik** kadencji 2019-2023.
3. Oddział Poznański Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej – **członek zarządu i skarbnik** kadencji 2023-2027.
4. Europejskie Stowarzyszenie Inżynierów Rolnictwa EurAgEng – **członek** od 2023 r.

6. Podsumowanie dorobku naukowego i wskaźniki naukometryczne

Mój całkowity dorobek obejmuje 119 działań naukowych w pięciu obszarach: publikacje naukowe, projekty badawcze, działalność patentowa, referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych oraz udział w komitetach konferencji, redakcyjnych i radach naukowych czasopism.

Całkowity dorobek publikacyjny obejmuje **67 oryginalnych prac twórczych** w tym: 1 autorską monografię naukową, 1 redakcję naukową monografii naukowej, 23 rozdziały w monografiach naukowych, 12 artykułów naukowych indeksowanych w JCR, 5 publikacji naukowych nie indeksowanych w JCR oraz 22 recenzowane materiały z konferencji międzynarodowych.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora jako współautor uzyskałem 3 patenty, 2 wzory przemysłowe, złożyłem 5 krajowych zgłoszeń patentowych i 1 europejskie zgłoszenie patentowe oraz 1 zgłoszenie wzoru przemysłowego. Uczestniczyłem łącznie w realizacji 5 projektów. W jednym przed uzyskaniem stopnia doktora. Po uzyskaniu stopnia doktora kierowałem 2 projektami pozyskanymi w drodze konkursów NCBiR oraz 1 działaniem naukowym pozyskanym w drodze konkursu NCN. Uczestniczyłem również, jako członek kluczowej kadry B+R w realizacji 1 projektu LIDER.

Uczestniczyłem aktywnie w 13 międzynarodowych i 18 krajowych konferencjach naukowych. Uczestniczyłem również w 1 Komitecie naukowym i 3 komitetach organizacyjnych krajowych konferencji naukowych oraz w 1 Komitecie naukowym i w 6 komitetach technicznych międzynarodowych konferencji naukowych.

Jestem członkiem komitetu redakcyjnego czasopisma *Resources Environment and Information Engineering* oraz 5 razy byłem redaktorem gościnnym czasopism *AgriEngineering*, *Agriculture* i *Applied Sciences*.

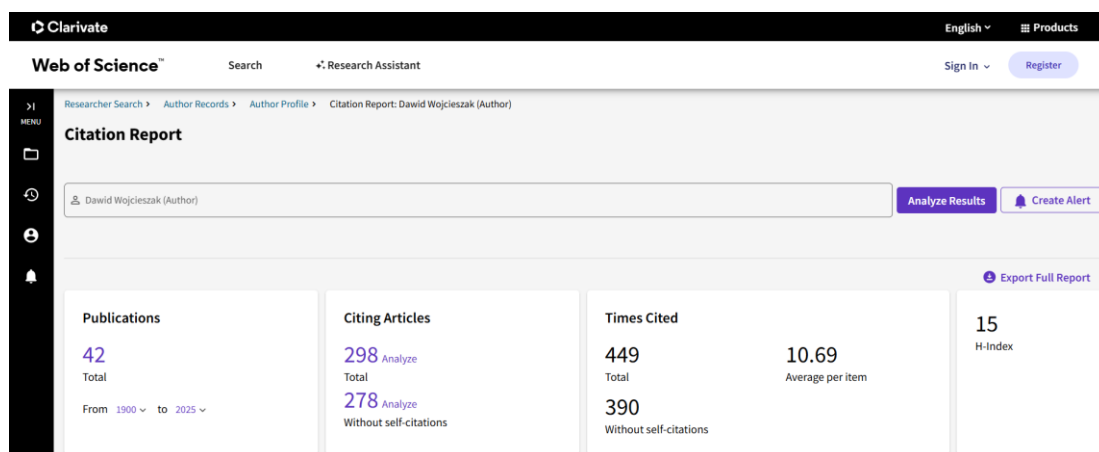
Charakterek dorobku naukowego z podziałem na działania zrealizowane przed i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora przedstawiono w tabeli 17.

