

Załącznik 3

do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego – dr inż. Łukasz Gierz

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Łukasz Gierz

ORCID: 0000-0003-4040-5718

Researcher ID: A-9001-2015

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

- 22.09.2018 Wyższa Szkoła Logistyki z siedzibą w Poznaniu, Wydział Zarządzania i logistyki, Studia podyplomowe w zakresie: Bezpieczeństwa i Higieny Pracy.
- 28.06.2015 Wyższa Szkoła Bankowa, Studium podyplomowe: Menedżer Projektu Badawczo-Rozwojowego.
- 29.10.2013 Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu – doktor nauk technicznych, praca pt. *Modelowanie i badania ruchu ziarna w przewodach nasiennych siewników pneumatycznych*, dziedzina: nauki techniczne, dyscyplina: budowa i eksploatacja maszyn, obrona 05.10.2013.
- 25.10.2011 Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, studium podyplomowe pedagogiczne w zakresie: Kompetencje edukacyjne w obszarze przedmiotów politechnicznych.
- 11.06.2008 Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu – magister inżynier, praca pt. *Projekt osprzętu widłowego przyczepianego na trójpunktowym układzie zawieszenia do ciągnika dużej mocy*, kierunek: mechanika i budowa maszyn, specjalność: maszyny robocze.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych oraz przemyśle

- | | |
|-----------------------|---|
| 01.09.2020-obecnie | Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Konstrukcji Maszyn pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań: |
| 01.03.2023-31.12.2023 | Kogena sp. z o.o., pl. Solny 15, 50-062 Wrocław; Stanowisko: kierownik B+R w projekcie pt. „Innowacyjny, zintegrowany system predykcji awarii oraz optymalizacji pracy robotów przemysłowych” (POIR.01.01.01-00-0407/22) Projekt przyznany przez NCBiR, oczekuje na uruchomienie środków i podpisanie umowy o pracę. Planowany termin podpisania umowy to 1 marca 2023, jednak ze względu na opóźnienia w uruchomieniu środków termin ten jest przedłużony. |

- 01.10.2015-31.08.2020 Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu (wcześniej Wydział Inżynierii Transportu, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu), Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Zakład Maszyn Roboczych pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań:
 – 01.10.2015-obecnie Adiunkt;
 – 01.10.2013-01.10.2015 Asystent.
- 01.03.2012-30.09.2013 Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, ul. Starołęcka 31, 60-963 Poznań.
- 14.07.2008-30.09.2010 Delphi Poland S.A (obecnie Mahle Behr Sp. z o. o.) ul. Wodna 15, 63-400 Ostrów Wielkopolski – stanowisko konstruktor-technolog.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Jako osiągnięcie naukowe, stanowiące istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej: *Inżynieria Mechaniczna*, wskazuję zaplanowany i zrealizowany cykl 10 publikacji powiązanych tematycznie wspomaganych uzyskanymi 2 patentami i 1 zgłoszeniem patentowym pod tytułem: **Synteza parametrów układów monitorowania i sterowania ruchem materiału ziarnistego w siewie maszynowym w aspekcie jakości wysiewu nasion**. Lista publikacji (wraz z opisem mojego wkładu) znajduje się w załączniku 4 w punkcie I.2.

Z analizy literatury wynika, że w klasycznych maszynach roboczych (rolniczych) od szeregu lat dąży się do spełnienia standardów rolnictwa precyzyjnego, a współcześnie standardów technik rolnictwa 4.0. Trend ten wymusza wyposażanie maszyn w aparaturę kontrolno-pomiarową do monitorowania, nastawiania, sterowania, utrzymywania i dostosowywania do miejscowych, specyficznych warunków środowiskowych (eksploatacyjnych), parametrów roboczych zespołów funkcjonalnych maszyn. W maszynach do siewu nasion, wpisujących się w standardy rolnictwa precyzyjnego, do nastawiania i utrzymania założonej ilości wysiewu, czy też odległości między wysiewanymi nasionami w rzędzie, a także głębokości wysiewu, itd., są stosowane automatyczne układy sterowania parametrami zespołów roboczych maszyn. W skład takich układów wchodzi sensory pozwalające na ciągłe porównywanie danych wejściowych (nastaw) z otrzymanymi wartościami rzeczywistymi, tj. kontrola parametrów roboczych w czasie rzeczywistym.

Dodatkowo przeprowadzona analiza rozwiązań konstrukcyjnych, a także zasady działania współczesnych układów elektronicznego monitoringu maszyn wysiewających wykazała, że w układach funkcjonalnych do kontroli procesu wysiewu nasion zazwyczaj stosuje się czujniki fotoelektryczne. Do najbardziej popularnych, zarówno na polskim, jak i europejskim rynku czujników fotoelektrycznych zaliczyć można sensory o nazwie handlowej „seed eye” oferowane wraz z siewnikami firmy Väderstad-Verken AB [1] oraz najnowsze czujniki „Pro-Seeder D30” włoskiej firmy MC Electronics [2]. Zaletą wymienionych czujników jest bezkontaktowa kontrola ilości wysiewu nasion. Wadą jest brak odporności na zanieczyszczenia, które powodują utratę dostrzegalności wysiewanych nasion i w związku z tym wykluczają je z zastosowań w małej odległości od gruntu, gdzie występuje duże zapylenie powietrza.

Z analizy literatury wynika, że czujniki rejestrujące ilość wysiewu, na podstawie której jest szacowana liczba wysianych nasion oraz dokonywana jest regulacja parametrów eksploatacyjnych podzespołów układu wysiewającego siewników, są mało skuteczne. Informacje te dotyczą głównie siewu rzędowego, w którym nasiona są transportowane w strudze dozowanej z dużą częstością, co powoduje taki ich rozkład na przekroju przewodu, że krawędzie nasion przecinają barierę optyczną w sposób nieprzerwany (ciągły). Wszystkie te czynniki dowodzą, iż stosowane i wskazane wyżej układy pomiarowe charakteryzują się stosunkowo dużym błędem pomiarowym (małą skutecznością identyfikacji liczby wysianych nasion), wobec tego mogą być wykorzystywane tylko do orientacyjnego, zgrubnego pomiaru prawidłowości procesu wysiewu nasion.

Do siewu nasion w gospodarstwach rolniczych najczęściej stosowane są wysokowydajne siewniki, bądź agregaty uprawowo-siewne [3] umożliwiające integrowaną uprawę gleby [4]. Podczas ich użytkowania pojawia się problem kontroli niedrożności (zapchań) przewodów nasiennych lub redlic [5] oraz kontroli nastawionej ilości wysiewu, co jest niezmiernie ważne w systemach rolnictwa precyzyjnego [6, 7, 8] i z punktu uzyskiwanych wskaźników jakości wysiewu, w tym równomierności wysiewu. Równomierna obsada nasion stwarza wzrastającym roślinom korzystne, zbliżone warunki rozwoju. Rośliny mogą efektywniej wykorzystać promieniowanie słoneczne oraz pobierać dostępną wodę, i na skutek tego rozwijać system korzeniowy pozwalający lepiej wykorzystać składniki pokarmowe oraz zmniejszyć konkurencję wewnątrzgatunkową. Równomierne rozmieszczenie roślin na płaszczyźnie poziomej pola pozwala na uzyskanie, nie tylko wyższego plonu, ale również bardziej wyrównanego, dorodniejszego i dojrzewającego w tym samym czasie.

Równomierne rozmieszczenie nasion oddziałuje nie tylko na plon, ale również na cechy morfologiczne roślin. Wykazano, że cechy te wpływają na wytrzymałość nasion na zgniatanie, a w konsekwencji na energochłonność, zarówno procesu zbioru roślin i ich obróbki pozbiorowej (rozdrabnianie, zgniatanie). Wiedza z tego zakresu jest niezbędna, zarówno w procesie projektowania podzespołów i zespołów maszyn roboczych, ale również podczas ich eksploatacji poprzez dobór parametrów pracy maszyn technologicznych.

W nowoczesnych maszynach wpisujących się w standardy gospodarki 4.0 niezbędne są nowoczesne układy monitoringu z czujnikami [9] odpornymi na trudne warunki pracy, tj. zapylenie. Warunki takie występują w rolnictwie, zwłaszcza w pracach polowych. Również zastosowanie technologii informatycznych, w tym metod analizy obrazu w połączeniu z narzędziami wspomagającymi poprawia wydajność maszyn, pozytywnie wpływa na środowisko naturalne i obniża koszty produkcji [10].

Na podstawie przedstawionych powyżej informacji trudno jest jednoznacznie wyznaczyć rzeczywisty błąd pomiaru liczby wysianych nasion. Wątpliwość ta znajduje odzwierciedlenie w badaniach naukowych, w których ocenę jakości wysiewu nasion, w tym przede wszystkim równomierności siewu, określa się wykorzystując zazwyczaj czasochłonne i przestarzałe metody polowe lub laboratoryjne bazujące na stanowiskach badawczych z taśmą klejową. W prawdzie w ostatnich kilku latach w badaniach naukowych podejmowane są coraz skuteczniejsze próby wykorzystania, głównie do oceny jakości wysiewu nasion w siewnikach precyzyjnych, nowocześniejszej aparatury badawczej, np. kamer szybko-klatkowych, czy też usprawnionego odczytu położenia nasion na taśmie klejowej za pomocą systemów wizyjnych, tj. kamer z oprogramowaniem do analizy obrazu. Wszakże są to nadal metody bardzo pracochłonne, a rezultat w postaci wskaźnika równomierności wysiewu – w siewie rzędowym,

czy wskaźnika udziału wysiewów pojedynczych, podwójnych i przepustów – w siewie precyzyjnym, otrzymuje się dopiero po dokładnej analizie odległości następujących po sobie nasion, co wskazano w monografii prof. Markowskiego.

Ze względu na złożoność zagadnienia, niedostatecznie jednoznaczne dane wejściowe dla symulacji procesu dozowania i transportu mieszanin ziarnistych, nadal występują niedostateczne obszary wiedzy, które muszą być uzupełnione i definiowane, a same metody udoskonalane w celu realizacji działań, dotyczących poprawy jakości wysiewu, w tym równomierności wysiewu nasion gwarantujących uzyskiwanie dużego i dobrej jakości plonu.

Pomimo wyraźnego, dokonującego się w ostatnich latach, rozwoju techniczno-konstrukcyjnego maszyn do siewu nasion, w dalszym ciągu widoczna jest potrzeba nie tylko doskonalenia ich konstrukcji, ale także i samego procesu siewu. W szczególności dotyczy to prowadzenia prac nad nowymi układami monitoringu jakości maszynowego wysiewu nasion realizowanego siewnikami dostępnymi dla każdego, nawet średniego i małego gospodarstwa rolnego, z czujnikami zdolnymi do pracy w bliskiej odległości od gruntu (odpornymi na zapylenie powietrza) i tym samym o krótszym czasie reakcji przy wskazywaniu niedrożności układu wysiewającego. Wymienione aspekty ukierunkowały mnie na problem badawczy sformułowany jako: opracowanie alternatywnej technologii wykrywania nasion w przewodach nasiennych za pomocą udarowych czujników piezoelektrycznych lub innych wykorzystujących techniki obrazowania wspomaganymi narzędziami do identyfikacji nasion (obiektów) oraz przedstawienie wytycznych techniczno-technologicznych w celu uzyskania w maszynowym wysiewie nasion poprawy równomierności wysiewu.

Realizacja osiągnięcia naukowego popartego 10 publikacjami i wspomaganego 2 patentami i jednym zgłoszeniem patentowym, pt. „**Synteza parametrów układów monitorowania i sterowania ruchem materiału ziarnistego w siewie maszynowym w aspekcie jakości wysiewu nasion**” wymagała realizacji przede mną następujących celów naukowych i użytkowych:

Celem naukowym była identyfikacja czynników i charakteru ich wpływu na skuteczność działania autorskiego systemu kontroli przepływu nasion w układach wysiewających (przewodach nasiennie-pneumatycznych) siewników uniwersalnych, zbudowanego na czujnikach piezoelektrycznych lub innych wykorzystujących techniki obrazowania pozwalającego na wykrywanie niedrożności (zatorów) i rejestrację wysianych nasion w aspekcie parametrów jakościowych procesu wysiewu nasion.

Przy tak sformułowanym głównym celu naukowym sformułowano dodatkowo następujące cząstkowe cele naukowe:

1. Opracowanie metod pomiaru podstawowych parametrów fizycznych materiału ziarnistego (nasion) – z wykorzystaniem technik wizyjnych – wpływających na proces ich dozowania i transportu w układach funkcjonalnych siewników z grawitacyjnym i pneumatycznym układem wysiewającym, na potrzeby doskonalenia procesu symulacji ruchu ziarniaków metodą elementów dyskretnych (DEM).
2. Opracowanie wytycznych techniczno-konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych do budowy układów monitorowania przepływu materiałów ziarnistych w systemach transportowych siewników uniwersalnych;
3. Opracowanie wytycznych techniczno-konstrukcyjnych dyfuzora i głowicy rozdzielczej do poprawy równomierności wysiewu nasion w siewnikach z pneumatycznymi systemami wysiewu.

W trakcie realizacji osiągnięcia naukowego, oprócz głównego celu naukowego i celów cząstkowych sformułowałem także cel użyteczny, którym było opracowanie i wykonanie systemu monitorowania drożności przewodów nasiennych siewników odznaczającym się krótszym, w porównaniu do oferowanych układów, czasie reakcji na wystąpienie sytuacji niepożądanego, tj. niedrożności (zatkania) układu wysiewającego (przewodów nasiennych) oraz określenie jego przydatności do kontroli maszynowego procesu wysiewu nasion. Zrealizowanie celu użytecznego wymagało, z jednej strony zaprojektowania i wykonania konstrukcji prototypów czujników do kontroli drożności układów nasienno-powietrznych systemów wysiewu nasion i ich przebadania, z drugiej zaś opracowania autorskiej konstrukcji dyfuzora i głowicy rozdzielczej, poprawiających równomierność wysiewu nasion w siewnikach z pneumatycznym systemem ich wysiewu.

Mając na uwadze jakość wysiewu nasion wszystkie moje dokonania będą rozpatrywał w aspekcie dwóch czynników jakościowych tj. wskaźnika drożności przewodów nasiennych lub nasienno-powietrznych oraz równomierności wysiewu nasion opisanej wskaźnikiem nierównomierności wysiewu. Niższe wartości wskaźnika nierównomierności wysiewu nasion oznaczają poprawę ich równomierności wysiewu.

Dążąc do spełnienia celu naukowego z uwzględnieniem celów cząstkowych wszystkie przeprowadzone prace badawcze (cykl 10 publikacji uzupełnionych 2 patentami i 1 zgłoszeniem patentowym) podzieliłem na 3 etapy:

- 1. Opracowanie metod wyznaczania parametrów fizycznych materiału ziarnistego** celem zebrania informacji o materiale ziarnistym do budowy modeli matematycznych opisujących kształt nasion metodą elementów dyskretnych (DEM) i doboru parametrów konstrukcyjnych projektowych układów monitorowania i sterowania ruchem materiału ziarnistego [A.1; A.2; A.3];
- 2. Badania symulacyjne i laboratoryjne** nowatorskich, autorskich konstrukcji czujników układów monitorowania ruchu materiału ziarnistego m.in. w celu wyznaczenia wpływu kształtu zakończenia otworu wylotowego i kąta pochylenia przewodu nasiennego na liczbę błędnie zarejestrowanych ziarniaków oraz odpowiedzi piezoelektrycznego czujnika siły podczas odbijania ziarniaków metodą elementów dyskretnych (DEM) [A.4; A.5; A.6];
- 3. Opracowanie wytycznych techniczno-konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych** do budowy układów monitorowania jakości wysiewu materiałów ziarnistych w systemach transportowych siewników uniwersalnych w celu uzyskania poprawy jakości wysiewu nasion (monitorowanie drożności przewodów oraz poprawy równomierności wysiewu [A.7; A.8; A.9; A.10]).

W pracach naukowych zajmuję się przede wszystkim zagadnieniami związanymi z identyfikacją szerokiego spektrum czynników i charakteru ich wpływu na skuteczność działania autorskiego układu monitorowania jakości wysiewu nasion uniwersalnymi siewnikami z mechanicznymi i pneumatycznymi systemami wysiewu i transportu nasion, zbudowanego na czujnikach piezoelektrycznych lub innych wykorzystujących techniki obrazowania w aspekcie parametrów jakościowych, tj. wskaźnika drożności oraz wskaźnika nierównomierności wysiewu nasion.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych kontynuowałem badania dotyczące oceny wskaźników jakości wysiewu, w tym również równomierności wysiewu oraz pozyskania rzetelnych danych brzegowych do procesu symulacji DEM i walidacji wyników badań. Pierwszym celem cząstkowym, a zarazem pierwszym etapem mojego osiągnięcia

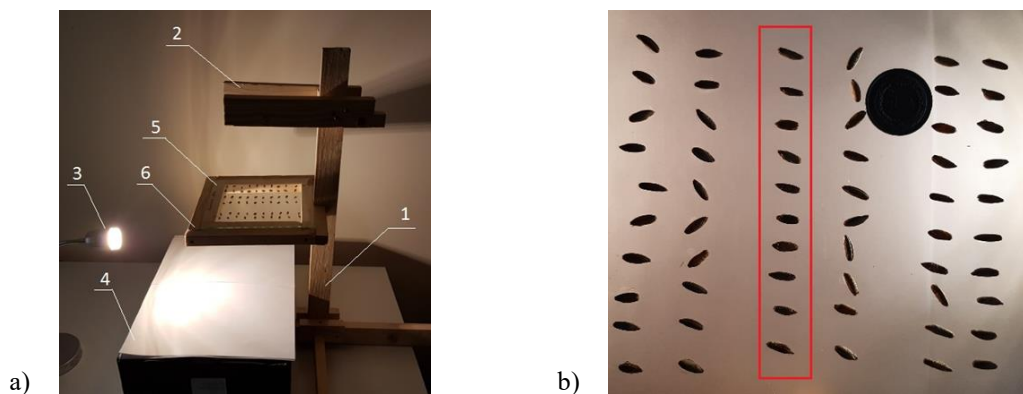
naukowego było opracowanie metod pomiaru podstawowych parametrów fizycznych materiału ziarnistego (nasion) wpływających na proces ich dozowania i transportu w celu doskonalenia procesu symulacji ruchu nasion w układach funkcjonalnych siewników z grawitacyjnym i pneumatycznym układem transportowym. Aby osiągnąć ten cel cząstkowy zająłem się w większym zakresie analizą literatury naukowej i patentowej ażeby opracować nowe metody pozwalające usprawnić proces pozyskania danych o parametrach fizycznych materiału ziarnistego. W efekcie opracowałem nowatorskie metody pomiaru podstawowych parametrów fizycznych materiału ziarnistego (nasion) z wykorzystaniem technik wizyjnych – w celu uzyskania szczegółowej wiedzy, dotyczącej wpływu poszczególnych czynników na potrzeby doskonalenia procesu symulacji ruchu nasion metodą elementów dyskretnych (DEM). W tym zakresie najważniejszymi autorskimi osiągnięciami są:

- opracowanie szybkiej metody pomiaru wymiarów gabarytowych nasion (cząstek) i jej walidacja [A.1],
- opracowanie metody i stanowiska badawczego do pomiaru oporu aerodynamicznego cząstek (nasion) w każdej płaszczyźnie [A.2],
- opracowanie i walidacja metody badania prędkości nasion w locie [A.3].