Tabela 17. Charakterystyka dorobku naukowego

Rodzaj aktywności naukowej	Liczba
Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora	
Autorskie monografie	-
Redakcja naukowa monografii	-
Rozdziały w monografiach	3
Recenzowane materiały z konferencji międzynarodowych	8
Artykuły w czasopismach indeksowanych w JCR	-
Artykuły w czasopismach nie indeksowanych w JCR	3
Udział w realizacji projektów badawczych	1
Referaty wygłoszone na konferencjach międzynarodowych	3
Referaty wygłoszone na konferencjach krajowych	9
Razem	15
Po uzyskaniem stopnia naukowego doktora	
Autorskie monografie	1
Redakcja naukowa monografii	1
Rozdziały w monografiach	20
Recenzowane materiały z konferencji międzynarodowych	14
Artykuły w czasopismach indeksowanych w JCR	12
Artykuły w czasopismach nie indeksowanych w JCR	5
Uzyskane patenty	3
Uzyskane wzory przemysłowe	2
Złożone krajowe wnioski patentowe	5
Złożone europejskie wnioski patentowe	1
Złożone wnioski o wzór przemysłowy	1
Kierowanie projektami badawczymi	3
Udział w realizacji projektów badawczych	1
Referaty wygłoszone na konferencjach międzynarodowych	9
Referaty wygłoszone na konferencjach krajowych	9
Udział w komitetach konferencji naukowych	11
Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	6
Razem	104

Według bazy Web of Science moje wskaźniki bibliometryczne na dzień 30 maja 2025 r. wynoszą:

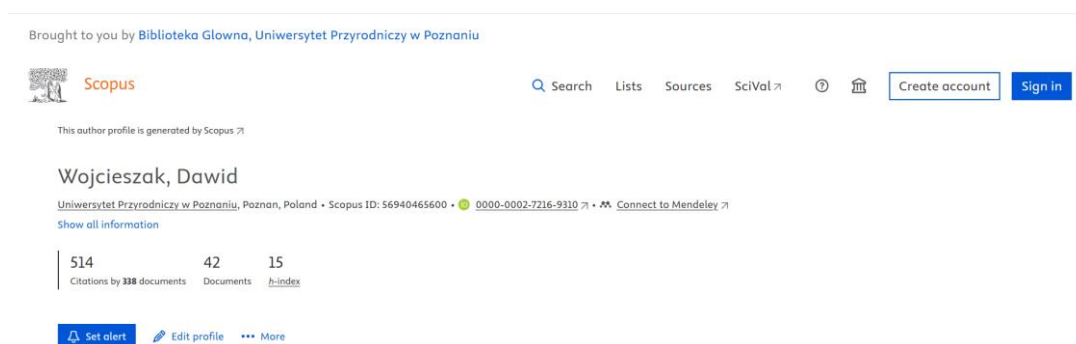
- liczba indeksowanych prac: **42**
- liczba cytowań: **449**
- liczba cytowani bez autocytowań: **390**
- Indeks Hirsha (H-index): **15**



Ryc. 7. Raport wygenerowany z Web of Science

Według bazy Scopus moje wskaźniki bibliometryczne na dzień 30 maja 2025 r. wynoszą:

- liczba indeksowanych prac: **42**
- liczba cytowań: **514**
- liczba cytowani bez autocytowań: **444**
- Indeks Hirsha (H-index): **15**



Ryc. 8. Raport wygenerowany z Scopus

7. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

7.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Zakres moich obowiązków na stanowisku adiunkta w Katedrze Inżynierii Biosystemów obejmuje prowadzenie wykładów i ćwiczeń na studiach pierwszego oraz drugiego stopnia w trybie stacjonarnym i niestacjonarnym kierunków: inżynieria rolnicza, informatyka i inżynieria danych, ekoenergetyka i rolnictwo. Prowadzę również wykłady w Szkole Doktorskiej Uniwersytetu Przyrodniczego dla doktorantów dyscypliny inżynieria mechaniczna oraz wykłady i zajęcia praktyczne w ramach studiów podyplomowych „Nowoczesne Technologie w Produkcji Roślinnej” prowadzonych na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.

Jestem lub byłem kierownikiem 6 przedmiotów: maszyny do pielęgnacji i ochrony roślin, systemy komputerowe w rolnictwie precyzyjnym, maszyny do zbioru i przetwórstwa, rachunek kosztów dla inżynierów, budowa i użytkowanie maszyn, technika rolnicza.

Prowadziłem lub prowadzę ćwiczenia z przedmiotów: innovation in agricultural engineering, użytkowanie maszyn rolniczych, maszyny rolnicze, agrotechnologie, rynek maszyn rolniczych, przechowywanie produktów rolnych, agrologistyka, logistyka, podstawy logistyki, technologie ochrony środowiska.