Jako pierwsza opracowana została szybka metoda pomiaru wymiarów gabarytowych, gdzie nowością jest opracowane stanowisko pozwalające wykonać fotografie ziarniaków oraz wykorzystanie ogólnodostępnej aplikacji ImageJ 1.52a do pomiaru wymiarów gabarytowych nasion (cząstek) [A.1].

W pracy tej przedstawiłem metodę pomiaru długości i szerokości ziarniaków w dwóch prostopadłych kierunkach, a po nałożeniu ziarniaka na płytkę w pozycji bocznej trzeciego wymiaru – jakim jest grubość. Stosowane od wielu lat metody pomiaru wymiarów gabarytowych nasion z zastosowaniem klasycznych przyrządów do pomiarów liniowych są mało wydajne, albo uzyskane wyniki, ze względu na małą dokładność przyrządów pomiarowych nie zaspokajają potrzeb współczesnej techniki. Ponadto ciągle doskonalone metody obliczeń i symulacji procesów zachodzących w maszynach z udziałem ziarniaków i cząstek metodą DEM wymagają dokładnych modeli geometrycznych nasion. Tak więc nadal widoczna jest potrzeba opracowywania nowych metod pomiarowych bazujących na analizie obrazu. Opracowana, autorska metoda pomiaru cech geometrycznych nasion zapewnia dużą powtarzalność pomiarów i niezbędną dokładność do zbudowania dokładnych modeli geometrycznych ziarniaków lub cząstek.

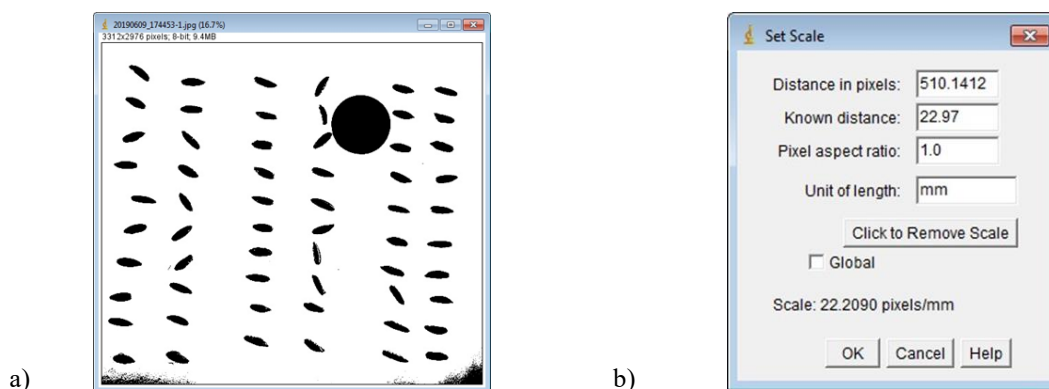
W ramach metody opracowałem i zbudowałem stanowisko badawcze (rys. 1a). Stanowisko składało się ze statywu (1) z uchwytem na aparat fotograficzny (2) oraz konstrukcji nośnej (6) umożliwiającej ustawienie szklanych płyt z ziarniakami (5). Do oświetlenia stanowiska wykorzystałem białe światło ze źródła (3) umieszczonego nad białym tłem (4), w celu uzyskania najlepszego kontrastu między badanym obiektem a tłem. Taka konstrukcja stanowiska badawczego gwarantowała identyczne warunki oświetleniowe oraz stałą odległość między płytą z materiałem ziarnistym a obiektywem kamery.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe; a) schemat stanowiska: 1 – statyw, 2 – uchwyt kamery, 3 – źródło światła białego, 4 – białe tło, 5 – płytki szklane z ziarniakami 5, 6 – konstrukcja nośna, b) zdjęcie płyty z żytem ozimym ziarniakami (odmiana Antonińskie) – czerwoną ramką zaznaczono wybrane do badań ziarniakami

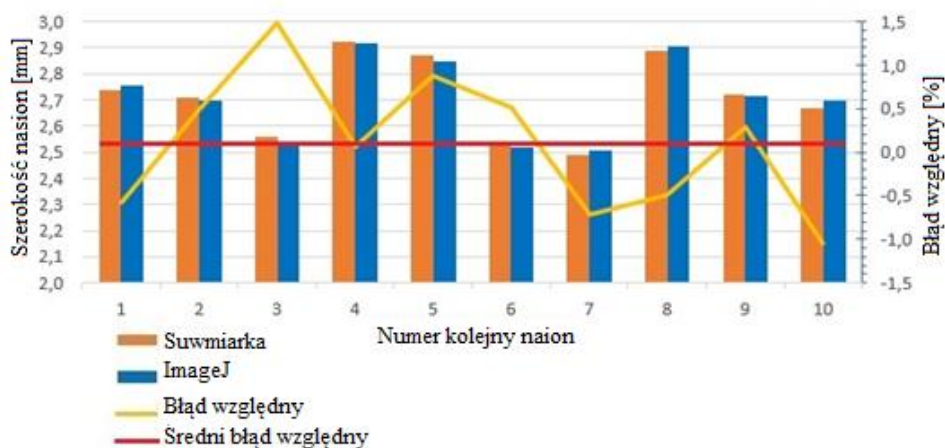
Podczas walidacji metody zdjęcia płyt z materiałem ziarnistym lub cząstkami wykonałem aparatem Sony Alpha a5100 (rozdzielczość 24,3 Mpix), wyposażonym w obiektyw Sony E 16-50 mm f/3,5-5,6 PZ OSS, który był zawieszony centralnie nad płytą z materiałem ziarnistym. Soczewkę umieściłem w odległości 20 cm od próbki. Odległość wyznaczyłem eksperymentalnie, wykonując wstępną serię zdjęć (z każdej przyjętej w teście wstępnej odległości wykonałem po pięć zdjęć – odległość zmieniano co 2,5 cm w zakresie od 15 cm do 25 cm). Odległość obiektywu powinna być ustalona tak, aby obraz był ostry a cała płytka widoczna. W celu określenia skali pomiarowej, przedmiot (płytkę wzorcową) o znanej średnicy umieszczałem na każdej płytce z materiałem ziarnistym lub cząstkami. Przykład płyty z widokiem nasion żyta ozimego odmiany Antonińskie i płytki wzorcowej przedstawiłem na rysunku 1b.

Zastosowana w badaniach aplikacja umożliwia m. in. korekcję parametrów, zarówno obrazów w 8-bitowej skali szarości, jak i obrazów kolorowych RGB poprzez wygładzanie, wyostrzanie, wykrywanie krawędzi, filtrowanie mediany i progowanie, a dostępny filtr czarno-biały (B&W) jest najczęściej używany w celu uzyskania większego kontrastu. Umożliwia rozróżnienie konturów materiału ziarnistego lub cząstek. Filtr ułatwia pomiar analizowanych wielkości. Na rysunku 2a przedstawiłem przykład czarno-białego filtra naniesionego na zdjęcie płyty z nasionami żyta ozimego odmiany Antonińskie, na rysunku 2b przedstawiłem okno skalowania aplikacji.



Rys. 2. Proces analizy obrazu: a) zdjęcie żyta ozimego odm. Antonińskie po zastosowaniu białego filtra; b) interface programu z ustawieniami skalowania

Aby wskazać niepewność pomiarową tej nowej metody dokonałem również jej walidacji. Na podstawie uzyskanych wyników badań wskazana metoda umożliwiła za pomocą ogólnodostępnej aplikacji ImageJ 1.52a na automatyczne obliczenie rzutu na powierzchnię (pola powierzchni), współczynnika kształtu, oraz średnicy zastępczej. Niepewność pomiaru dla długości ziarniaków wynosiła 0,88%, natomiast dla szerokości 1,48%, co przedstawiłem na rysunku 3. Niepewność ta jest akceptowalna w kontekście analizowanego procesu.



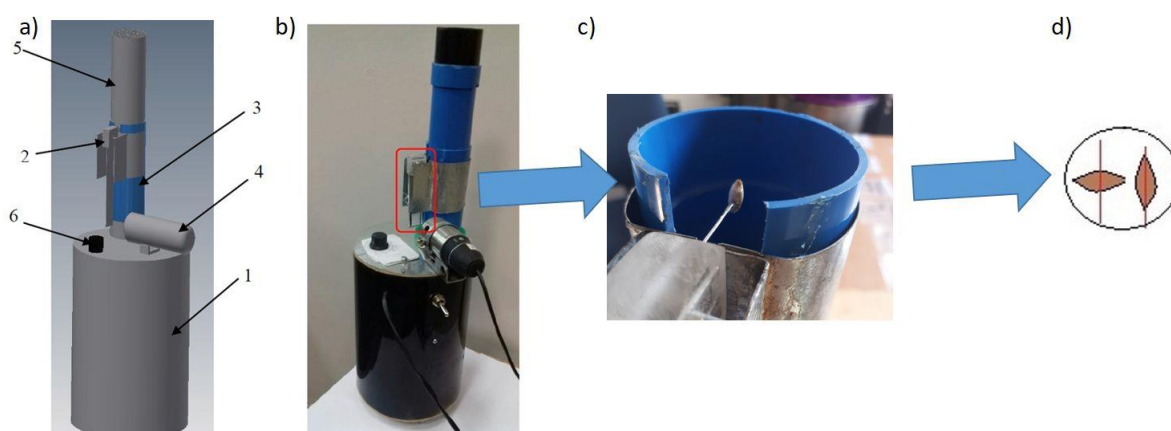
Rys. 3. Wyniki analizy porównawczej szerokości nasion żyta ozimego Antonińskiego mierzonej suwmiarką i programem ImageJ

Opisana metoda może być stosowana w wielu innych dziedzinach nauki i przemysłu do pomiaru wymiarów gabarytowych i wyznaczania współczynników kształtu nasion, cząstek i innych obiektów.

Jako drugą opracowałem metodę pomiaru oporu aerodynamicznego cząstek (nasion) wykorzystując analizę obrazu [A.2], która to została opatentowana (**PL238382**). Stosowane do tej pory metody pomiaru oporu aerodynamicznego C_x , opierały się na wyznaczeniu prędkości krytycznej w momencie zawieszenia nasiona (cząstki) w strumieniu powietrza. Uchwycenie momentu zawieszenia było dość trudne i obarczone dużą niepewnością pomiaru, bez możliwości uchwycenia oporu aerodynamicznego w płaszczyznach. Opracowana przeze mnie metoda pozwala wykonać pomiary oporu aerodynamicznego C_x w dowolnej płaszczyźnie ze zwróceniem uwagi na pozycję pionową i poziomą, której nikt wcześniej nie uwzględnił. Znajomość charakterystyk aerodynamicznych nasion jest szczególnie istotna przy projektowaniu układu transportu pneumatycznego nasion (nasiona transportowane w strumieniu powietrza) oraz obliczaniu sił działających na czujniki udarowe w takim układzie. Nasiona roślin uprawnych charakteryzują się zróżnicowaną budową morfologiczno-anatomiczną oraz różnymi właściwościami fizycznymi. Dlatego też istotne jest prowadzenie badań charakterystyk aerodynamicznych roślin nasiennych, szczególnie w celu komputerowej symulacji ruchu nasiona transportowanego w powietrzu, czyli przepływu dwufazowego. Ziarniaki swobodnie umieszczone w strumieniu powietrza są transportowane dzięki sile aerodynamicznej. Wartość i kierunek siły aerodynamicznej zależą od właściwości mikro- i makrogeometrycznych powierzchni nasion oraz geometrii orientacji w przepływie powietrza. Właściwości aerodynamiczne nasion charakteryzują trzy wskaźniki: prędkość krytyczna V_{kr} , współczynnik oporu C_x , współczynnik lotności f . Na potrzeby symulacji kluczowe jest wyznaczenie współczynnika C_x .

W ramach tej pracy [A.2] przedstawiłem metodę i stanowisko badawcze do pomiaru charakterystyk aerodynamicznych nasion (cząstek) w dowolnej płaszczyźnie z wykorzystaniem technik wizyjnych. W tym celu opracowałem schemat i zbudowałem stanowisko w postaci mikrotunelu aerodynamicznego oraz napisałem kod programu, który odczytuje zmiany wahadła w pozycji zarejestrowanej na zdjęciach. Na rysunku 4 przedstawiam schemat stanowiska badawczego w postaci mikrotunelu aerodynamicznego, którego głównym elementem jest wahadło z igłą **2** umożliwiające zawieszenie badanych obiektów w każdej płaszczyźnie. Na potrzeby walidacji wyników symulacji DEM przebadalem opór aerodynamiczny w pozycji pionowej i poziomej. Pozostałe elementy to silnik elektryczny z wentylatorem (dmuchawą) **1** zapewniającym przepływ powietrza o zadanych parametrach, tunel aerodynamiczny i kanał **3** wraz z wkładem wyrównującym profil nadmuchu **5**. Elementem rejestrującym wychylenia wahadła do pozycji końcowej (statycznej) jest kamera mikroskopowa **4** o powiększeniu 500×.

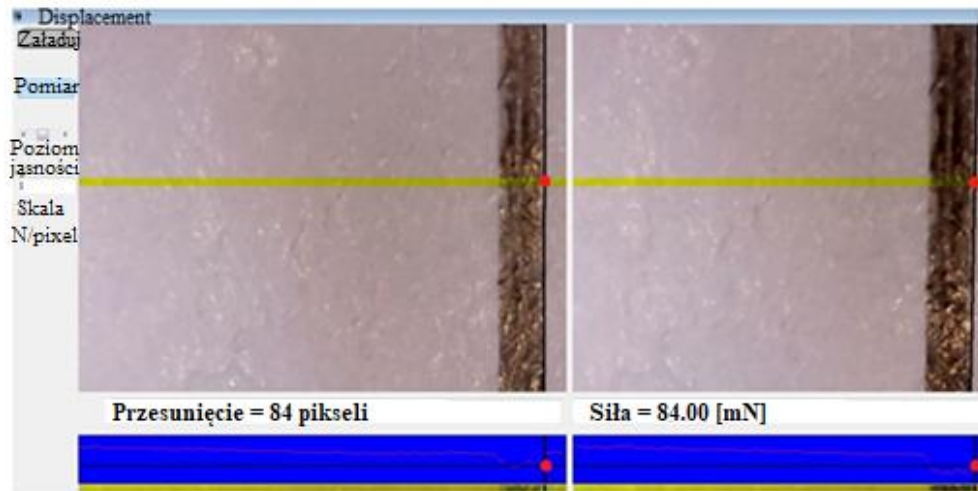
Celem eliminacji zakłóceń pomiarowych zaplanowałem wyrównać profil prędkości powietrza poprzez zastosowanie wkładki wyrównującej. Na obecnym etapie zaproponowałem wkładkę w postaci plastra miodu wykonanego z ułożonych równoległe, o jednakowej długości słomek. Do stanowiska należy również zaliczyć część pomiarową w postaci miernika Volcraft VPT-100, do pomiaru prędkości przepływającego strumienia powietrza po umieszczeniu rurki Prandtla w kanale **3** z dokładnością $\pm 0,8$ m/s. Zastosowanie w stanowisku regulatora prędkości obrotowej wału napędowego silnika napędzającego wentylator **6** zapewniło płynną regulację prędkości strumienia powietrza w zakresie od 15 do 35 m/s.



Rys. 4. a) Schemat stanowiska badawczego do pomiaru sił aerodynamicznych; 1 – silnik elektryczny wentylatora, 2 – wahadło z igłą, 3 – kanał, 4 – kamera mikroskopowa, 5 – wkład wyrównujący profil prędkości powietrza w kanale, 6 – regulator prędkości, b) widok rzeczywisty stanowiska – mikro kanału aerodynamicznego gdzie wahadło zostało zaznaczone czerwonym prostokątem c) widok na zawieszona na iglicy nasiona pszenżyta, d) warianty pomiaru w osi pionowej i poziomej

Do analizy wykonanych mikrokamerą fotografii wykorzystałem program „Displacement”. Program ten porównuje dwie fotografie wahadła wagi do pomiaru siły aerodynamicznej wykrywając na niej położenie czarnej linii. Z analizowanych zdjęć wybierany jest wąski pasek (oznaczony na żółto – rys. 5) i dla każdego piksela wyliczana jest wartość jednostki składowej koloru. Tworzony jest wykres jasności paska oznaczony linią czerwoną (rys. 5 – czerwona linia na niebieskim tle). Różnica położenia progu jasności na obu fotografiach jest miarą przesunięcia wahadełka, a tym samym miarą siły. Podczas

wykonywania analizy w oknie interface pojawiają się na niebieskim tle dwie linie: pozioma czarna wyznaczająca zaprogramowany próg jasności oraz pionowa czarna oznaczająca położenie wykrytego progu. Przecięcie tych dwóch linii oznaczone jest na niebieskim tle czerwoną kropką (rys. 5).



Rys. 5. Obraz podczas porównywania zdjęć – czerwoną kropką oznaczyłem punkty, które program wybierał do porównania

Przed rozpoczęciem pomiarów należy dokonać również pomiaru prędkości strumienia powietrza wkładając rurkę Prandtla do kanału **3** przez specjalny otwór. Aby wyznaczyć współczynnik oporu aerodynamicznego C_x należy przekształcić wzór na siłę oporu (1). Jest to siła styczna działająca na powierzchnię ciała, zgodnie z kierunkiem prędkości względnej płynu.

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_x \quad (1)$$

- ρ – gęstość powietrza [kg/m^3],
- v – prędkość przepływu powietrza [m/s],
- A – pole powierzchni przekroju prostopadłego do strumienia powietrza [m^2],
- C_x – współczynnik oporu aerodynamicznego [-].

Po przekształceniu otrzymujemy zależność na współczynnik oporu aerodynamicznego C_x (2):

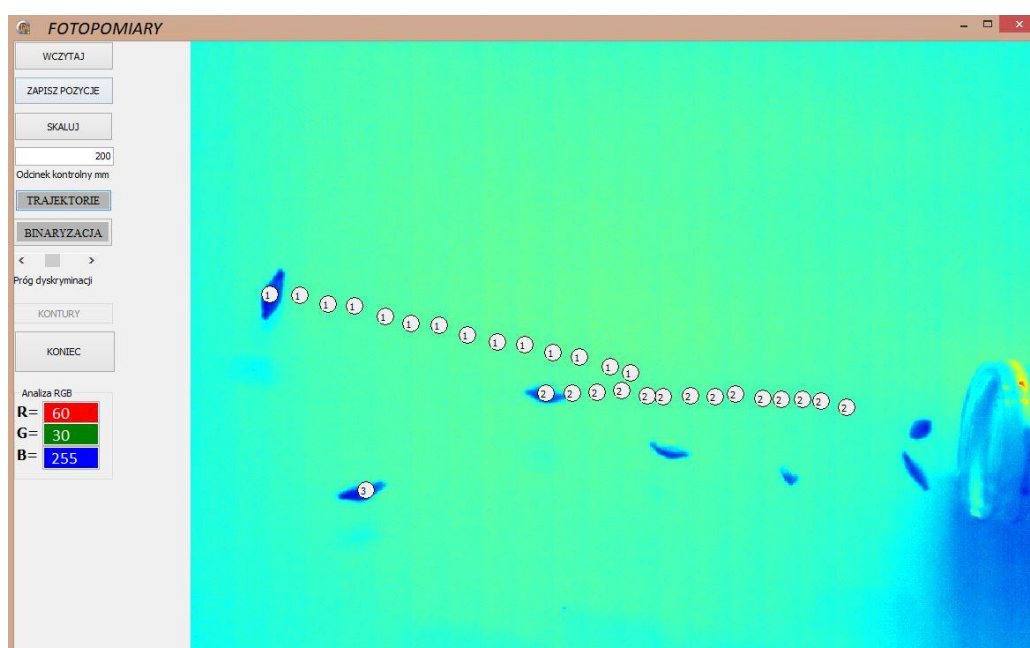
$$C_x = \frac{2F}{\rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (2)$$

Aby określić współczynnik oporu C_x należy wprowadzić wartość pola powierzchni przekroju prostopadłego do strumienia powietrza A , które można wyliczyć znając długość, szerokość oraz grubość badanego obiektu (nasiona) lub zastosować metodę bazującą na aplikacji ImageJ, która automatycznie wyznacza pole powierzchni przekroju [A.1].