Od 2015 roku byłem promotorem 15 prac magisterskich i 20 prac inżynierskich na kierunkach studiów inżynieria rolnicza i ekoenergetyka. Jedna z prac magisterskich zrealizowanych w 2021 r. pod moim kierunkiem została wyróżniona w konkursie im. prof. dr. hab. Jerzego Zwolińskiego na najlepszą pracę magisterską zrealizowaną na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.

Wykaz prac magisterskich zrealizowanych pod moim kierunkiem

1. Monika Przysło (2018) *„Ocena możliwości selektywnego zbioru elementów struktury plonu słomy kukurydzianej w aspekcie wykorzystania energetycznego zebranej biomasy”*.
2. Szymon Korczyk (2018) *„Wydajność metanowa resztek poźniwnych po zbiorze kukurydzy na ziarno”*.
3. Paweł Balcerzak (2018) *„Wybrane właściwości fizyczne składników resztek poźniwnych kukurydzy w aspekcie ich wykorzystania jako materiału izolacyjnego”*.
4. Tomasz Jaśkiewicz (2021) *„Analiza badania sprawności technicznej opryskiwacza polowego”*.

5. Artur Pawłowski (2021) „*Wpływ obróbki wstępnej na właściwości chemiczne i energetyczne resztek pożywnych kukurydzy*” **praca wyróżniona w konkursie im. prof. dr. hab. Jerzego Zwolińskiego na najlepszą pracę magisterską zrealizowaną na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.**
6. Maciej Dudziak (2022) „*Potencjał energetyczny wybranych odmian morki białej*”.
7. Łukasz Grzelewski (2022) „*Badanie właściwości mechanicznych rdzeni kolb kukurydzy*”.
8. Paweł Makaro (2022) „*Analiza potencjału energetycznego resztek pożywnych po zbiorze kukurydzy na ziarno*”.
9. Mateusz Walczak (2022) „*Koncepcja urządzenia do zbioru rdzeni kolb kukurydzy*”.
10. Robert Wiśniowski (2022) „*Ocena cech fizycznych resztek pożywnych wybranych odmian kukurydzy po zbiorze kombajnem z rotorowym zespołem omlotowym*”.
11. Michał Kąkolewski (2023) „*Wpływ parametrów pracy sieczkarni polowej na jakość kiszonki z kukurydzy*”.
12. Mateusz Krawczyk (2023) „*Wpływ systemu automatycznego prowadzenia na efektywność pracy maszyn rolniczych*”.
13. Mikołaj Wilczkowiak (2023) „*Zużycie elementów roboczych narzędzi uprawowych*”.
14. Jakub Budziak (2024) „*Analiza techniczna i technologiczna ładowarek teleskopowych*”
15. Patryk Perłowski (2024) „*Wpływ właściwości mechanicznych rdzeni kolb na uszkodzenia ziarna kukurydzy podczas omlotu*”

Wykaz prac inżynierskich zrealizowanych pod moim kierunkiem

1. Mateusz Matyjasik (2017) „*Projekt stanowiska laboratoryjnego do badania właściwości fizycznych nasion*”.
2. Dawid Warzyniak (2017) „*Opracowanie metody siewu kukurydzy*”.
3. Karolina Kościelniak (2018) „*Koncepcja maszyny do zbioru słomy kukurydzianej*”.
4. Arkadiusz Włodarczyk (2018) „*Projekt i realizacja systemu do pomiarów zanieczyszczeń pyłowych powietrza*”.
5. Wojciech Wika (2018) „*Oplacalność produkcji biogazu ze słomy kukurydzianej*”.
6. Patryk Wróbel (2018) „*Projekt systemu do pomiarów zanieczyszczeń gazowych powietrza*”.
7. Adam Brózdziński (2018) „*Oplacalność zbioru słomy kukurydzianej na cele energetyczne*”.
8. Artur Pawłowski (2020) „*Projekt stanowiska laboratoryjnego do oceny jakości pracy rozpylaczy opryskiwacza*”.
9. Paweł Pszonka (2020) „*Analiza techniczno-technologiczna prasowijarek*”.

10. Arkadiusz Zwierzchowski (2020) „*Projekt systemu do mieszania i zadawania pasz treściwych*”.
11. Łukasz Mielcarek (2020) „*Ocena ekonomiczna orki*”.
12. Adam Koblański (2023) „*Projekt osprzętu ładowacza czołowego do zadawania paszy*”.
13. Wiktoria Nowak (2023) „*Projekt instalacji do gazyfikacji biomasy*”.
14. Marek Wróblewski (2023) „*Projekt technologii energetycznego przekształcania biomasy*”
15. Damian Tomaszewski (2024) „*Projekt technologiczny mechanicznej pielęgnacji kukurydzy*”
16. Dawid Waśkowiak (2024) „*Projekt wału oponowego*”
17. Mateusz Zawadzki (2024) „*System odprowadzania pyłu wzbijanego przez zespół żniwny kombajnu do zbioru zbóż*”
18. Wiktoria Kaczmarek (2024) „*Analiza technologii produkcji pelletu ze słomy zbóż*”
19. Dawid Staśkiewicz (2025) „*Projekt adaptacji włókna słomy kukurydzianej na cele niespożywcze*”

7.2. Opieka naukowa nad doktorantami

Na mocy uchwały Komisji dyscypliny inżynieria mechaniczna Szkoły Doktorskiej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 19 stycznia 2024 r. zostałem wyznaczony na promotora pomocniczego rozprawy doktorskiej mgr inż. Wiktora Majchrzyckiego pt. „*Identyfikacja cech jakościowych w ocenie parametrów ziemniaków zbieranych mechanicznie*”.

7.3. Sprawowanie opieki nad Studenckim Kołem Naukowym

W styczniu 2022 r. Dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu prof. dr hab. Klaudia Borowiak powoływała mnie na opiekuna Studenckiego Koła Naukowego Inżynierii Rolniczej.

W tym czasie koordynowałem organizację TRiLiady, wydarzenia o zasięgu krajowym która jest świętem studentów kierunków studiów inżynieria rolnicza, ekoenergetyka oraz informatyka i inżynieria danych. TRiLiada, to wydarzenie oparte na merytorycznych wykładach prowadzonych przez zapraszane przedsiębiorstwa z branży inżynierii rolniczej oraz intelektualnej i sportowej rywalizacji grup studenckich. Od 2024 roku patronat honorowy TRiLiady objął Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

- TRiLiada 2022 pod hasłem „Bezpieczeństwo żywnościowe, czyli rozwiązania inżynierii rolniczej optymalizujące wielkość produkcji i jej koszty”, 26 maja 2022 roku, Katedra Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
Link: <https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/triliada-2022-wiedza-prezentacje-konkursy-i-dobra-zabawa,119500.html>
- TRiLiada 2023 pod hasłem „Od mechanizacji do cyfryzacji rolnictwa”, 25 maja 2023 roku, Katedra Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
Link: <https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/triliada-2023-od-mechanizacji-do-cyfryzacji-rolnictwa-w-50-lat,132035.html>
- TRiLiada 2024 pod hasłem „Nowy wymiar rolnictwa - technologie 4.0 i agroroboty”, 16 maja 2024 roku, Katedra Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
Link: <https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/triliada-2024-sztuczna-inteligencja-dane-i-roboty-w-sluzbie-dla-rolnikow,146289.html>
- TRiLiada 2025 pod hasłem „Inżynieria rolnicza 4.0”, 22 maja 2025 roku, Katedra Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
Link: <https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/rolnictwo-na-nowym-kursie-za-nami-triliada-2025,161650.html>

Sprawowałem również opiekę merytoryczną nad badaniami dotyczącymi właściwości mechanicznych rdzeni kolb kukurydzy realizowanymi przez Studenckie Koła Naukowe Inżynierii Rolniczej. Sprawowałem również opiekę merytoryczną nad przygotowaniem następujących referatów na sesje Studenckich Kół Naukowych:

- Tomaszewski D., Żabierek M. 2023. *Ocena właściwości mechanicznych części roślin*. Sesja Studenckich Kół Naukowych Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Poznań 29 maja 2023 r. – referat wyróżniany w Sekcji Technicznej.
- Galuba H., Jeżewski M., Wysocki J., Tamborski A., Sym P. 2025. *Ocena wpływu ciśnienia w oponach typu Variable Flex na siłę uciągu ciągnika i zagęszczenie gleby*. Sesja Studenckich Kół Naukowych Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Poznań 8 maja 2025 r. – referat wyróżniany w Sekcji Technicznej.
- Dzierła B., Smagowski J., Królczyk M., Sym B., Wilmanowicz O., Sym P. 2025. *Analiza jakości pracy siewników precyzyjnych do kukurydzy*. Sesja Studenckich Kół Naukowych Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Poznań 8 maja 2025 r.