Opracowana przeze mnie metoda oraz stanowisko mogą znaleźć zastosowanie w wielu innych dziedzinach nauki lub przemysłu do pomiaru sił aerodynamicznych np. granulatów pasz, które są transportowane pneumatycznie.

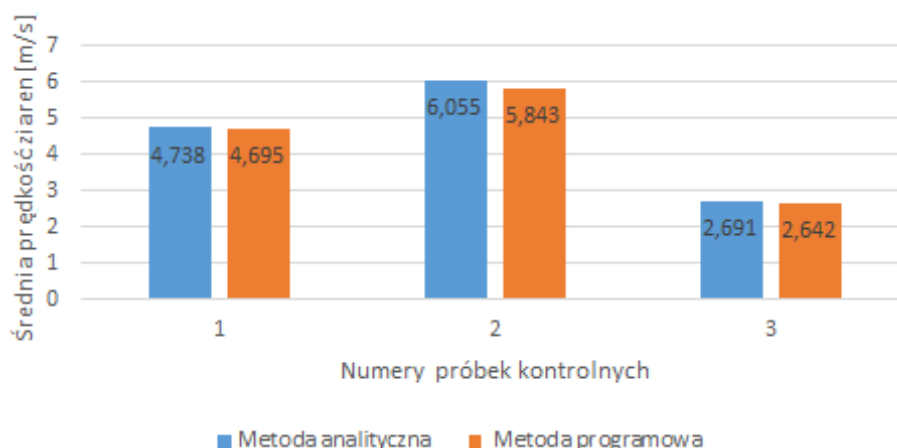
W celu oszacowania siły uderzenia nasiona w czujnik udarowy, jak również na potrzeby badań symulacyjnych opracowałem nowatorską metodę oraz stanowisko do pomiaru prędkości cząstek (nasion) transportowanych jako mieszanina nasienno-powietrzna w układzie transportowym siewnika (przewodach nasiennych) [A.3]. W literaturze naukowej i rozwiązaniach patentowych można odszukać metody pomiaru prędkości cząstek z zastosowaniem technik wizyjnych. Nowością mojej metody jest możliwość pomiaru prędkości cząstek (nasion) w rzeczywistej konfiguracji przewodu nasienno-powietrznego (w maszynach do siewu występują przynajmniej dwie konfiguracje) oraz wyznaczenia trajektorii lotu i obserwacji czynników wpływających w ruch obrotowy cząstki (nasiona).

Metoda polega na zastosowaniu serii zdjęć wykonanych kamerą szybko-klatkową np.: LAVISION: HighSpeedStar5, chronos 1.4 lub o porównywalnych parametrach technicznych i analizie prędkości cząstek i trajektorii lotu przy pomocy programu „FOTOPOMIARY”. Interface programu został przedstawiony na rysunku. 6. Program ten przeznaczony jest głównie do pomiarów prędkości obiektów na poszczególnych zdjęciach (klatkach filmu). Wykorzystuje on operacje na pikselach – wykonując binaryzację, wyciągi barwne oraz statystykę rozkładu barw. Funkcje te pozwalają na wyodrębnianie obiektów z tła na podstawie wybranych charakterystyk barwnych oraz na obliczaniu współrzędnych obiektów w wybranym układzie jednostek i ich automatyczną numerację. Główną funkcją programu "FOTOPOMIARY" jest pomiar ruchu obiektów na sekwencjach filmowych uzyskując dokładne współrzędne ziaren na każdym zdjęciu. W opracowanej metodzie niezbędne było kalibrowanie, tj. przeliczenie wartości pikseli na milimetry na podstawie zfilmowanej skali.



Rys. 6. Interface programu FOTOPOMIARY- przedstawiona trajektoria lotu

Opracowaną nową metodę zwalidowałem wykorzystując pomiary analityczne, polegające na naniesieniu pionowych prostych rozpoczynających się w środku ciężkości ziarniaka i pomiarze różnicy odległości od prawej krawędzi zdjęcia. Przykładowe wyniki badań prędkości dla nowej metody i metody analitycznej przedstawiono dla 3 nasion pszenicy na rysunku 7.



Rys. 7. Porównanie średniej prędkości ziarna wyznaczonej nową metodą i metodą analityczną

Wykonana przeze mnie walidacja na nasionach pszenicy wykazała, iż różnica błędów między opracowaną nową metodą a metodą analityczną plasuje się na akceptowalnym poziomie 2%. Opracowana metoda i stanowisko są uniwersalne, ponieważ umożliwiają pomiar prędkości dla różnych nasion zbóż i innych roślin uprawnych, a nawet cząstek w przewodzie o dowolnej geometrii i konfiguracji układu transportującego.

Swoje osiągnięcia przedstawiam w oparciu o opis cyklu publikacji wspomaganých patentami, w których wykorzystałem doświadczenie oraz autorskie metody właściwości fizycznych ziarniaków, zarówno w zakresie realizacji pomiarów, jak i wyznaczania wskaźników jakości wysiewu nasion.

Przygotowując się do dalszych etapów prac nad układami monitorowania i sterowania ruchem materiału ziarnistego na wstępie dokonałem analizy porównawczej trzech typów fotoelektrycznych czujników nasion, stosowanych do kontrolowania wysiewu [11]. Pierwsze dwa przebadane czujniki (I i II) to autorskie konstrukcje opracowane w projekcie rozwojowym nr N R03 0021 06/2009, w którym byłem głównym wykonawcą. Natomiast trzeci czujnik (III) to stosowany seryjnie w wielu siewnikach Dickey John Sensors [US4555624A].

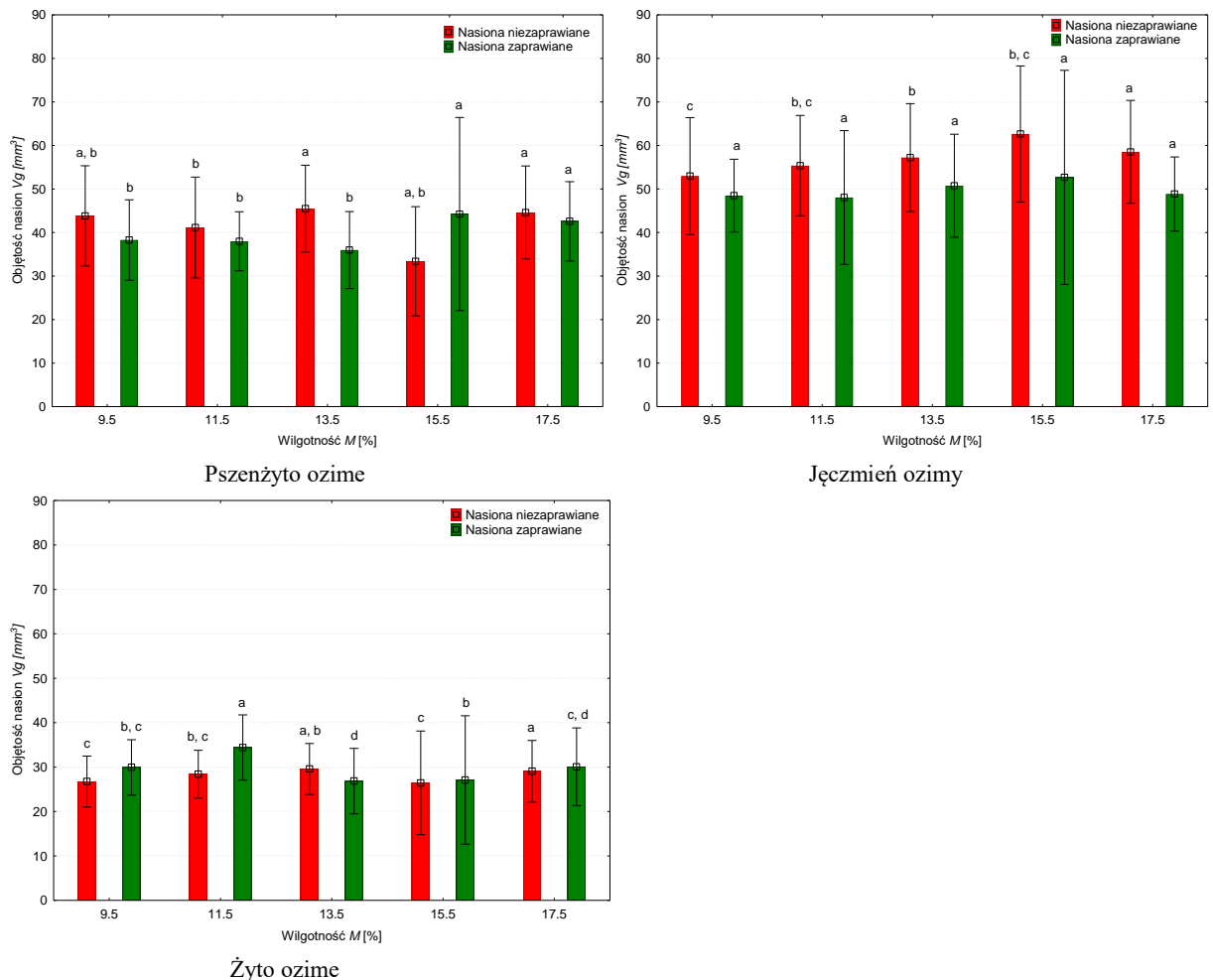
Badania miały na celu wyznaczenie błędów zliczania wysiewanych nasion w rzeczywistych warunkach niejednorodnego dozowania ziarna pszenicy, jakie występuje w siewnikach rzędowych oraz punktowych przy wielokrotnym wysiewie. Dozowanie ziarna realizowano w trzech wariantach, podając je po jednym w równomiernych odstępach czasu oraz po dwa lub trzy. Miarą dokładności zliczania był tzw. współczynnik zauważalności ziaren P_n , który zdefiniowałem jako stosunek liczby nasion zliczonych do liczby nasion wysianych wyrażany procentowo. Postać współczynnika zdefiniowałem dla czujników optycznych, udarowych i wizyjnych. Dla ziaren pszenicy dozowanych po jednym najwyższą wartość współczynnika zauważalności P_n odnotowano w przypadku czujnika numer III, natomiast dla ziaren pszenicy dozowanych po trzy, wartości współczynnika zauważalności P_n dla czujników numer II i III osiągnęły podobne wartości ($P_{nII} = 79,2\%$; $P_{nIII} = 77,5\%$). Przeprowadzone badania były badaniami wstępnymi wykonanymi celem zebrania informacji i nakreślenia perspektywy kierunku rozwoju konstrukcji czujników i układów monitorowania siewników uniwersalnych.

Pozytywne doświadczenia z czujnikami piezoelektrycznymi skłoniły mnie do planowania dalszego doskonalenia konstrukcji układów kontroli procesu wysiewu nasion w siewie

maszynowym z wykorzystaniem czujników udarowych (piezoelektrycznych) i wizyjnych opartych o techniki obrazowania wspieranych narzędziami do identyfikacji nasion (obiektów). Prace badawcze i konstrukcyjne w tym zakresie wykonałem w ramach projektu LIDER VIII, którego byłem kierownikiem. W pierwszej fazie dokonałem przeglądu parametrów technicznych i cech użytkowych siewników uniwersalnych. W szczególności zwróciłem uwagę na parametry i cechy, które mają bezpośredni wpływ na jakość zabiegu siewu nasion [12].

Również z analizy literatury wywnioskowałem, że dokładność wyników badań symulacyjnych zależy od dokładności odwzorowania wymiarów ziarniaków (cząstek). W kolejnej pracy [A.4], należącej do drugiego etapu mojego osiągnięcia naukowego, pt. „Badania symulacyjne i laboratoryjne” przedstawiam wyniki badań wpływu wilgotności na zmiany właściwości fizycznych, tj. długości, szerokości, grubości i masy nasion zbóż zaprawianych i nie zaprawianych w celu usprawnienia procesu symulacji metodą elementów dyskretnych (DEM). Jak wynika z dostępnych danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) nasiona w Polsce, ale także i w innych krajach, takich jak Hiszpania są przechowywane najczęściej w płaskich murowanych spichlerzach lub magazynach pionowych, gdzie mają dostęp do powietrza atmosferycznego. Prowadzone badania w Hiszpanii wykazały ścisłą zależność między wilgotnością powietrza a zawartością wilgoci w nasionach. Wykazano, że wilgotność powietrza w budynkach oscyluje w zakresie od 65% do 85% i ma to wpływ na jakość magazynowanych ziarniaków, które w dużej części, po okresie przechowywania, są wykorzystywane jako materiał siewny.

Badania przeprowadziłem na nasionach trzech gatunków zbóż ozimych obok pszenicy najczęściej uprawianych w Polsce, tj. pszenżyta, żyta i jęczmienia. Nasiona o wilgotności początkowej około 7% nawilżałem do pięciu poziomów w zakresie od 9,5% do 17,5%, z przyrostem co 2%. Analiza statystyczna wykazała, że wraz ze zmianą wilgotności nasion istotnie zmieniały się ich właściwości fizyczne, tj. ich długość, szerokość, grubość i masa. Wraz ze wzrostem wilgotności nasion występowały większe różnice w ich masie. Średni przyrost masy tysiąca ziaren wynikający ze wzrostu ich wilgotności wahał się od 4 mg do 6 mg. Ze względu na niejednoznaczny charakter zmian cech fizycznych pszenżyta, nasion jęczmienia i żyta oraz współczynników opisujących ich kształt w zależności od ich rodzaju wilgotności konieczne było obliczenie objętości nasion V_g . Na podstawie analizy wyników badań wykazałem, że chociaż były pewne różnice w zmianach objętości zaprawianych i niezaprawianych nasion w obrębie tego samego gatunku, to charakter tych zmian był ogólnie podobny. Zmiana wilgotności nasion z 9,5% do 17,5% istotnie zwiększyła objętość nasion żyta w zakresie od 3,10% do 14,99%, pszenżyta od 1,00% do 13,40% oraz jęczmienia od 1,00% do 15,33%. Szczegółowe zmiany objętości V_g dla ziaren pszenżyta ozimego, jęczmienia ozimego oraz żyta ozimego przedstawiłem na rysunku 8. Uzyskane zależności świadczą o tym, że objętość nasion może posłużyć jako parametr dla potrzeb doskonalenia procesu symulacji metodą elementów dyskretnych (DEM).



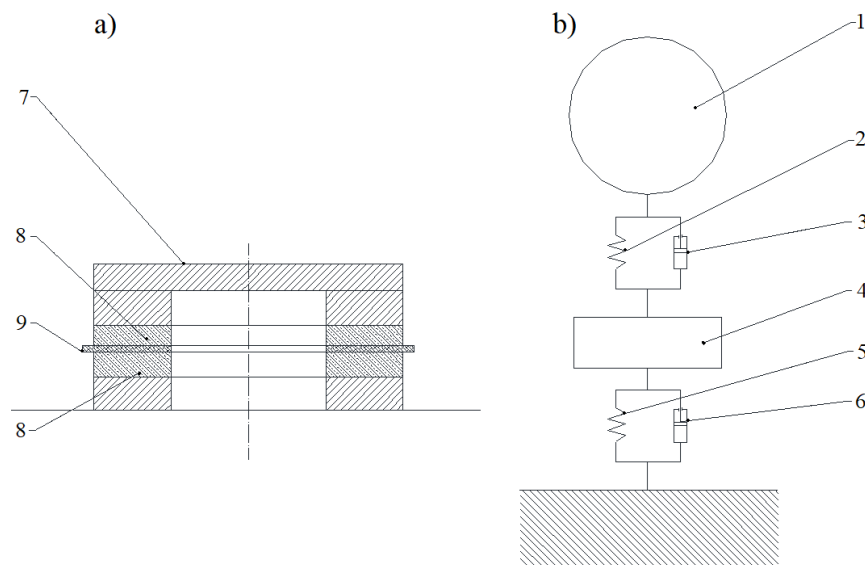
Rys. 8. Objętość ziarniaków niezaprawionych i zaprawionych pszenżyta ozimego, jęczmienia ozimego i żyta ozimego. Uwaga: a, b, c, d – różne litery oznaczają istotne różnice przy $p < 0,05$ w grupie nasion zaprawionych i niezaprawionych (test Duncana)

Jak wiadomo z analizy literatury dokładność metody elementów dyskretnych (DEM) zależy również od precyzyjnie opracowanych modeli matematycznych styków. Dokonujący się postęp w dziedzinie technik komputerowych spowodował, że metody symulacyjne są stosowane w wielu dziedzinach nauki, np.: badaniach szerokiej gamy procesów zachodzących w maszynach roboczych, w tym również maszynach rolniczych. Metody te pozwalają na symulowanie bardzo złożonych zjawisk fizycznych, do których można zaliczyć – ruch nasion w układach funkcjonalnych siewników do transportu materiału nasiennego. W tym celu wykorzystałem metodę DEM, która została opracowana 1971 r. przez Cundalla i Stracka [13].

Metoda polega na bezpośrednim całkowaniu równań ruchu układu ziaren, na które działają siły – aerodynamiczne, elektrostatyczne, kontaktowe. Z wymienionych sił najważniejszymi są siły kontaktowe powstające między ziarnami oraz powierzchniami ograniczającymi przestrzeń ich ruchu [13]. O dokładności metody decydują przede wszystkim opracowane modele matematyczne kontaktów. Dlatego też w pracy badałem metodami symulacji komputerowej charakter sił kontaktowych generowanych przez czujnik piezoelektryczny w momencie uderzenia nasiona w płaską powierzchnię czujnika zainstalowanego na końcu przewodu transportującego lub w redlicy [A.5]. W symulacji komputerowej zderzenia ziarna z powierzchnią piezoelektrycznego czujnika siły

wykorzystałem prosty, dwumasowy model układu czujnik siły–ziarno (nasiono). Model ten zaprezentowałem na rysunku 9, gdzie na rysunku 9b masa m_2 **1** dotyczy badanego ziarna, natomiast masa m_1 **4** reprezentuje zredukowaną masę czujnika piezoelektrycznego podlegającego przesunięciu podczas uderzenia. Odpowiednio dobrana przez mnie sprężyna k_1 **5** ma za zadanie reprezentować podatność sprężystą (siły sprężystości) piezoelektrycznego czujnika natomiast odpowiednio dobrana druga sprężyna k_2 **2** wskazuje wartość sztywności kontaktu ziarna z powierzchnią czujnika piezoelektrycznego [14, 15]. Wartości masy i sprężystości czujnika dobrałem tak, aby jego częstotliwość rezonansowa odpowiadała założonej wartości częstotliwości rezonansowej (40 kHz) standardowego czujnika piezoelektrycznego. Na podstawie literatury wyróżnić należy trzy modele kontaktu, tj. idealnie plastyczny, sprężysto-plastyczny lub lepko-sprężysty. Dla modelowania sztywności czujnika przyjąłem model liniowy, lepko-sprężysty z liniowym tłumieniem, gdyż z analizy literatury wynika, że model ten był najbardziej odpowiedni [16, 17, 18, 19].