Zorganizowałem wyjazdy studyjne Studenckiego Koła Naukowego Inżynierii Rolniczej do fabryk maszyn rolniczych i przedsiębiorstw z branży inżynierii rolniczej:

- Wizyta studyjna w firmach Samasz Sp. z o.o. w Zabłudowie, Pronar Sp. z o.o. w Narwi, Centrum wystawowym Pronar w Siemiatyczach, CynkoMet Sp. z o.o. w Czarnej Białostockiej i Metal-Fach Sp. z o.o. w Sokółce. 6-7 czerwca 2022 r.

- Wizyta studyjna w Kombinacie Rolniczym Kietrz Sp. z o. o. 10 czerwca 2022 r.
- Wyjazd studyjny na targi Agritechnica w Hanowerze połączone z wizytą studyjną w fabryce firmy Claas w Harsewinkel 14-17 listopada 2023 r.

7.4. Osiągnięcia organizacyjne

W pracy na stanowisku adiunkta w Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu prowadzę również działalność organizacyjną. Udziałem się również organizacyjnie w towarzystwach naukowych krajowych oraz międzynarodowych.

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora byłem:

- Członkiem Rady Wydziału Rolnictwa i Bioinżynierii z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu kadencji 2012-2016 reprezentujący grupy doktorantów
- Członkiem Rady Samorządu Doktorantów Wydziału Rolnictwa i Bioinżynierii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w latach 2012-2015
- Przewodniczącym Rady Samorządu Doktorantów Wydziału Rolnictwa i Bioinżynierii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w latach 2014-2015
- Członkiem Uczelnianej Rady Doktorantów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w latach 2013-2015
- Senatorem Senatu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu Kadencji 2012-2016 reprezentujący Uczelnianą Radę Doktorantów w latach 2014-2015.

W 2012 roku przystąpiłem do Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej jako członek zwyczajny.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora byłem lub jestem:

- Pełnomocnikiem Dziekana Wydziału Rolnictwa i Bioinżynierii ds. systemu plagiat.pl dla kierunków studiów: Technika Rolnicza i Leśna, Inżynieria Rolnicza, Informatyka i Agrotechnologia, Ekoenergetyka (studia stacjonarne i niestacjonarne) w latach 2016-2019
- Członkiem Komisji do przeprowadzania egzaminów dyplomowych inżynierskich na kierunkach studiów inżynieria rolnicza i ekoenergetyka od 2016 roku
- Członkiem Komisji do przeprowadzania egzaminów dyplomowych magisterskich na kierunku studiów Inżynieria rolnicza od 2016 roku.
- Członkiem Rady Wydziału Rolnictwa i Bioinżynierii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w kadencji 2016-2019 reprezentujący grupę adiunktów
- Członkiem Komisji ds. ewaluacji jakości działalności naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu od 2019 roku
- Członkiem Senatu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu kadencji 2020-2024 reprezentujący grupę adiunktów dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna

- Członkiem Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w kadencji 2020-2024
- Członkiem Komisji ds. Nauki Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w kadencji 2020-2024
- Członkiem Wydziałowej Komisji ds. projektu „*Regionalna Inicjatywa Doskonałości*” finansowanego w ramach Programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, od 2021 roku
- Członkiem Rady Programowej Kierunku Studiów Inżynieria Rolnicza kadencji 2020-2024 na Wydziale Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
- Członkiem Senatu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu kadencji 2024-2028 reprezentujący grupę adiunktów dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna i biotechnologia.
- Członkiem Stałej Komisji Senackiej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu ds. Statutowo-Regulaminowych kadencji 2024-2028.
- Członkiem doraźnej Komisji ds. przygotowania raportu samooceny dla Państwowej Komisji Akredytacyjnej dla kierunku studiów inżynieria rolnicza w 2024 r.
- Członek Wydziałowej Komisji ds. Organizacji i Rozwoju na Wydziale Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu do marca 2025 r.
- Członek Zespołu ds. Social Mediów na Wydziale Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu od maja 2025 r.

Od stycznia 2020 roku byłem Członkiem Zarządu i skarbnikiem Oddziału Poznańskiego Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej w kadencji 2020-2023 i kontynuuję tę działalność w kadencji 2023-2027. Od 2023 roku jestem członkiem Europejskiego Stowarzyszenia Inżynierów Rolnictwa EurAgEng.