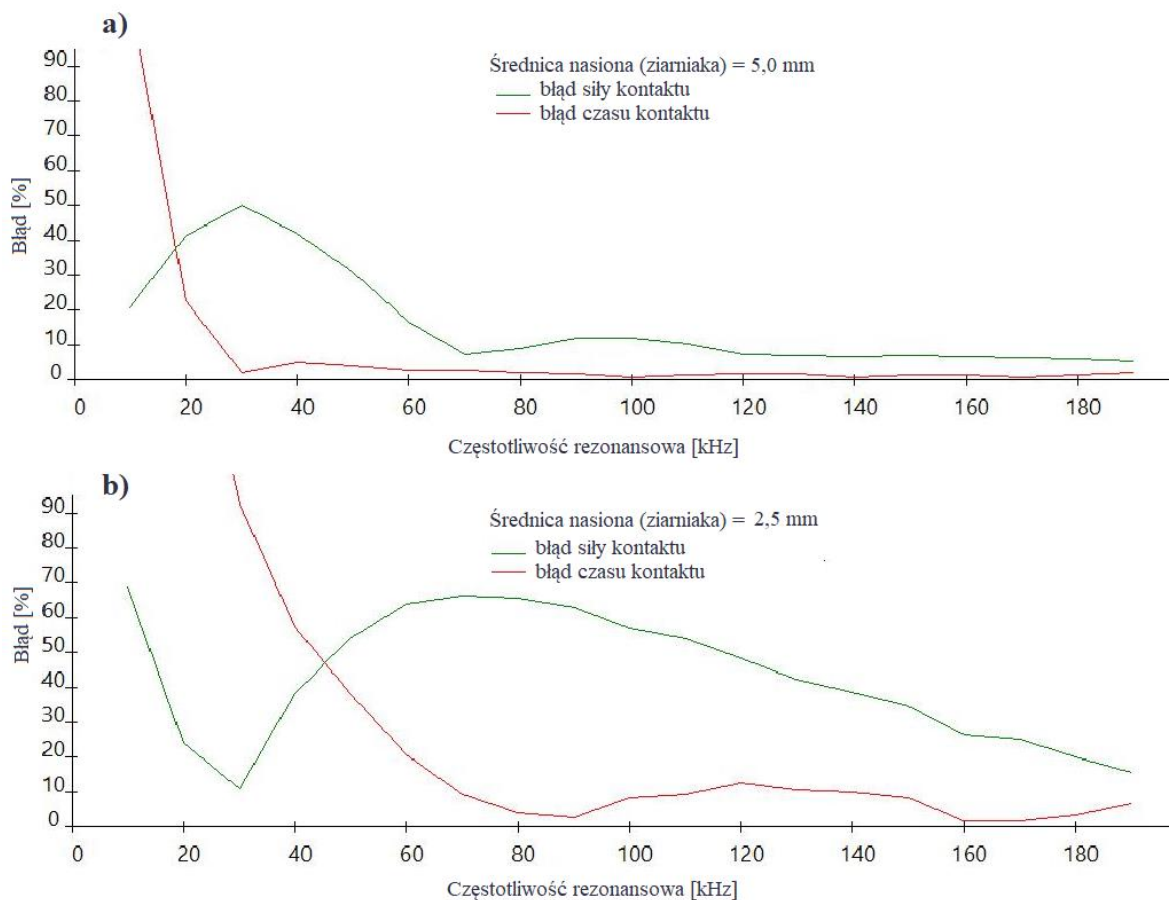
W pracy skupiłem się na ocenie wpływu właściwości dynamicznych piezoelektrycznego czujnika siły na dokładność pomiaru przebiegu sił uderzenia nasiona o sztywną powierzchnię czujnika. Zagadnienie zostało zbadane metodą symulacji komputerowej, tj. metodą elementów dyskretnych (DEM). Do obliczeń wykorzystałem autorskie oprogramowanie komputerowe z głównym modułem obliczeniowym i procedurami wprowadzania danych, w którym wyniki symulacyjne prezentowane są w formie graficznej.



Rys. 9. Schemat piezoelektrycznego czujnika siły (a) i model fizyczny układu czujnika piezoelektrycznego w momencie uderzenia (b): **1** masa ziarna m_2 , **2** sztywność kontaktowa ziarna k_2 , **3** parametr tłumienia ziarna c_2 , **4** masa czujnika siły m_1 , **5** sztywność piezoelektrycznego czujnika siły k_1 , **6** tłumienie elementu pomiarowego przetwornika siły c_1 , **7** tarcza czujnika, **8** kryształy piezoelektryczne i **9** elektroda

Za miary dokładności wyników z symulacji przyjąłem dwa parametry: błąd siły kontaktu – wyznaczony jako procentowy wskaźnik ilorazu wartości maksymalnej siły rejestrowanej przez czujnik do obliczonej na podstawie zależności teoretycznych siły oddziaływania nasiona na czujnik oraz błąd czasu kontaktu (trwania zderzenia), który wyznaczyłem również jako wskaźnik procentowy ilorazu odchylenia czasu kontaktu zarejestrowanego przez czujnik do

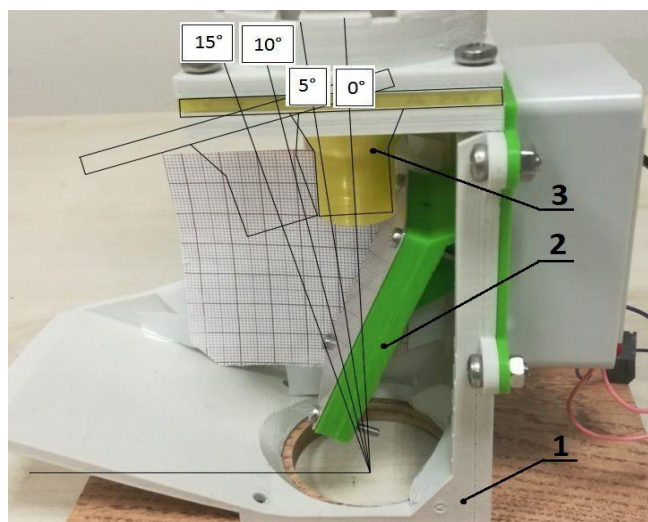
czasu kontaktu obliczonego na podstawie zależności teoretycznych. Wybrane wyniki badań tj. przebiegów tych błędów w funkcji częstotliwości rezonansowej czujnika dla nasion grubych o średnicy 5 mm oraz nasion drobnych o średnicy 2,5 mm przedstawiłem na rysunku 10. Aby wykonane badania symulacyjne poprawnie odwzorowały wartości rzeczywiste powtarzałem je 10-krotnie przy losowej wartości współczynnika sztywności nasiona (ziarniaka) zmieniającej się według rozkładu jednostajnego w granicach 50% wartości średniej. Analizując pozyskane wyniki badań symulacyjnych (rys. 10a) i 10b) stwierdziłem, że wartości wyznaczonych błędów szybko maleją wraz ze wzrostem częstotliwości rezonansowej czujnika, natomiast ich nieregularny przebieg wynika z różnego nakładania się drgań czujnika i pozyskanych impulsów siły kontaktowej (zderzenia). Wskazuje to na jednoznaczny wpływ masy przypadającej na powierzchnię kontaktu nasiona z powierzchnią pomiarową czujnika piezoelektrycznego, która zależy od średnicy (gabarytów) i gęstości właściwej nasiona (ziarniaka) wpływając na generowane błędy (rys. 10a i 10b). Uzyskane wyniki badań wnoszą nową wiedzę, jednoznacznie wskazującą, że skuteczność rejestracji zdarzeń zależy od masy właściwej nasion. Ponadto wyznaczyłem wartości częstotliwości rezonansowej zapewniające jak najwyższą skuteczność rejestracji upadających nasion. Dla ziaren drobnych, o średnicy mniejszej niż 2,5 mm, takich jak rzepak czy gorczyca aby uzyskać wiarygodne wyniki pomiaru siły kontaktu należy stosować czujniki o częstotliwości rezonansowej wyższej niż 200 kHz. W przypadku czujników komercyjnych, które charakteryzują się częstotliwością rezonansową na poziomie 50-70 kHz błędy pomiaru siły zderzenia są praktycznie pomijalne dopiero dla nasion grubych o średnicy większej niż 5 mm, takich jak groch czy kukurydza.



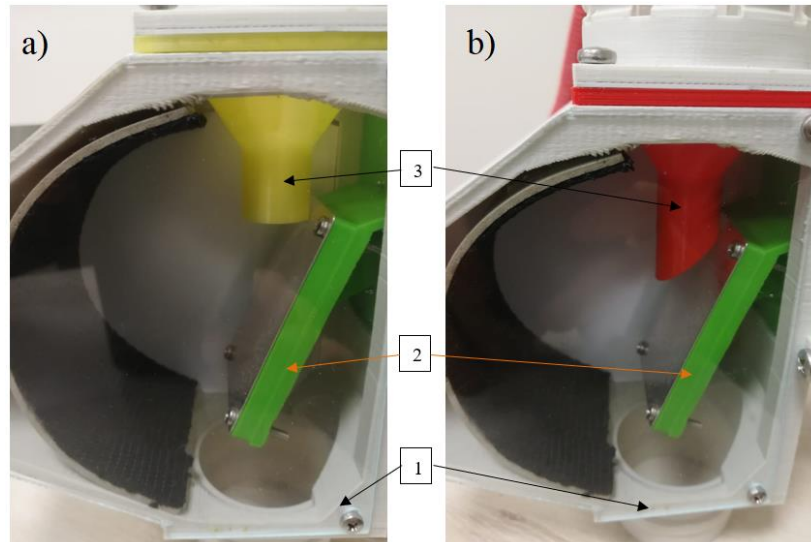
Rys. 10. Przebieg błędów: a) dla ziaren grubych o średnicy 5 mm, b) drobnych o średnicy 2,5 mm w zależności od funkcji częstotliwości rezonansowej czujnika

Na podstawie pozyskanych wyników badań symulacyjnych stwierdzam, że kluczowy wpływ na precyzję modelowania przebiegu siły uderzenia miała częstotliwość drgań własnych (częstotliwość rezonansowa) piezoelektrycznego czujnika siły oraz masa właściwa nasiona wynikająca ze średnicy (gabarytów) nasiona. W obliczeniach symulacyjnych DEM dla twardych drobnych ziaren, ze względu na trudności wykonania wiarygodnych pomiarów siły uderzenia, można przyjmować uproszczony model siły kontaktowej o parametrach wyznaczanych na podstawie pomiaru współczynnika restytucji, który silnie zależy od prędkości zderzenia, masy właściwej wynikającej z wymiarów gabarytowych nasiona, powierzchni z którą się ono zderza oraz czasu kontaktu. Pozyskane wyniki badań pomogły jednoznacznie wskazać istotę prawidłowego doboru parametrów czujników piezoelektrycznych stosowanych w układach monitorujących ruch materiału ziarnistego w układach wysiewających maszyn do siewu oraz w układach transportowych innych maszyn transportujących materiał ziarnisty czy granulowany, jak również prawidłowo dobrać parametry czujników pomiarowych.

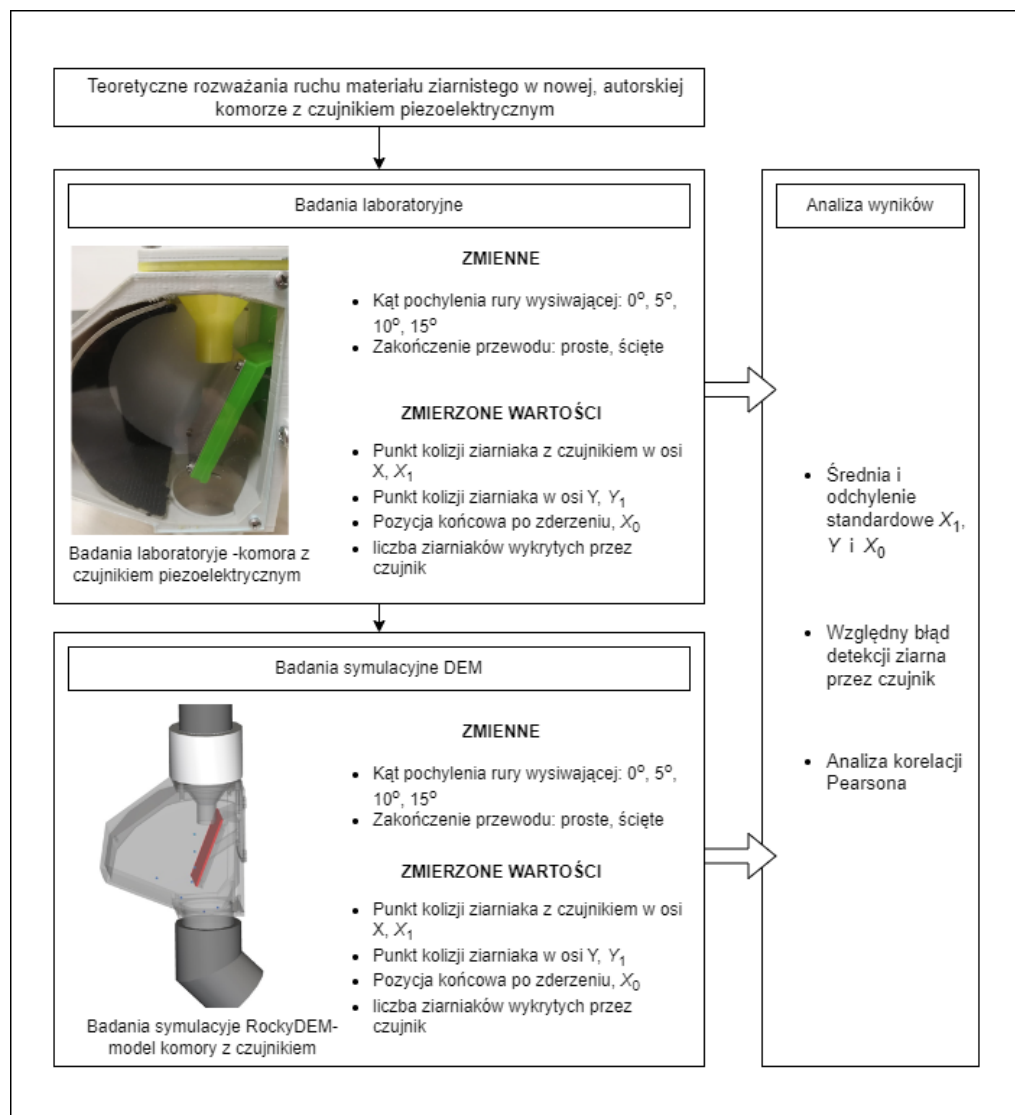
W ramach dalszych prac realizowanych w drugim etapie osiągnięcia naukowego oraz w trakcie realizacji projektu LIDER VIII podjąłem się symulacji i analizy ruchu ziaren w układzie wysiewającym oraz analizy skuteczności działania oryginalnego czujnika piezoelektrycznego [A.6], który został zgłoszony do opatentowania (P.438435) oraz wyróżniony nagrodą specjalną na Targach iENA w 4-7.11.2021 Nuremberg, Germany 2021 za rozwiązanie: pt. „Udarowy system kontroli przepływu i zatkań mieszanin ziarnistych”. W ramach niniejszej pracy dokonałem analizy wpływu pochylenia przewodu nasiennego w zakresie czterech kątów tj. 0°, 5°, 10°, 15°, co przedstawiam na rysunku 11 oraz zakończenia otworu wylotowego nasion (zakończenie proste i skośne, które przedstawiam na rysunku 12), na współrzędne punktu odbicia ziarna od czujnika oraz błędy wskazań liczby nasion wysiewanych, zidentyfikowanych przez czujnik piezoelektryczny. Szczegółowy plan badań symulacyjnych i laboratoryjnych opatentowanej konstrukcji komory z czujnikiem piezoelektrycznym przedstawiam na rysunku 13. Badania symulacyjne wykonałem w programie Rocky DEM, gdzie dla siły normalnej przyjąłem model Dashpota, dla siły stycznej model Mindlina-Deresiewicza, a dla sił przyczepności model liniowy. Ze względu na pojedynczy kontakt nasiona z powierzchnią czujnika podczas zderzenia opory toczenia pominąłem. Symulacja trwała 5 s, a wyjściowa częstotliwość wynosiła 0,1 s.



Rys. 11. Schemat pochylenia przewodu transportującego (nasiennego): 1 – obudowa czujnika, 2 – czujnik piezoelektryczny, 3 – otwór wylotowy



Rys. 12. Kształt zakończenia otworu wylotowego: (a) układ prosty, (b) układ ukośny: 1 – obudowa czujnika, 2 – czujnik piezoelektryczny, 3 – otwór wyjściowy



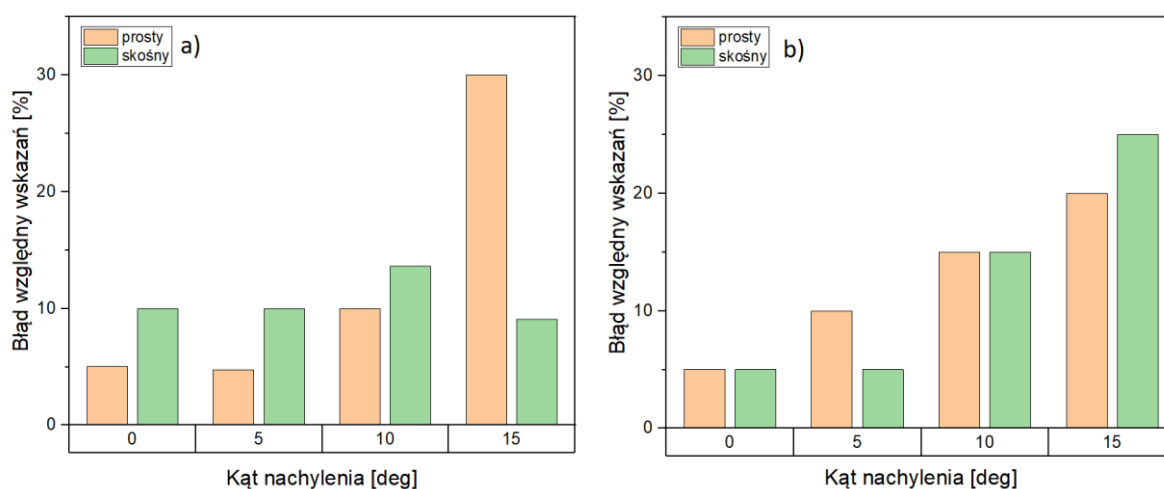
Rys. 13. Schemat badań symulacyjnych i laboratoryjnych opatentowanej konstrukcji komory z czujnikiem piezoelektrycznym

Aby ocenić przydatność wskazanych wariantów opatentowanej konstrukcji komory z czujnikiem piezoelektrycznym określiłem błąd względny zgodnie z wzorem (3) [20].