7.5. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki

W ramach działalności popularyzującej wiedzę opublikowałem jak autorem lub współautor 48 prac popularnonaukowych w renomowanych czasopismach branżowych, w tym 19 przed i 29 po uzyskaniem stopnia doktora:

1. Przybył J., Wojcieszak D. 2012. *Liczy się wydajność*. Rolnik Dzierżawca. Nr 2(179): 105-109.
2. Przybył J., Wojcieszak D. 2012. *Sadzarki do ziemniaków*. Rolniczy Przegląd Techniczny. Nr 3(157): 64-67.

3. Przybył J., Wojcieszak D. 2012. *Bulwa lubi wodę*. Rolnik Dzierżawca. Nr 1(178): 80-83.
4. Przybył J., Wojcieszak D. 2012. *Siew kukurydzy zwiększa tempo*. Aktualności Techniki Rolniczej. Nr 3/2012: 18-22.
5. Przybył J., Wojcieszak D. 2012. *Samojezdne sieczkarnie zbierające*. Aktualności Techniki Rolniczej. Nr 6: 17-21.
6. Przybył J., Wojcieszak D. 2012. *Dobry siew to podstawa sukcesu*. Kukurydza w mistrzowskiej uprawie. Wyd. 2012: 42-46.
7. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2012. *Zbiór buraków cukrowych we Francji*. Aktualności Techniki Rolniczej. Nr 16: 14-18.
8. Przybył J., Kowalik I., Mioduszevska M., Wojcieszak D. 2012. *Pomiar gęstości objętościowej bel*. Aktualności Techniki Rolniczej. Nr. 13. 26-30.
9. Przybył J., Kowalik I., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2012. *Lepsze zagęszczenie z nożami*. Top Technika Nr 4: 20-23.
10. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2013. *Technika rozsiewu nawozów mineralnych*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego. Nr 2 (60): 46-50.
11. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2013. *Kierunki zmian w technice i technologiach zbioru buraków cukrowych*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego. Nr 3 (61): 44-49.
12. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2013 *Ekoenergetyka – szansa dla rolnictwa*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 4(62), 57-61.
13. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2014 *Buraki cukrowe jako surowiec energetyczny*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 2(64), 44-49.
14. Przybył J., Mioduszevska N. Wojcieszak D. 2014. *Technika w integrowanej uprawie buraka cukrowego*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 3(65), 37-42.
15. Przybył J., Mioduszevska N. Wojcieszak D. 2014. *Trzecia wystawa Beet Europe*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 4(66), 31-35.
16. Przybył J., Mioduszevska N. Wojcieszak D. 2014. *Buraki cukrowe w uprawie pasowej*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 4(66), 36-39.
17. Przybył J., Mioduszevska N. Wojcieszak D. 2015. *Podstawowe zasady eksploatacji agregatów do przedsiębiernej uprawy roli i siewników punktowych do buraków cukrowych*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 1(67), 49-52.
18. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2015. *Powrót do mechanicznej pielęgnacji plantacji buraków cukrowych?* Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 2(68), 34-36.
19. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2015. *Najważniejsza jest obsada*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 2(68), 45-46.