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = \frac{|x - x_0|}{x} \cdot 100\% \quad (3)$$

Szczegółowe wyniki z badań eksperymentalnych i symulacyjnych DEM analizy błędnych wskazań opatentowanej konstrukcji komory z czujnikiem piezoelektrycznych w zależności od kąta nachylenia przewodu transportującego oraz kształtu zakończenia przewodu przedstawiam na rysunku 14. Zarówno z symulacji, jak i badań eksperymentalnych wynika, że największy błąd wskazania czujnika stwierdzono dla kąta pochylenia 15°, natomiast najmniejszy dla kąta pochylenia równego 0°. Zauważyłem również, iż błąd wskazania czujnika wzrasta wraz ze wzrostem kąta pochylenia przewodu transportującego (nasiennego).

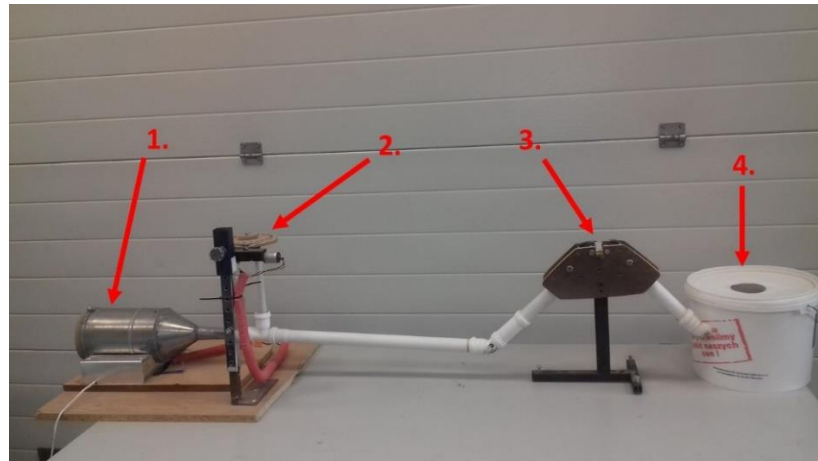
Uzyskane niskie wartości błędów wskazań czujnika (do 10%), szczególnie dla małych kątów pochylenia (0° i 5°) świadczą o wysokiej skuteczności wykrywania nasion, porównywalnej z innymi czujnikami stosowanymi w układach monitoringu siewników z czujnikami np. fotoelektrycznymi, czy na podczerwień, i potwierdzają przydatność opracowanej konstrukcji do zastosowań komercyjnych. Jednocześnie opatentowana przeze mnie konstrukcja komory z czujnikiem piezoelektrycznym umożliwia szybszą reakcję układów monitorowania siewników na zdarzenia niepożądane poprzez możliwość usytuowania na końcu przewodu lub w redlicy (czujnik odporny na zapylenie).



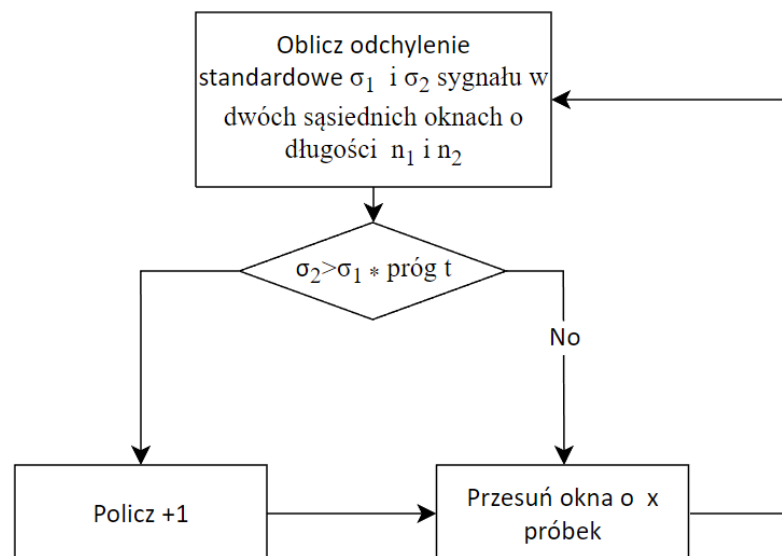
Rys. 14. Wyniki analizy błędnych wskazań czujnika piezoelektrycznego w zależności od kąta nachylenia przewodu nasiennego oraz kształtu zakończenia przewodu: a) eksperymentalne, b) symulacyjne

Trzecim etapem dokonania naukowego a zarazem ważnym zagadnieniem naukowym jest **opracowanie wytycznych techniczno-konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych** układów monitorowania jakości wysiewu materiałów ziarnistych w systemach transportowych siewników uniwersalnych. Jako pierwszy przebadalem autorski (numer ochrony patentowej **PL236804**) nowatorski czujnik piezoelektryczny zbudowany na bazie foli PVDF. Badania przeprowadziłem na stanowisku odzwierciedlającym pojedynczy przewód transportowy w siewniku pneumatycznym (rys. 15) oraz wykorzystałem układ pomiarowy o dużej impedancji implementujący opracowany nowy algorytm detekcji sygnału, którego

schemat przedstawiam na rysunku 16 [A.7]. Nowy algorytm detekcji sygnału ma wbudowany mechanizm nasycenia umożliwiający uniknięcie podwójnego zliczania uderzeń ziarniaków. Kluczową kwestią było odpowiednie dobranie czasu trwania okien. Doświadczalnie sprawdziłem i wybrałem długość pierwszego okna równą 10 ms a drugiego 2 ms. Dodatkowo w celu uniknięcia zakłóceń składowych szumu, sygnał filtrowałem za pomocą eliptycznego filtra górnoprzepustowego.

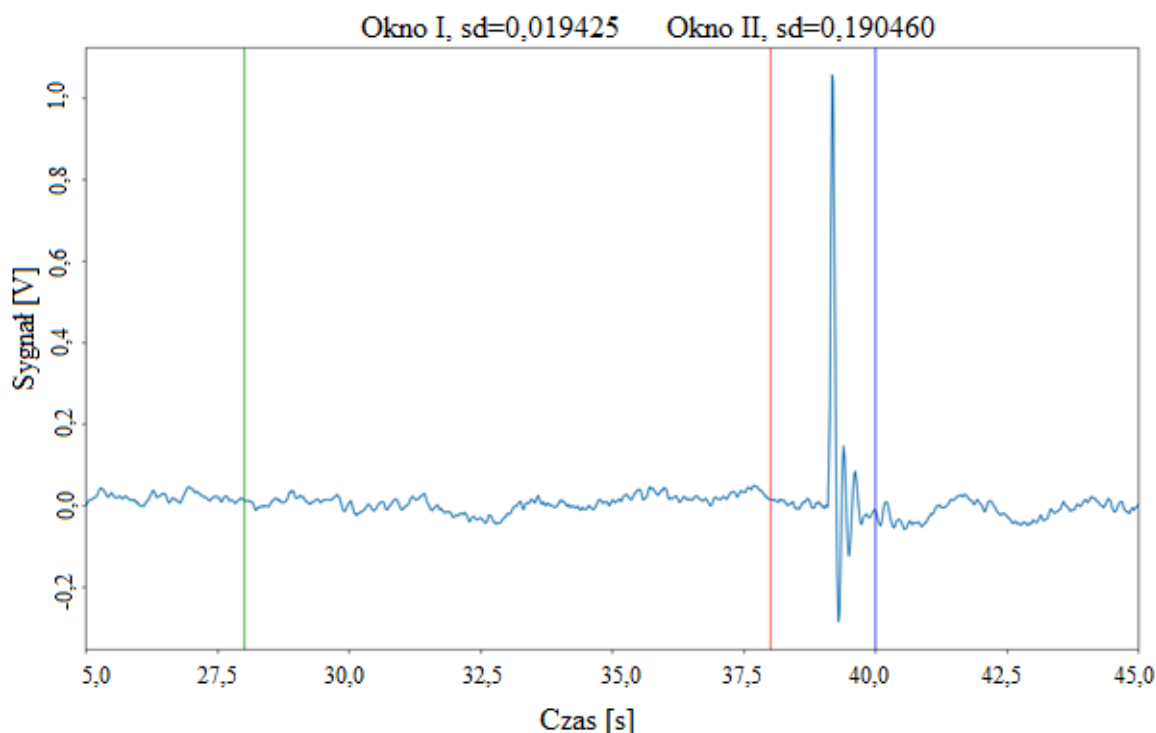


Rys. 15. Schemat stanowiska badawczego: 1 — dmuchawa, 2 — zespół dozujący, 3 — opatentowany czujnik piezoelektryczny PVDF, 4 — zbiornik na nasiona



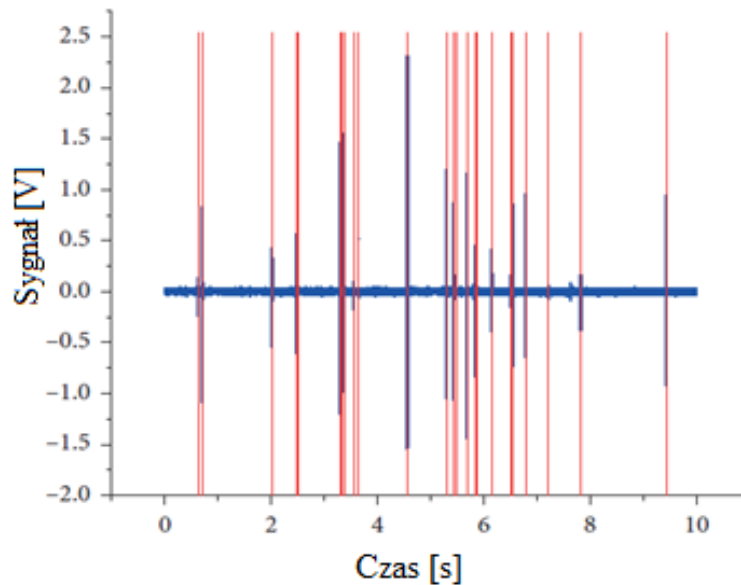
Rys. 16. Schemat nowego autorskiego algorytmu selekcji sygnału

W celu wyselekcjonowania poprawnych sygnałów przetestowałem nowy, autorski algorytm. Jego działanie opiera się na analizie zmienności sygnału z opatentowanego czujnika. Algorytm wpisuje wyniki statystyk (odchylenia standardowe) w dwa sąsiednie okna czasowe o różnej długości. Fragment przykładowego sygnału z dwoma sąsiadującymi oknami rejestrującymi wykryte nasiona w czasie rzeczywistym przedstawiłem na rysunku 17, gdzie na górze przedstawiam wartości odchylenia standardowego dla okna I = 0,019425 i II = 0,190460.

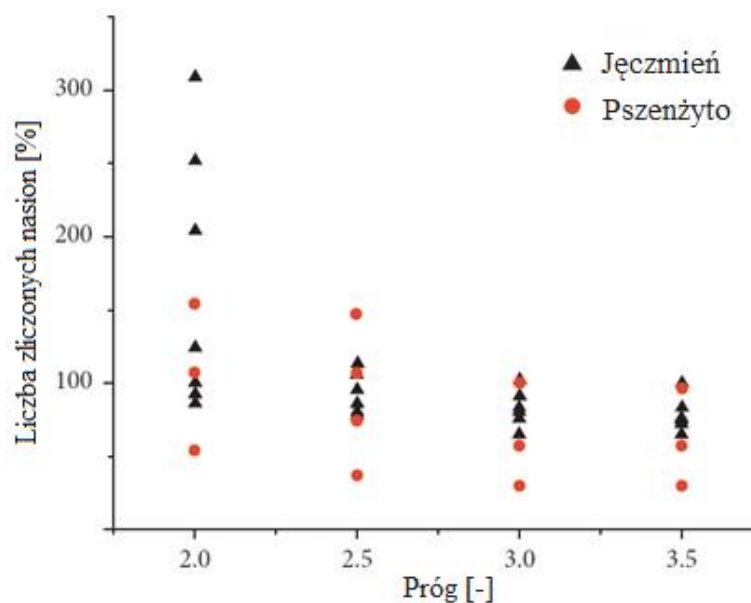


Rys. 17. Fragment przykładowego sygnału z dwoma sąsiadującymi oknami rejestrującymi wykrycie ziarniaka, sd – odchylenie standardowe

Aby upewnić się, że opracowany, autorski algorytm we współpracy z opatentowanym czujnikiem sprawdzi się dla różnych rodzajów nasion, wykonałem test jakościowy dla dwóch rodzajów nasion zbóż ozimych, tj. jęczmienia i pszenżyta. W pierwszej kolejności ziarniaki dozowałem precyzyjnie podajnikiem obrotowym w trzech odstępach czasu tj. co 450, 230 i 160 ms oraz symulując najmniej korzystny przypadek dozowania kołeczkowym zespołem wysiewającym (nieregularne dozowanie). Dla tej sytuacji na rysunku 18 przedstawiam rezultat opracowanego autorskiego algorytmu, gdzie zaznaczony jest sygnał z wykrytymi szczytami dla testowego progu 2,5. Niebieskimi liniami pokazałem wartości sygnału a czerwonymi liniami oznaczoną detekcję wykonaną przez algorytm. Można stwierdzić, że wszystkie istotne nasiona zostały policzone, oprócz jednego nasiona między 7,5-8 s. Zaprezentowane przeze mnie na rysunku 18 wyniki badań dowodzą, że algorytm odróżnia sygnały „pasożytniczych” (tzw. szumów) pochodzących od zanieczyszczeń, drgań redlicy lub przewodu nasienno-powietrznego od oryginalnych sygnałów pochodzących od nasion. Na rysunku 19 zaprezentowałem wyniki ilości zliczeń dla nasion jęczmienia i pszenżyta ozimego w zależności od ustalonej wartości progowej (Treshold) użytej w algorytmie. Analiza tych wyników badań sugeruje, iż najbardziej efektywny jest próg w zakresie od 2,5 do 3,0. Przy mniejszych wartościach progowej występował efekt nadliczania liczby zdarzeń, tj. liczby nasion (podwójnego a nawet potrójnego zliczania), natomiast przy wartościach progowej większych niż 3,0 algorytm „ignorował” sygnały pochodzące od prawidłowo odbitych nasion.



Rys. 18. Rozkład wyników dla opracowanego nowego algorytmu – ziarna jęczmienia w porównaniu z wartościami progowymi

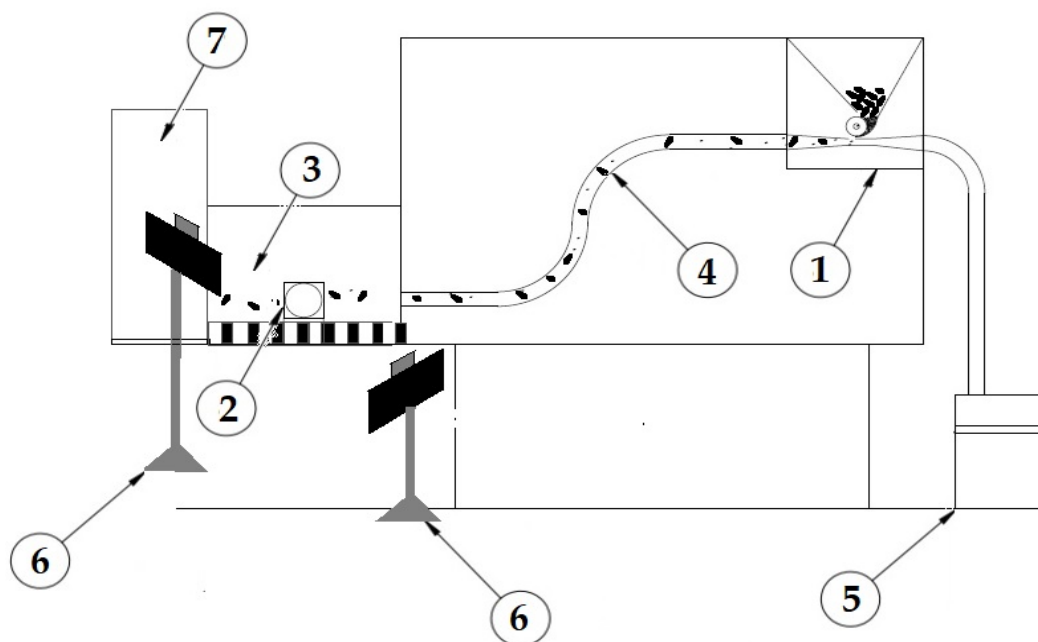


Rys. 19. Rozkład wyników dla opracowanego algorytmu, ziarniki jęczmienia i pszenżyto w porównaniu z wartościami progowymi

Zaprojektowany i zbudowany przeze mnie układ, składający się z karty pomiarowej, systemu kondycjonowania wykorzystującego nowy algorytm i opatentowanego czujnika (PL236804) bazującego na folii PVDF, dla 80% wykonanych testów jest w stanie rejestrować od 78% do 113% wysiewanych nasion. Niestety widoczny efekt nadliczania (113%) zaobserwowany w dozowaniu nieregularnym, kołeczkowym zespołem wysiewającym, wynikał z odbić o ścianki i podwójnych uderzeń o powierzchnię pomiarową czujnika. Mimo efektu nadliczania uzyskane wyniki potwierdziły, że skonfigurowany układ monitoringu może być stosowany również w praktyce. W trakcie badań wykazałem, że działanie układu zależy

od poprawnego doboru progu wyzwalania. Tak więc zaproponowany układ powinien być odpowiednio kalibrowany w zależności od prędkości powietrza transportującego nasiona oraz rodzaju ziarniaków (ich wymiarów gabarytowych i masy). Opracowany układ, w stosunku do systemów fotoelektrycznych posiada następujące zalety: wzrost dokładności zliczania ziarniaków – uzyskany dzięki pomijaniu zanieczyszczeń w postaci plew (opracowany układ jest w stanie rozróżnić cząstki o większym ciężarze – nasiona – od cząstek o mniejszym ciężarze, czyli zanieczyszczeń w postaci plew, słomy, które generują mniejszą siłę uderzenia). W proponowanym przez mnie układzie z opatentowanym czujnikiem w postaci folii PVDF ciężkie warunki pracy – w postaci zapylenia, nie mają wpływu na dokładność (skuteczność) zliczania nasion.

Kolejnym krokiem formułowania **wytycznych techniczno-konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych do budowy układów monitorowania przepływu materiałów ziarnistych** było wykorzystanie technik komputerowej analizy obrazu do zliczania ziarniaków w strumieniu zanieczyszczonym [A.8], aby przedstawić wytyczne do budowy nowych czujników wizyjnych. Na potrzeby przeprowadzenia eksperymentu zbudowałem oryginalne stanowisko umożliwiające odzwierciedlenie rzeczywistych warunków występujących podczas transportu w przewodach nasienno-powietrznych (rys. 20). W skład stanowiska wchodzi kołeczkowy zespół wysiewający 1, kamera szybko-klatkowa 2, ekran ze skalą (10 mm) 3, przewód nasienno-powietrzny 4, odkurzacz z funkcją dmuchawy i regulacją prędkości obrotowej 5, dwie lampy LED z układem stabilizującym 6 oraz pojemnik na nasiona 7.



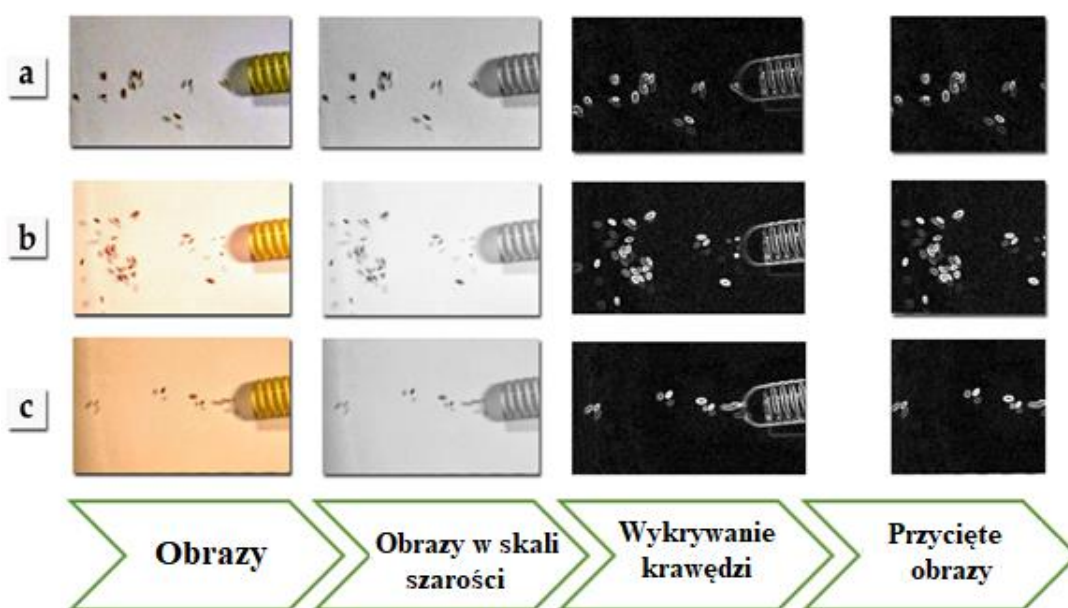
Rys. 20. Schemat stanowiska badawczego, 1 – zespół dozujący (podajnik), 2 – szybko-klatkowa kamera, 3 – ekran z skalą, 4 – przewód nasienno-powietrzny, 5 – odkurzacz z funkcją dmuchawy, 6 – oświetlenie LED ze stabilizatorem, 7 – pojemnik na nasiona

Nowością w stanowisku jest zastosowanie kamery szybko-klatkowej oraz specjalistycznego oświetlenia LED z układem stabilizującym w celu wykonania filmów. Szybko-klatkowa kamera Chronos 1.4 wyposażona jest w matrycę CMOS z migawką globalną

przeciwdziałającą efektowi rolling shutter szczególnie ważną przy filmowaniu szybko-przesuwających się obiektów oraz obiektyw o parametrach 6-60 mm f/1.7 zoom, który znajdował się w odległości 70 cm od przelatujących nasion (materiału badawczego) aby zapewnić najwyższą jakość obrazu (ostrość) nagrywanych filmów a następnie wyodrębnionych obrazów.

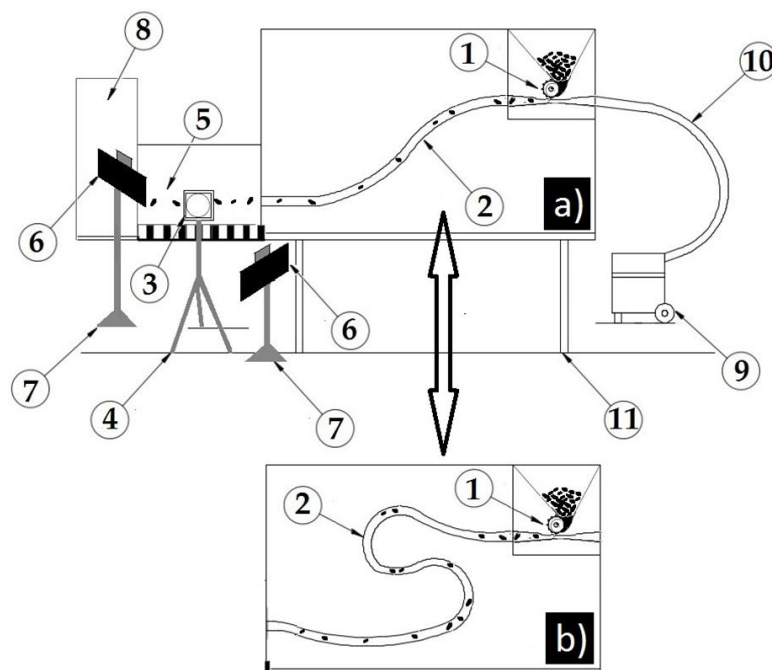
Materiał badawczy stanowiły nasiona pszenżyta odmiany Rotondo o wilgotności początkowej w poszczególnych klasach pszenżyta (rys. 21): selekcyonowany – 9,8%, drobne (tzn. poślad) – 10,7% oraz z plewami — 9,9%. Nasiona pszenżyta zebrano w jednym z lokalnych gospodarstw w miejscowości Kórnik w województwie wielkopolskim. Aby zrealizować badania określiłem dawkę w oparciu o najczęściej stosowaną w Polsce tj. 168 kg/ha, co odpowiada obsadzie około 400 szt./m².

Prowadząc eksperyment zarejestrowałem dziewięć filmów wideo w formacie MP4 z prędkością transmisji danych około 9400 kb/s i rozdzielczości obrazu 640×360. Według europejskiego standardu telewizyjnego prawidłowa liczba klatek na sekundę to 24 kl./s. W moich testach zachowałem identyczne parametry wyświetlania obrazu, tj. 58 kl./s, aby zapewnić powtarzalność wyników i porównywalne prędkości. Aby zidentyfikować nasiona wykorzystałem wykrywanie krawędzi metodą komputerowej analizy obrazu, która obejmuje: naświetlanie, obróbkę, analizę i klasyfikację obrazu. Przykład utworzonego fotoobrazu dla nasion pszenżyta odmiany Rotondo, przy prędkościach strumienia powietrza transportującego nasiona: (a) 15 m/s, (b) 20 m/s oraz (c) 25 m/s zaprezentowałem na rysunku 21. W kolejnym etapie badań wraz z zespołem rozpocząłem projektowanie zbiorów uczących. Podczas tych prac bardzo ważny jest dobór wyróżników jakości, które mogą zagwarantować wykrywanie krawędzi, a w dalszym etapie identyfikację nasion w strumieniu zanieczyszczonym. Na tym etapie przetwarzania obrazu deskryptory wyodrębniłem do arkuszy kalkulacyjnych MS Excel i wspólnie z zespołem utworzyłem 4 zestawy szkoleniowe.

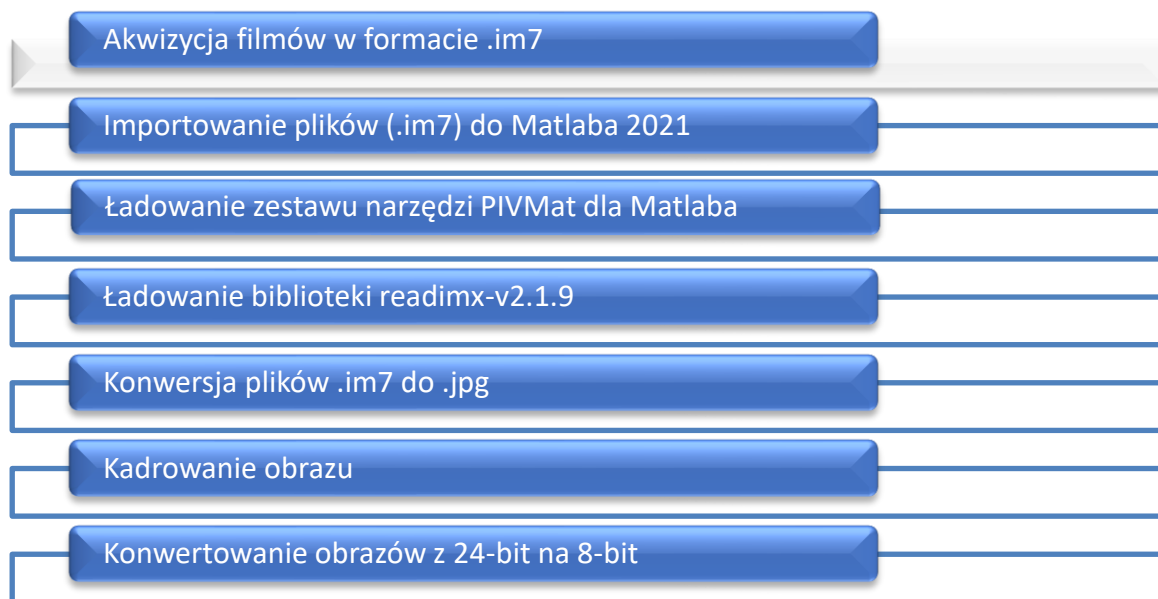


Rys. 21. Schemat wykonania wzoru fotograficznego dla nasion pszenżyta, przy prędkościach strumienia powietrza transportującego nasiona: (a) 15 m/s, (b) 20 m/s i (c) 25 m/s

Pozytywne doświadczenia z zastosowaniem technik wizyjnych skłoniły mnie do dalszych badań nad sformułowaniem wytycznych do budowy czujników wizyjnych wspomaganych narzędziami do identyfikacji nasion (obiektów) [A.9]. Aby formułowane wytyczne mogły być uniwersalne postanowiłem zbadać możliwości identyfikacji nasion o różnych gabarytach i kształcie. Do badań wybrałem nasiona o średniej wielkości i kształcie elipsoidalnym (pszenica i jęczmień) oraz jednego przedstawiciela nasion drobnoziarnistych (rzepak) o kształcie kulistym. Wybrany przeze mnie materiał badawczy jest najczęściej wysiewany w Polsce o następujących odmianach i wilgotności: pszenica ozima odmiany Elixer o wilgotności początkowej 9,8%, jęczmień ozimy LG Veronika o wilgotności początkowej 12,2% oraz rzepak ozimy odmiany Kite o wilgotności początkowej 9,0%. Głównym celem badań było wykorzystanie technik wizyjnych wspomaganych narzędziami do identyfikacji zdolnych do szybkiej detekcji nasion o różnym kształcie i wymiarach gabarytowych. Stanowisko badawcze (w stosunku do pracy [A.8]) zmodyfikowałem o możliwość zmiany konfiguracji przewodu nasiennie-powietrznego oraz wykorzystałem innego typu kamerę szybko-klatkową HighSpeedStar5 również z przetwornikiem obrazu typu CMOS, z zapisem filmów w formacie .im7. Kamera ta charakteryzuje się dużą częstotliwością projekcji obrazu podczas ruchu wybranych nasion (obiektów) dlatego też wykorzystując ją pozyskałem obrazy graficzne pszenicy, jęczmienia i rzepaku o różnych zmiennych (ze względu na prędkość strumienia powietrza transportującego, odmianę ziarna oraz konfigurację przewodu nasiennie-powietrznego). W planie badań uwzględniłem dwie różne najczęściej stosowane konfiguracje przewodów w siewnikach, co przedstawiam na schemacie stanowiska badawczego (patrz rys. 22). Ostatecznie na potrzeby badań wykonałem 18 filmów w formacie .im7, dla których zarejestrowałem prędkość transmisji danych na poziomie około 9400 kb/s przy rozdzielczości obrazu 640×360. Następnie dokonałem akwizycji oraz przetwarzania obrazu (schemat przetwarzania obrazu rys. 23) w celu przygotowania bazy do dalszych etapów czyli wyodrębniania sześciu wariantów badawczych i na ich podstawie zbudowania zestawów uczących.



Rys. 22. Schemat stanowiska badawczego: a) konfiguracja I, b) konfiguracja II, 1 – dozownik, 2 – przewód nasiennie-powietrzny, 3 – szybka kamera, 4 – statyw, 5 – ekran z podziałką, 6 – lampy LED ze stabilizacją, 7 – statywy lamp, 8 – pojemnik na nasiona, 9 – odkurzac z funkcją dmuchawy, 10 – przewód powietrzny, 11 – konstrukcja nośna



Rys. 23. Schemat przetwarzania obrazu

Każdy wariant badawczy składał się z trzech filmów (trzy prędkości powietrza transportującego 15, 20, 25 m/s), w których określono 3 klasy gatunków roślin uprawnych odmian zbóż (pszenica, jęczmień, rzepak). Aby zapewnić powtarzalność wyników badań zaplanowałem projekcję obrazu na poziomie 58 klatek na sekundę dla wszystkich wykonanych przeze mnie filmów. Przetwarzanie obrazu podzieliłem na trzy etapy tj.: 1) konwersja obrazu w celu uzyskania obrazu 24-bitmapowego o rozdzielczości 1437×1253 w formacie .jpg do czego wykorzystałem oprogramowanie MATLAB 2021b, 2) cięcie otrzymanych obrazów 24-bitmapowych o rozdzielczości 1437×1253 w formacie .jpg na obrazy o rozdzielczości 931×931 , 3) adaptacja uzyskanych obrazów w celu wydobycia z nich cech istotnych przy wykrywaniu krawędzi. Tak przygotowane obrazy wykorzystałem do dalszej analizy, czyli uczenia sieci.

W efekcie zebrane wyniki badań pozwoliły mi stwierdzić, że wzrost prędkości strumienia powietrza transportującego miał negatywny wpływ na skuteczność rozpoznawania poszczególnych klas ziarniaków transportowanych przewodem nasienno-powietrznym dla konfiguracji przewodu I i II. Podobnie, jak we wcześniejszej pracy [A.8], okazało się, że najlepszą prędkością strumienia powietrza dla ziarna transportowanego przewodem nasienno-powietrznym (konfiguracja I) jest prędkość na poziomie 15 m/s.

Wykonana przeze mnie w programie Statistica v.13.3. statystyczna analiza zmienności (test Tukeya dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$) pozwoliła na efektywne pogrupowanie wszystkich klas badawczych oraz określenie wpływu wyróżników jakości poszczególnych: trzech różnych nasion pod względem kształtu, wymiarów gabarytowych i gatunków roślin, prędkości strumienia powietrza transportującego oraz konfiguracji przewodu nasienno-powietrznego.

W ramach pracy przedstawiam wytyczne do programowania procesu wizyjnego na potrzeby zbudowania narzędzia do identyfikacji na obrazie cech obiektów, które mogą być następnie porównywane z zapisanymi w bibliotece wzorcami. Wskazane wytyczne do budowy czujnika wizyjnego wspomaganego narzędziem do detekcji nasion (obiektów) są wiedzą naukową niezbędną do budowy prototypu czujnika.

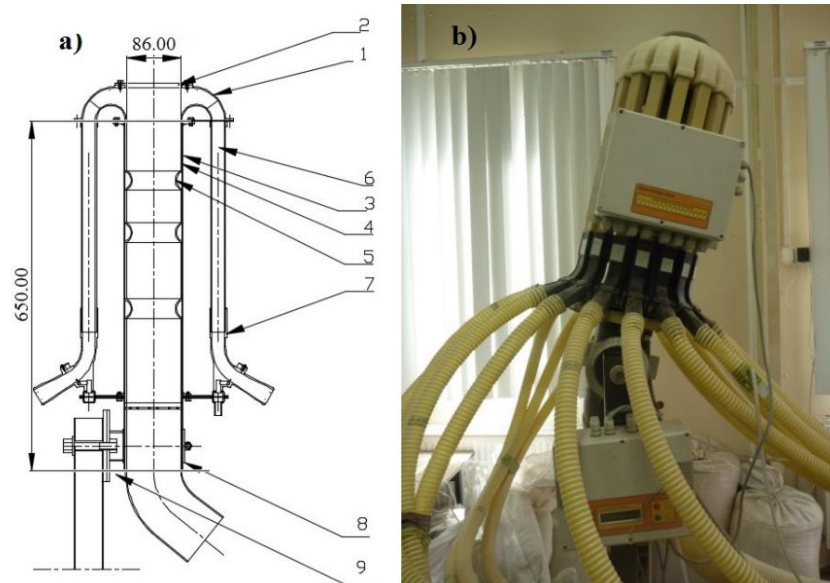
Na podstawie wyników badań z dwóch moich prac [A.8, A.9] stwierdzam, że analiza obrazu jest skuteczną techniką rozpoznawania nasion, zarówno w strumieniu zanieczyszczonym jak i podczas identyfikacji nasion o różnych gabarytach i kształcie. Stosowanie tradycyjnych metod klasyfikacji jest czasochłonne i często skutkuje niewłaściwą klasyfikacją. Przedstawione przeze mnie wyniki badań stanowią wytyczne do budowy wizyjnych systemów monitorowania układów funkcjonalnych siewników. Obecnie nie ma układu, który wskazywałby, że dany materiał siewny/nasiona posiadają zanieczyszczenia lub że materiał siewny charakteryzuje się mniejszymi gabarytami, co wiąże się ze stosowaniem większej lub mniejszej dawki nasion w celu zapewnienia wymaganej gęstości wysiewu na hektar [21], oraz uniwersalnego systemu monitoringu dla nasion o różnych gabarytach i kształcie. W nowoczesnych maszynach wpisujących się w standardy technik 4,0 konieczne jest stosowanie takich układów pomiarowych. Uzyskane przez ze mnie wyniki badań pozwolą rozwijać nowe konstrukcje układów monitoringu oraz konstrukcje czujników wizyjnych do zastosowania sterowania parametrami eksploatacyjnymi maszyn roboczych stosowanymi w rolnictwie.

Ostatnim elementem trzeciego etapu zatytułowanego jako opracowanie **wytycznych techniczno-konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych** jest praca poświęcona wpływowi pochylenia głowicy i wariantów dyfuzora siewnika w celu spowodowania poprawy równomierności wysiewu [A.10]. W klasycznym siewniku pneumatycznym dyfuzor stanowi rura z falistymi przetłoczeniami na całej długości [22]. Występowanie karbów na całej długości powoduje zwiększoną energochłonność procesu transportu. Konstruktorzy siewników niejednokrotnie stawiają pytanie: czy niezbędne są pierścieniowe przetłoczenia na całej długości rury dyfuzora (standardowo stosowane w siewnikach)?, czy może skuteczniejsze jest zastosowanie mniejszej liczby odpowiednio usytuowanych krążków rozpraszających (nowatorskie rozwiązanie) w rurze dyfuzora? W literaturze naukowej nie odnalazłem prac wskazujących ile powinno być karbów falistych lub jak powinny być rozmieszczone, aby uzyskać akceptowalną wartość współczynnika zmienności wysiewu nasion (*CV*) – nazywany również współczynnikiem równomierności. Poprawę równomierności można uzyskać poprzez równomierne rozproszenie nasion na całym przekroju kanału w głowicy przed rozdzielaczem strumienia nasion.