20. Przybył J., Wojcieszak D., Zaborowicz M. *Agritechnica 2015*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 1/2016, s. 58-66
21. Wojcieszak D. 2016. *Uprawa pasowa nie jedno ma imię*. Top Technika 4/2016. s. 34-37.
22. Wojcieszak D. *Szybkość i jakość pracy*. Top Technika 1/2016, s. 36-39.
23. Wojcieszak D. *Siewnik z drugiej ręki*. Top Agrar 3/2016, s. 184-187.
24. Wojcieszak D. *Szybka aplikacja gnojowicy*. Top Technika 2/2016, s. 48-50.
25. Wojcieszak D. *Ile za używane przystawki*. Top Agrar 9/2016, s. 144-147.
26. Wojcieszak D. *Ile kosztuje zbiór sianokiszonki?* Top Agrar 5/2016, s. 118-121.
27. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. *Chemiczno-mechaniczna pielęgnacja plantacji buraka cukrowego*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 2/2016, s. 56-58.
28. Wojcieszak D. 2017. *Nawożenie precyzyjne*. Leksykon nawożenia pod red. Tomasza Czubińskiego. Polskie Wydawnictwo Rolnicze Sp. z o. o. ISBN 978-8-61078-63-0. s. 106-109.
29. Wojcieszak D. 2017. *Pionowe silosy do ziarna*. Magazynowanie i transport ziarna. Polskie Wydawnictwo Rolnicze Sp. z o. o. ISBN 978-83-61078-74-6. s. 42-45.
30. Wojcieszak D. 2017. *Szybki transport do gospodarstwa i skupu*. Magazynowanie i transport ziarna. Polskie Wydawnictwo Rolnicze Sp. z o. o. ISBN 978-83-61078-74-6. s. 50-53.
31. Wojcieszak D. 2017. *Tanio zebrać dobrą zielonkę*. Użytki zielone mistrzowski plon i jakość. Polskie Wydawnictwo Rolnicze Sp. z o. o. ISBN 978-83-61078-77-7. s. 86-90.
32. Wojcieszak D. 2017. *Nowości w siewie punktowym*. Top Technika 1/2017. s. 44-47.
33. Wojcieszak D. 2017. *Rozpylacze, a jakość oprysku*. Wiadomości Rolnicze Polska 3/2017. s. 28.
34. Janczak D., Wojcieszak D. 2017. *Słoma kukurydziana – dobry materiał na biogaz*. Magazyn Biomasa 10(39). 36-38.
35. Przybył J., Wojcieszak D., Zaborowicz M. 2018. *Agritechnica wyznacza kierunki techniki rolniczej*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 1(79). s. 55-61.
36. Przybył J., Mioduszevska N., Wojcieszak D. 2018. *Techniczne możliwości usuwania zanieczyszczeń z buraków*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 4(82). s. 44-48.
37. Przybył J., Wojcieszak D. 2018. *Miting grup roboczych IIRB w Bernie*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 4(82). s. 50-51.
38. Przybył J., Wojcieszak D., Zaborowicz M. 2019. *Agritechnica 2019*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 1(87). s. 50-56.

39. Wojcieszak D. 2019. *Rozsiewacze czytają mapy*. Rolniczy Przegląd Techniczny 6/2019. s. 46-53.
40. Wojcieszak D. 2020. *Trendy w inteligentnej ochronie roślin*. Rolniczy Przegląd Techniczny 4/2020. s. 32-34.
41. Przybył J., Wojcieszak D. 2021. *Ultra płytka uprawa gleby*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 1(91). s. 50-51.
42. Przybył J., Wojcieszak D. 2021. *Możliwości zwiększenia efektywności technologii zbioru buraków cukrowych*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 3(93). s. 50-51.
43. Przybył J., Zaborowicz M., Wojcieszak D. 2021. *W kierunku cyfrowej precyzji*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 3(93).
44. Przybył J., Wojcieszak D. 2022. *Rozwój rynku techniki do mechanicznej regulacji zachwaszczenia: (cz. II)*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 2(96). s. 63-66.
45. Przybył J., Wojcieszak D., Zaborowicz M. 2023. *Stan techniki do zbioru buraków cukrowych*. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego 2(100). S. 56-60.
46. Wojcieszak D., Przybył J. 2023. *Selektywny zbiór rdzeni kolb kukurydzy*. Rolniczy Przegląd Techniczny 1/2023. s. 44-47.
47. Wojcieszak D., Przybył J. 2023. *Technologia zbioru rdzeni kolb kukurydzy*. Aktualności Techniki Rolniczej 14/2023.
48. Wojcieszak D. 2024. *Koszty pracy? To proste!* Top Agrar 5/2024, s. 111-112.

W ramach swojej pracy naukowej po uzyskaniu stopnia naukowego doktora oraz pracy nauczyciela akademickiego 11 razy organizowałem i prowadziłem wykłady, warsztaty oraz pokazy podczas wydarzeń popularyzujących naukę:

- Wykład i warsztaty pt. „*Modelowanie neuronowe – obraz widziany z innej perspektywy*” podczas Nocy Naukowców 2016. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 30 września 2016 r.
- Warsztaty i pokaz pt. „*Jak powstaje kropla wody?*” podczas Wagarów z Przyrodą 2017. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 21 marca 2017 r.
- Wykład i warsztaty pt. „*Jak powstaje kropla wody – bezpieczna ochrona roślin*” podczas Wagarów z Przyrodą 2018. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 21 marca 2018 r.
- Warsztaty pt. „*Jak powstaje kropla wody*” podczas XXI Poznański Festiwal Nauki i Sztuki. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 24 kwietnia 2018 r.
- Wykład i pokaz pt. „*Jak powstaje kropla wody – bezpieczne i odpowiedzialne stosowanie środków ochrony roślin*” podczas Nocy Naukowców 2018. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 28 września 2018 r.
- Wykład i warsztaty pt. „*Rolnictwo precyzyjne w ochronie roślin*” podczas Wagarów z Przyrodą 2019. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 21 marca 2019 r.