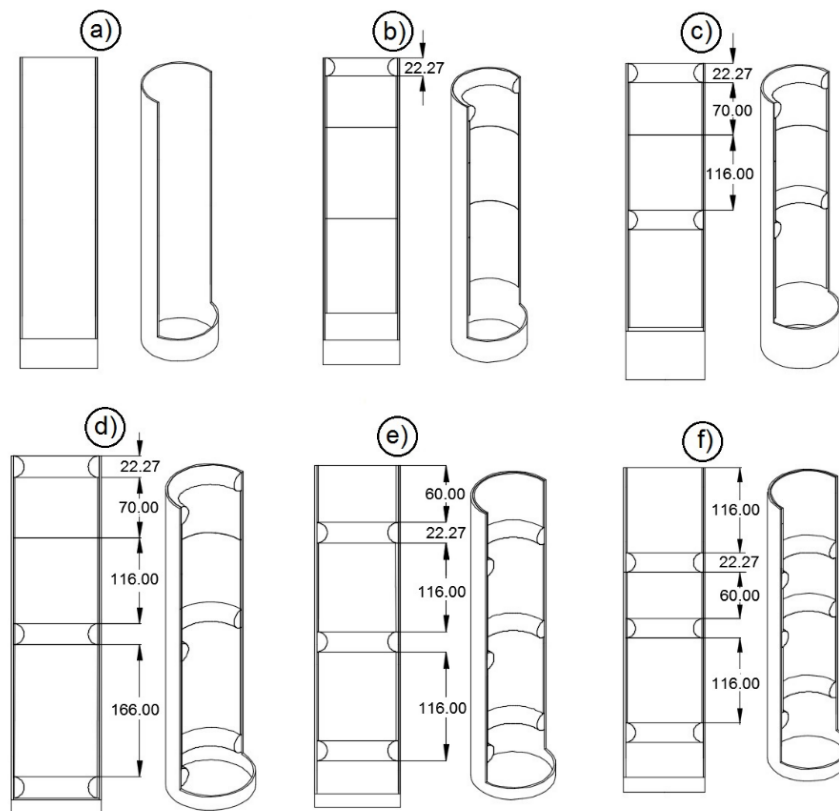
Przedmiotem moich badań była nowatorska głowica rozdzielająca strumień nasion (rys. 26), składająca się z rozdzielacza strumienia **1** przykrytego pokrywą **2** przymocowanego do dyfuzora z pierścieniami rozpraszającymi **3**. Rozdzielacz strumienia **1** (rys. 26) oraz krążki rozpraszające (rys. 27), które wykonałem metodą Rapid Prototyping na bazie autorskiego projektu.

Dyfuzor (3) znajdujący się przed rozdzielaczem strumienia ma za zadanie rozpraszać nasiona. Na potrzeby tej pracy został tak przeze mnie skonstruowany aby umożliwić zastosowanie dowolnej liczby krążków rozpraszających w zadanej odległości od siebie. Zbudowałem go z rury PCV o wymiarach: średnica zewnętrzna 90 mm, średnica wewnętrzna 86 mm i długość 650 mm (rys. 26) stanowiącej skorupę zewnętrzną (konstrukcję nośną), pierścieni rozpraszających oraz tulei dystansowych w postaci rury PCV o długościach: 60, 70, 116, 166 mm. Na rysunku 26 przedstawiam schemat głowicy rozdzielczej z dyfuzorem oraz podstawowe wymiary (rys. 26a) oraz widok wykonanego prototypu głowicy rozpraszającej z dyfuzorem (rys. 26b). W stanowisku badawczym między kolanem rury zasilającej a głowicą rozdzielającą zastosowałem dyfuzor przygotowany w 6 wariantach przedstawionych na

rysunku 27. Wysokość pierścieni rozpraszających oraz ich usytuowanie w dyfuzorze dobrałem na podstawie wcześniejszych badań wstępnych, szczegóły wymiarowe dostępne są w publikacji [A.10].



Rys. 26. Głowica rozdzielająca wraz z dyfuzorem siewnika pneumatycznego a) schemat z podstawowymi wymiarami: 1 – rozdzielacz strumienia, 2 – pokrywa, 3 – dyfuzor z pierścieniami rozpraszającymi, 4 – tuleja dystansowa, 5 – pierścień rozpraszający, 6 – rura opadowa, 7 – kolano rury opadowej, 8 – kolano rury zasilającej, 9 – statyw przechyłowy; b) widok wykonanego prototypu



Rys. 27. Warianty przyjętych w badaniach laboratoryjnych rozmieszczeń krążków rozpraszających oddzielonych tulejami dystansowymi dyfuzora

Eksperyment dla wszystkich kombinacji parametrów zmiennych realizowałem w czterech powtórzeniach według algorytmu przedstawionego na rysunku 28. Dla obydwu gatunków nasion (żyta i owsa) przyjąłem następujące czynniki:

a) stałe:

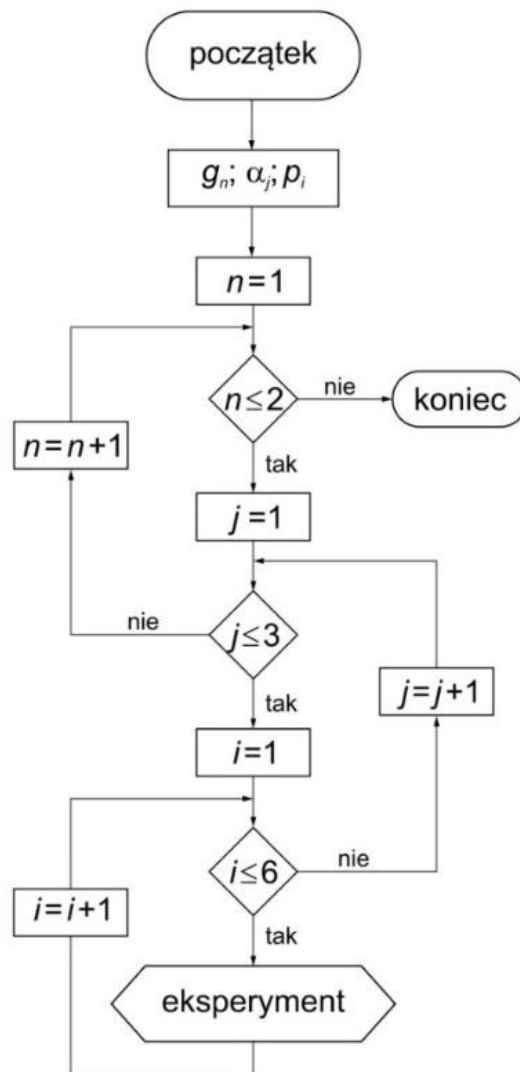
- teoretyczna (założona) prędkość siewu $v_s = 2$ m/s,
- prędkość obrotowa wałka wysiewającego $\omega_{ws} = 29$ obr./min,
- przyjęta długość odcinka pomiarowego (droga wysiewu) $l_s = 150$ m,
- prędkość strumienia powietrza na wlocie do wentylatora $v_{ws} = 15,5$ m/s.

b) zmienne:

- kąt odchylenia głowicy rozdzielczej od pionu α_j : 0° , 5° i 10° ,
- wariant dyfuzora – usytuowania i liczby pierścieni rozpraszających p_i : $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6$,
- gatunek nasion g_n : żyto, owies.

c) czynniki wynikowe:

- współczynnik zmienności (CV).



Rys. 28. Algorytm zastosowany do pomiarów

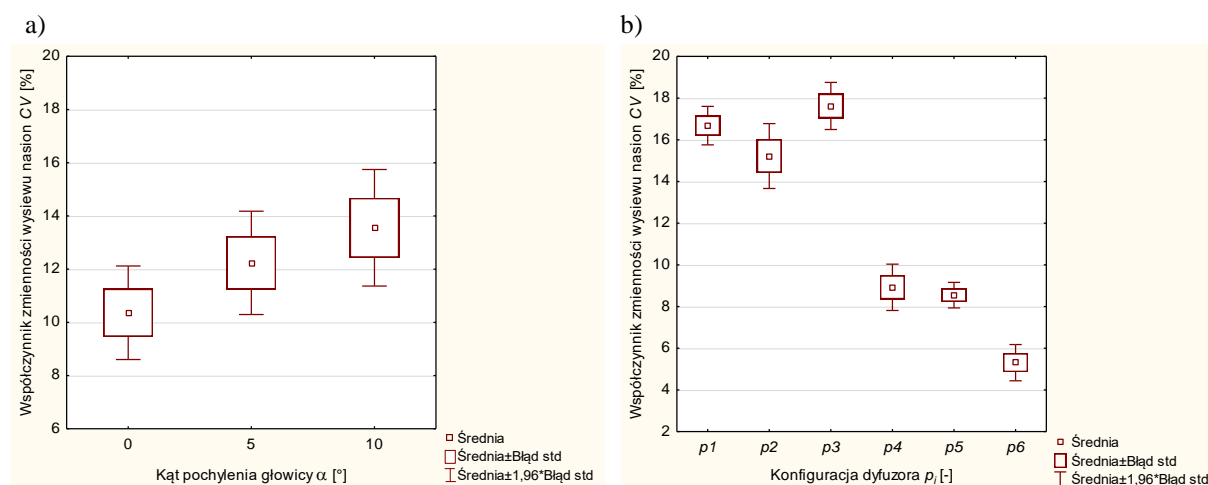
Wpływ wartości kąta odchylenia głowicy rozdzielającej od pionu oraz zastosowanego wariantu deflektora na równomierność dystrybucji strumienia nasienno-powietrznego do poszczególnych redlic wyznaczyłem obliczając współczynnik zmienności (CV) z zależności (4) [23], zgodnie z normą ISO – 7256/2:

$$CV = \frac{S}{X} \times 100\% \quad (4)$$

gdzie:

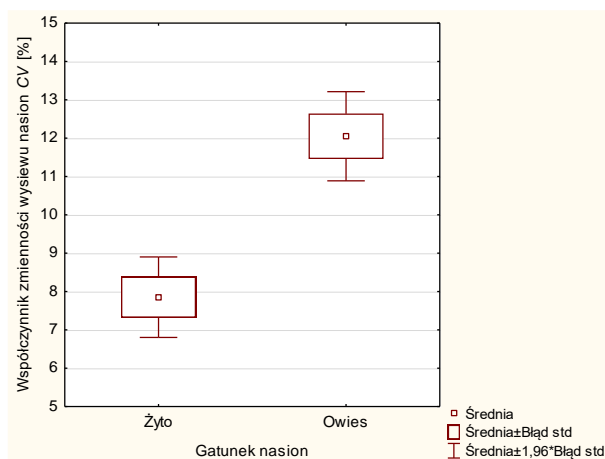
S – odchylenie standardowe średniej masy wysianych nasion z czterech powtórzeń,
 X – średnia masa nasion zebrana ze wszystkich redlic.

W ocenie zastosowanych rozwiązań dyfuzora (p_i) i kąta odchylenia od pionu głowicy rozdzielczej (α_j) istotna jest odpowiedź na pytanie, czy równomierność wysiewu nasion określona w badaniach wartościami współczynnika zmienności (CV), nie różni się istotnie w zależności od przyjętych parametrów zmiennych niezależnych, tj. usytuowania i liczby pierścieni rozpraszających (p_i) i trzech kątów odchylenia od pionu głowicy rozdzielczej (α_j)? W związku z tym przeprowadziłem analizę wariancji (ANOVA), rozpatrując hipotezę zerową H_0 , że średnie wartości współczynnika zmienności (CV) są sobie równe i hipotezę alternatywną H_1 , że średnie współczynnika zmienności nie są sobie równe. Analizę statystyczną przeprowadziłem dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Wyniki analizy wariancji dla ziarna owsa zobrazowałem na rysunku 29.



Rys. 29. Zmienność współczynnika CV równomierności wysiewu nasion owsa w zależności od: a – kąta pochylenia głowicy; b – wariantu dyfuzora (konfiguracji i liczby pierścieni rozpraszających)

W dalszej analizie statystycznej postanowiłem także odpowiedzieć na pytanie, czy średnie wartości współczynnika zmienności (CV) różnią się istotnie w zależności od przyjętego w badaniach gatunku nasion? Z analizy danych, które przedstawiłem na rysunku 30 wynika, że średnia wartość współczynnika zmienności (CV), uzyskana przy wysiewie nasion żyta ($CV = 7,99\%$) była istotnie niższa – prawie o 34% (różnica statystycznie istotna przy poziomie istotności $\alpha = 0,01$), od średniej wartości współczynnika zmienności przy wysiewie nasion owsa ($CV = 12,05\%$).



Rys. 30. Wartości współczynnika zmienności CV wysiewu nasion w zależności od gatunku

Zrealizowane przeze mnie badania wykazały, że zmiana kąta odchylenia głowicy rozdzielczej od pozycji pionowej w przedziale $0-10^\circ$ wpłynęła istotnie jedynie na jakość siewu nasion owsa. Natomiast najwyższą równomierność rozdziału uzyskałem dla wariantu dyfuzora, w którym pierścienie znajdowały się w dolnej części – w niedużej odległości od kolana zasilającego, zarówno przy wysiewie dla nasion owsa, jak i żyta. Średnie wartości współczynnika zmienności wynosiły odpowiednio 5,31% i 4,62%. Uzyskane wyniki badań mogą posłużyć do przeprojektowania konstrukcji dyfuzora głowicy rozdzielczej siewnika tak, aby zmniejszyć opory transportu mieszanki siewno-powietrznej (zmniejszyć energochłonność) oraz poprawić równomierność wysiewu nasion.

Podsumowanie

W przedstawionym osiągnięciu naukowym zatytułowanym „*Synteza parametrów układów monitorowania i sterowania ruchem materiału ziarnistego w siewie maszynowym w aspekcie jakości wysiewu nasion*” poruszyłem aspekt identyfikacji czynników i charakteru ich wpływu na skuteczność działania autorskiego systemu kontroli przepływu nasion w układach wysiewających (przewodach nasienneo-pneumatycznych) maszyn do wysiewu nasion (siewników uniwersalnych). Osiągnięcie głównego celu naukowego oraz trzech celów cząstkowych wymagało realizacji badań w trzech etapach. W etapie pierwszym doskonałem metody pomiaru podstawowych parametrów fizycznych materiału ziarnistego, drugim opracowałem wytyczne techniczno-konstrukcyjne układów monitorowania procesów transportu cząstek na przykładzie nasion roślin uprawnych. W trzecim etapie wskazałem wytyczne do budowy dyfuzora i głowicy rozdzielczej zmniejszające energochłonność i poprawiające jakość wysiewu (równomierność wysiewu) nasion.

Opracowane przeze mnie metody zostały pozytywnie ocenione przez międzynarodową społeczność naukową, co potwierdzają publikacje naukowe o zasięgu międzynarodowym z listy MEiN. Ponadto zastosowane w publikacjach techniki wizyjne okazały się nie tylko bardzo skutecznym narzędziem zapewniającym wymaganą dokładność pomiaru (niepewność pomiarową) ale i przyspieszyły proces zbierania danych. Opracowane przeze mnie nowe metody oraz stanowiska badawcze mogą znaleźć zastosowanie w wielu innych dziedzinach nauki lub przemysłu do wyznaczenia parametrów fizycznych materiałów ziarnistych lub granulowanych w transporcie pneumatycznym.

Zastosowana przeze mnie metoda elementów dyskretnych (DEM) w badaniach symulacyjnych oraz dokonana analiza zebranych wyników badań laboratoryjnych pozwoliły zidentyfikować najważniejsze czynniki i w efekcie sformułować wytyczne techniczno-konstrukcyjne do budowy zespołów funkcjonalnych układów monitorowania przepływu materiałów ziarnistych oraz sformułować wytyczne techniczno-konstrukcyjne do budowy dyfuzora i głowicy rozdzielczej poprawiających jakość wysiewu (równomierność wysiewu) nasion w siewnikach z pneumatycznymi układami transportu i wysiewu nasion. Opracowane wytyczne umożliwiają także prawidłowy dobór czujników piezoelektrycznych w układach monitorowania przepływu materiału ziarnistego, jak również wskazują podstawy nowej wiedzy do budowy czujników udarowych i wizyjnych.

W pracach dotyczących wytycznych do budowy czujników wizyjnych sprecyzowałem schemat programowania procesu wizyjnego na potrzeby zbudowania narzędzia do identyfikacji nasion bazując na obrazie cech obiektów, które mogą być następnie porównywane z zapisanymi w bibliotece wzorcami i służyć do budowy zestawów uczących w ramach uczenia maszynowego. Wytyczne te są również wiedzą naukową niezbędną do budowy nowych czujników wizyjnych wspomaganych narzędziem do detekcji nasion (obiektów). Wykazałem również, iż do poprawnej pracy układu monitoringu przepływu materiału ziarnistego (nasion), niezbędny jest system kalibracji w zależności od prędkości strumienia powietrza transportującego nasiona oraz rodzaju nasion (ich wymiarów gabarytowych i masy).

Opracowane przeze mnie nowe metody badawcze, opatentowane autorskie konstrukcje czujników układów monitorowania ruchu materiału ziarnistego jak również konstrukcja dyfuzora i głowicy rozdzielczej oraz zebrane wyniki badań pozwoliły zidentyfikować główne czynniki konstrukcyjne układów monitorowania (identyfikacji) nasion oraz parametrów i właściwości materiału ziarnistego wpływające na dokładność zliczania (dostrzegania) nasion (ziarniaków) w układach monitorowania i sterowania ruchem materiału ziarnistego w siewie maszynowym oraz na poprawę jakości (równomierności) ich wysiewu. Wskazane parametry (czynniki) tj. parametry fizyczne materiału ziarnistego (wymiarów gabarytowych, współczynnik oporu aerodynamicznego), prędkość powietrza transportującego oraz geometria (konfiguracja) układów funkcjonalnych siewnika tj. układu transportowego i ich proponowane wartości wnoszą nową, szczegółową wiedzę, którą można wykorzystać, zarówno w pracach badawczych, konstrukcyjnych, jak i rozwojowych.