- Wykład pt. „*Rozwiązania stosowane w rozsiewaczach nawozów mineralnych przystosowanych do pracy na podstawie map aplikacyjnych*” podczas I Kongresu Techniki Rolniczej – Precyzyjne technologie i ekonomia w nowoczesnym rolnictwie. Luboń, 15 maja 2019 r.
- Wykład pt. „*Wyzwania dla rolnictwa w Zielonym Ładzie*” podczas Marszewskich Dni Pola 2022 organizowanych przez Wielkopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Poznaniu. Marszew, 19 czerwca 2022 r.
- Wykład pt. „*Technologie 4.0 w rolnictwie*” podczas szkolenia w formie webinarium nt. Rolnictwo precyzyjne organizowanego Wojewódzkiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Poznaniu. Poznań, 7 grudnia 2022 r.
- Warsztaty pt. „*Konfiguracja osprzętu opryskiwacza polowego w komputerze sterującym*” podczas I Wiosennych z agrotechniki organizowanych przez Polską Izbę Gospodarczą Maszyn i Urządzeń Rolniczych. Zduńska Dąbrowa, 30-31 marca 2023 r.
- Wywiad pt. „*Rdzenie kolb kukurydzy alternatywną biomasą*” Magazyn Biomasa, Biomasa w ciepłownictwie i energetyce 5(95). s. 47-49.

8. Dodatkowe informacje dotyczące kariery naukowej

8.1. Recenzowanie artykułów naukowych i materiałów z konferencji międzynarodowych

Wykonałem recenzje 12 prac opublikowanych w materiałach z międzynarodowych konferencji naukowych: *2nd International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering 2019 (REEE 2019)*, *3th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering 2020 (REEE 2020)*, *5th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering 2022 (REEE 2022)* i *7th International Conference on Green Energy and Applications 2023 (ICGEA 2023)*.

Recenzuję w czasopismach naukowych przypisanych do dyscypliny inżynieria mechaniczna według wykazu MNiSW:

- *Bioresource Technology* wydawnictwa Elsevier, ISSN: 0960-8524, IF=9,7
- *Journal of Imaging* wydawnictwa MDPI, ISSN: 2313-433X, IF=2,7
- *Sustainability* wydawnictwa MDPI, ISSN: 2071-1050, IF=3,3
- *Processes* wydawnictwa MDPI, ISSN: 2227-9717, IF=2,8.
- *Resources* wydawnictwa MDPI, ISSN: 2079-9276, IF=3,6
- *Hylion* wydawnictwa Elsevier, ISSN: 2405-8440, IF=3,4
- *Entropy* wydawnictwa MDPI, ISSN: 1099-4300, IF=2,1
- *Energies* wydawnictwa MDPI, ISSN: 1996-1073, IF=3,0

- Agriculture wydawnictwa MDPI, ISSN: 2077-0472, IF=3,3.

Wykonałem łącznie 13 recenzji dla wymienionych czasopism.

8.2. Ukończone kursy i zdobyte certyfikaty

W czasie pracy na stanowisku adiunkta rozwijałem swoje kompetencje w zakresie dydaktycznym i biegłości językowej. Ukończyłem kursy i uzyskałem certyfikaty:

- Kurs *Języka angielskiego dla dydaktyków* na poziomie B1 i osiągnąłem poziom biegłości językowej B2
- 64 godzinny *Kurs Tutorów Akademickich* w Collegium Wratislaviense
- 48 godzinny „Kurs innowacyjnych kompetencji dydaktycznych” organizowany przez Kuźnię Ekspertów
- 6 godzinne szkolenie „Wykorzystanie mediów społecznościowych w procesie dydaktycznym” organizowany przez Kuźnię Ekspertów.

8.3. Uzyskane nagrody

- Zespołowa nagroda II stopnia Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu dla najlepszego młodego naukowca w wiodącej dyscyplinie naukowej UPP w 2021 r.
- Zespołowa nagroda II stopnia za osiągnięcia naukowe w formie publikacji w czasopismach naukowych znajdujących się w wykazie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, mających istotny wpływ na stan wiedzy i kierunki dalszych badań w 2021 r.
- Zespołowa nagroda II stopnia za osiągnięcia naukowe w formie publikacji w czasopismach naukowych znajdujących się w wykazie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a w szczególności za pozyskanie grantów NCN (Projekt Miniatura) w 2022 r.

.....

(podpis wnioskodawcy)