Bibliografia:

1. New Possibilities with the SeedEye sensor. <https://www.vaderstad.com/pl/o-nas/aktualnoci-i-prasa/archiwum-wiadomoci/2015/international/nowe-moliwoci-z-sensorem-seedeye/>, accessed on 2017-03-15.
2. The PRO-SEEDER counter photocell seed sensor. <https://www.mcelettronica.it/en/product/pro-seeder-seed-counter-sensor/>, accessed on 2021-11-30.
3. Bulgakov, V., Ivanovs, S., Adamchuk, V., Antoshchenkov, R. Investigations of the Dynamics of a Four-Element Machine-and-Tractor Aggregate (2019) *Acta Technologica Agriculturae*, 22 (4), pp. 146-151. doi:10.2478/ata-2019-0026
4. Xu G., He R., Li X., Zou Y., Shi L., Liu T. 2016. Design and evaluation of a half-precision sowing and fertilizing combined machine. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*. 13(11), pp. 8081-8087. doi:10.1166/jctn.2016.5819

5. Xu G., He R., Li X., Zou Y., Shi L., Liu T. 2016. Design and evaluation of a half-precision sowing and fertilizing combined machine. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*. 13(11), pp. 8081-8087. doi:10.1166/jctn.2016.5819
6. Jin, X.B.; Yu, X.H.; Wang, X.Y.; Bai, Y.T.; Su, T.L.; Kong, J.L. Deep learning predictor for sustainable precision agriculture based on internet of things system. *Sustainability* 2020, 12, 1433.
7. Torkey, M.; Hassanein, A.E. Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: Analysis, opportunities, and challenges. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 178, 105476.
8. Puri, V.; Nayyar, A.; Raja, L. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *J. Stat. Manag. Syst.* 2017, 20, 507–518.
9. Peppes, N.; Daskalakis, E.; Alexakis, T.; Adamopoulou, E.; Demestichas, K. Performance of Machine Learning-Based Multi-Model Voting Ensemble Methods for Network Threat Detection in Agriculture 4.0. *Sensors* 2021, 21, 7475. <https://doi.org/10.3390/s21227475>.
10. Ferrández-Pastor, F.J.; García-Chamizo, J.M.; Nieto-Hidalgo, M.; Mora-Pascual, J.; Mora-Martínez, J. Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. *Sensors* 2016, 16, 1141.
11. Gierz Ł. Comparative Studies of grain flow sensor in row drills and single seeders. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering - 2015*, vol. 60, nr 1, s. 11-13
12. Ślesicka E., Markowski P., Gierz Ł. Przegląd parametrów technicznych i cech użytkowych siewników uniwersalnych. Cz. 1. Siewniki mechaniczne. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna - 2019*, nr 2, s. 10-14.
13. Cundall, P. A., & Strack, O. D. (1979). A discrete element model for granular assemblies. *Geotechnique*, 29(1), 47-65.
14. Feder, S. (1996). Badanie współczynnika restytucji prędkości ziarna w procesie separacji. *Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych*, 41 (2), 27-33.
15. Michałak, D. (1996). Badanie właściwości mechanicznych ziaren zbóż. *Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych*, 41 (2), 22-26.
16. Kruggel-Emden, H., Simsek, E., Rickelt, S., Wirtz, S., & Scherer, V. (2007). Review and extension of normal force models for the Discrete Element Method. *Powder Technology*, 171(3), 157e173.
17. Thornton, C., & Ning, Z. (1998). A theoretical model for the stick/ bounce behaviour of adhesive, elastic-plastic spheres. *Powder Technology*, 99(2), 154e162.
18. Timoshenko, S. P., & Goodier, J. N. (1970). *Theory of elasticity*. New York: McGraw-Hill.
19. Weir, G., & Tallon, S. (2005). The coefficient of restitution for normal incident, low velocity particle impacts. *Chemical Engineering Science*, 60(13), 3637e3647.
20. Kat, C.-J.; Els, P.S. Validation metric based on relative error. *Math. Comput. Model. Dyn. Syst.* 2012, 18, 487–520.
21. Bagautdinov, I.; Gryazin, V.; Kozlov, K.; Belogusev, V. New seed sowing technique and equipment to raise level of crop yield. *Engineering for Rural Development*. 2018, 17, 350-355.
22. Weiste, H. (2013). *The accord pneumatic-system: From invention to worldwide application*. Münster-Hiltrup, Germany: Landwirtschaftsverlag GmbH, 224p.
23. Yatskul A., Lemiere J-P., Cointault F. 2017. Influence of the divider head functioning conditions and geometry on the seed's distribution accuracy of the air-seeder. *Biosystems Engineering* 161: 120-134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.015>

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

Moja współpraca z innymi uczelniami i instytucjami dotyczy przede wszystkim: realizacji wspólnych badań, organizacji konferencji, tworzenia publikacji, przygotowywania i realizacji projektów badawczych, a także wymiany doświadczeń (również dydaktycznych). Poniżej przedstawiam podmioty, z którymi prowadziłem lub prowadzę współpracę i jej zakres z szczegółowym wykazem ważniejszych publikacji, patentów, rozwiązań zgłoszonych do opatentowania oraz projektów (dla jednostek zagranicznych wykazałem wpieryw kraje z którymi zawiązałem udokumentowaną współpracę).

5.1. Współpraca z jednostkami zagranicznymi:

1. Litwa:

1.1. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Mechatronics, Robotics and Digital Manufacturing, Faculty of Mechanics, Wilno, Litwa. **Turla Vytautas PhD** - Wspólne badania, przygotowanie draftu projektu badawczego i wydanie publikacji:

- 1) Nikonova, T.; **Gierz, Ł.**; Berg, A.; **Turla, V.**; Warguła, Ł.; Yurchenko, V.; Abdugaliyeva, G.; Zhunuspekov, D.; Wieczorek, B.; Robakowska, M.; Essim, D. Comparative Analysis of Strength Fatigue Properties and Abrasive Wear Resistance for a New Composition of Polymer Concrete Coated with Metal Alloy Powders. *Coatings* **2023**, *13*, 586. <https://doi.org/10.3390/coatings13030586>.

2. Włochy:

2.1. **Department of Agriculture and Forest Sciences (DAFNE), Tuscia University, Via S. Camillo De Lellis, s.n.c., 01100 Viterbo, Italy Luciano Ortenzi PhD** oraz **Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e L'analisi Dell'economia Agraria (CREA)**, Centro di Ricerca Ingegneria e Trasformazioni Agroalimentari, Via della Pascolare 16, 00015 Monterotondo, Italy, **Francesca Antonucci PhD, Federico Pallottino PhD** realizowaliśmy modyfikacje prototypu do fenotypowania, wykonaliśmy badania pilotażowe i wydaliśmy publikację:

- 1) **Antonucci, F.**; Costa, C.; Figorilli, S.; Ortenzi, L.; Manganiello, R.; Santangelo, E.; **Gierz, Ł.**; **Pallottino, F.** A Low-Cost Sensorized Vehicle for In-Field Crop Phenotyping. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 2436. <https://doi.org/10.3390/app13042436>

3. Rumunia:

3.1. **University Politehnica Timisoara**, Rumunia, **Prof. Dan Lemle**, – Recenzja materiałów i publikacji konferencyjnych, udział w Komitecie naukowym organizowanych konferencji International Conference on Applied Sciences (ICAS2022-2023);

4. Słowacja:

4.1. **Slovak University of Agriculture in Nitra**, Faculty of Engineering, **prof. Ing. Pavol Findura, PhD, prof. Ing. Ján Jobbágy, PhD** – udział w programie Erasmus+ (realizacja wykładów, prezentacja projektu pt. *System kontroli i sterowania ruchu ziarna w maszynach do siewu z zastosowaniem czujników piezoelektrycznych* i jego założeń przed władzami uczelni, profesorami wydziału inżynierii, a także przed studentami w 23.02-01.03.2020) również wspólna organizacja wystawy techniki rolniczej w dniach 19-21 września 2022 r. AGRICON <https://agrion.sk/podujatia/>.

5. Ukraina

5.1 **Lviv National Agrarian University** (Obecnie Lviv Polytechnic National University), Faculty of Mechanics and Energy, **prof. Ing. Stepan Kovalyshyn PhD**. – udział w programie stażowym (realizacja wykładów -prezentacja projektu pt. *System kontroli i sterowania ruchu ziarna w maszynach do siewu z zastosowaniem czujników piezoelektrycznych* i jego założeń przed władzami uczelni, profesorami Wydziału Mechanicznego i Energetyki, a także przed studentami – 22.07-09.08.2019 r., 19.08-30.08.2019r.);

6. Kazachstan

6.1. **Karaganda Technical University**, Department of Technological Equipment Mechanical Engineering and Standardization, **Zhrkevich Olga, PhD; Yurchenko Vassiliy PhD; Nikonova Tatyana PhD; Berg Alexandra MSc; Abdugaliyeva Gulnur PhD; Zhunuspekov Darkhan PhD; Dandibayev Yessim PhD** and Department of Transport Equipment and Logistics Systems – udział w programie stażowym (realizacja wykładów prezentacja projektu pt. *System kontroli i sterowania ruchu ziarna w maszynach do siewu z zastosowaniem czujników piezoelektrycznych* i jego założeń przed władzami uczelni, kadrami profesorską Katedry Urządzeń Technologicznych Inżynierii Mechanicznej i Normalizacji oraz Katedry Urządzeń Transportowych i Systemów Logistycznych a także przed studentami – 15.09-15.10.2021);

W rezultacie brałem udział jako konsultant w dwóch projektach badawczych finansowanych przez Narodowe Centrum Ewaluacji Nauki i Technologii w Kazachstanie:

- a) Grant No. AP08052553, pt. Projektowanie i tworzenie prototypów zautomatyzowanych systemów sterowania produkcją, zdalnego monitoringu i diagnostyki mikroklimatu w polimerowych rękawach rolniczych do przechowywania ziarna
- b) Grant No. AP08856371, pt. Opracowanie zasobo-oszczędnych technologii naprawy długich tłoczyisk cylindrów hydraulicznych wielkogabarytowych urządzeń specjalnych do zastosowań przemysłowych z możliwością naprawy miejscowych uszkodzeń w miejscu ich eksploatacji

W wyniku przeprowadzonych badań w tych dwóch projektach opublikowaliśmy 5 artykułów naukowych:

- 1) Nikonova, T.; Gierz, Ł.; Berg, A.; Turla, V.; Warguła, Ł.; Yurchenko, V.; Abdugaliyeva, G.; Zhunuspekov, D.; Wiczorek, B.; Robakowska, M.; Essim, D. Comparative Analysis of Strength Fatigue Properties and Abrasive Wear Resistance

for a New Composition of Polymer Concrete Coated with Metal Alloy Powders. *Coatings* 2023, 13, 586. <https://doi.org/10.3390/coatings13030586>.

- 2) Nikonova, T.; Gierz, Ł.; Zharkevich, O.; Dandybaev, E.; Baimuldin, M.; Daich, L.; Sichkarenko, A.; Kotov, E. Control of Physical Processes in an Extrusion Line Polymer Sleeves Production. *Appl. Sci.* 2022, 12, 10309. <https://doi.org/10.3390/app122010309>.
- 3) Zhetessova, G.; Nikonova, T.; Gierz, Ł.; Berg, A.; Yurchenko, V.; Zharkevich, O.; Alexey, K. A Comparative Analysis of the Dynamic Strength Properties of the Long Guides of Intelligent Machines for a New Method of the Thermal Spraying of Polymer Concrete. *Appl. Sci.* 2022, 12, 10376. <https://doi.org/10.3390/app122010376>.
- 4) Zhetessova, G.; Nikonova, T.; Gierz, Ł.; Zhunuspekov, D.; Yurchenko, V.; Zharkevich, O. Preparation of the Surface of Long-Dimensional Rods of Hydro-Cylinders for Thermal Spraying Using an Abrasive Jet. *Coatings* 2022, 12, 1514. <https://doi.org/10.3390/coatings12101514>.
- 5) Gierz Ł., Zwiachel T., Spadło M., Zharkevich O., Kukesheva A., Marx A., Mataj M. Design and FEM strength analysis of an innovative design of a front loader with an extension dedicated to the KUBOTA M5. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* - 2021, vol. 1199, s. 012010-1-012010-7.

Również napisaliśmy wspólnie wniosek o dofinansowanie nowego projektu pt. Stworzenie uniwersalnego prototypu pompy zębatej do układów hydraulicznych zdolnej do pompowania cieczy lepkich o różnym charakterze. nr zgłoszenia **AP19579208**, który został zgłoszony w Narodowym Centrum Ewaluacji Nauki i Technologii w Kazachstanie, data złożenia: 21.11.2022 r. przeszedł już ocenę formalną.

7. Irak

7.1. University of Baghdad, Department of Agricultural Machinery and Equipment, College of Agricultural Engineering Sciences, **MSc Mustafa Ahmed Jalal Al-Sammarraie**, realizowaliśmy i realizujemy wspólne badania i wydaliśmy publikację:

- 1) **Al-Sammarraie, M.A.J.; Gierz, Ł.**; Przybył, K.; Koszela, K.; Szychta, M.; Brzykcy, J.; Baranowska, H.M. Predicting Fruit's Sweetness Using Artificial Intelligence—Case Study: Orange. *Appl. Sci.* 2022, 12, 8233. <https://doi.org/10.3390/app12168233>

5.2. Współpraca z jednostkami krajowymi:

- 1 **Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu**
dr hab. inż. Florian Adamczyk, mgr inż. Grzegorz Wąchalski –przygotowywanie i realizacja projektów badawczych (od 2012), realizacja badań maszyn (od 2013), działalność publikacyjna oraz współorganizacja konferencji, a także udział w stażu (16.07-31.08.2018); W wyniku przeprowadzonych badań opublikowaliśmy 3 artykuły naukowe:
 - 1) **Gierz Ł., Adamczyk F., Wąchalski G.** Ocena zastosowania przenośnego urządzenia dosuszającego do kondycjonowania ziarna zbóż na przyczepie. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* - 2013, vol. 58, nr 3, s. 143-146.
 - 2) **Gierz Ł., Adamczyk F., Wąchalski G.** Evaluate the use of portable ventilation device for conditioning grain on the trailer. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* - 2013, vol. 59, nr 3, s. 143-146.

- 3) **Gierz Ł., Wąchalcki G., Adamczyk F.** Analiza obliczeń symulacyjnych wydatku powietrza na przykładzie wirtualnego modelu urządzenia do dosuszania ziarna zbóż (Analysis of simulation calculations of air flow on the example of a virtual model of a device for drying cereal grain). *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* - 2013, vol. 58, nr 2, s. 37-42.

Również zgłosiliśmy i uzyskaliśmy 1 patent:

- 1) **Gierz Ł. Adamczyk F.** Urządzenie dosuszające. PL223144, UPRP, Polska, Warszawa, 07.12.2015 r.

- 2) **Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Inżynierii Biosystemów, dr hab. inż. Krzysztof Koszela prof. UP, dr inż. Dawid Wojcieszak** – realizacja badań naukowych (od 2015), przygotowywanie i realizacja projektów badawczych w tym projekcie LIDER (od 2016), współorganizacja konferencji POLSITA oraz wspólne badania, publikacje i rozdziały w monografiach (tylko wybrane):

- 1) **Gierz, Ł.; Przybył, K.; Koszela, K.; Markowski, P.** The Effectiveness of the Application of a Chemical Agent (Dressing) to Seed Potatoes by Means of an Innovative Valve Enabling Intermittent Flow of a Liquid. *Agriculture* 2020, 10, 85. doi: 10.3390/agriculture10030085
- 2) Przybył, K., Gawalek, J., **Koszela, K.**, Wawrzyniak, J., **Gierz, Ł.** 2018. Artificial neural networks and electron microscopy to evaluate the quality of fruit and vegetable spray-dried powders. Case study: Strawberry powder. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, pp. 314-323.
- 3) **Koszela K.**, Adamski F., Szycha M., Przybył K., **Gierz Ł.** 2022. Quality evaluation of dried carrot obtained in different drying conditions using deep convolutional neural networks. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 123422X, doi: 10.1117/12.2645890
- 4) **Koszela K.**, Katarzyna S., Duda A., Szycha M., Gierz Ł., Przybył K. 2021. Neural networks in classification of dried vegetables. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 118781R <https://doi.org/10.1117/12.2601948>
- 5) **Gierz Ł., Wojcieszak D.**, Jan Szymenderski J., Staszak Ż., Marcinkiewicz J. 2018. A method and a station for measurement of the aerodynamic properties of crop seeds. *Engineering Mechanics* 2018. ISSN: 1805-8248. Svratka, Czech Republic, pp. 241-244
- 6) **Wojcieszak D.**, Przybył J., Zaborowicz M., Koszela K., Boniecki P., Kujawa S., Mueller W., **Gierz Ł.**, Przybył K. 2019. Neural image analysis in determining the content of dry matter in corn cob. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 1117941 <https://doi.org/10.1117/12.2539783>

oraz opracowane rozwiązania konstrukcyjne, które zostały opatentowane:

- 1) **Gierz Ł., Wiktorowski J., Koszela K., Przybył K.** Rama rozsuwana urządzeń uprawowych. PL240521. UPRP, Polska, Warszawa, 02.02.2022 r.
- 2) **Gierz Ł., Szymenderski J., Wojcieszak D., Staszak Ż., Marcinkiewicz J., Semkło Ł., Paszkiewicz B.** Układ kontroli zatkań wysiewu. PL237925, UPRP, Polska, Warszawa, 11.02.2021 r.

- 3) **Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy** (obecnie Politechnika Bydgoska), Wydział Inżynierii Mechanicznej, Katedra Maszyn i Systemów Technicznych, **dr inż. Weronika Kruszelnicka**, - realizacja badań naukowych (od 2017), przygotowywanie i

realizacja projektów badawczych (od 2019), działalność publikacyjna w ramach realizacji poszczególnych zadań w projekcie LIDER dofinansowanym przez NCBiR:

- 1) **Kruszelnicka W.**, Diviš J., Hlosta J., **Gierz Ł.**, Žurovec D. Calibration of selected bulk biomaterials parameters for DEM simulation of comminution process. Case study: corn and rice grains. *Adv. Sci. Technol. Res. J.* 2022; 16(5):64–77 <https://doi.org/10.12913/22998624/152990>
- 2) **Kruszelnicka, W.**; Hlosta, J.; Diviš, J.; **Gierz, Ł.** Study of the Relationships between Multi-Hole, Multi-Disc Mill Performance Parameters and Comminution Indicators. *Sustainability* 2021, 13, 8260. <https://doi.org/10.3390/su13158260>

oraz opracowane rozwiązanie konstrukcyjne które zostało opatentowane:

- 3) **Gierz Ł.**, Przybył K., **Kruszelnicka W.**, Zwiachel T. Udarowy system kontroli przepływu i zatkania mieszanin ziarnistych, zgłoszenie patentowe P.438435, UPRP, Warszawa 9.07.2021.
- 4 **Uniwersytet Warmińsko-Mazurski**, Wydział Nauk technicznych, Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, **dr hab. inż. Piotr Markowski prof. UWM.**, **dr inż. Ewelina Kolankowska**, **mgr inż. Elwira Ślesicka** – realizacja badań naukowych (od 2017), działalność publikacyjna w ramach realizacji poszczególnych zadań w projekcie LIDER dofinansowanym przez NCBiR:

- 1) **Gierz, Ł.**; **Kolankowska, E.**; **Markowski, P.**; Koszela, K. Measurements and Analysis of the Physical Properties of Cereal Seeds Depending on Their Moisture Content to Improve the Accuracy of DEM Simulation. *Appl. Sci.* 2022, 12, 549. <https://doi.org/10.3390/app12020549>
- 2) **Gierz, Ł.**; Przybył, K.; Koszela, K.; **Markowski, P.** The Effectiveness of the Application of a Chemical Agent (Dressing) to Seed Potatoes by Means of an Innovative Valve Enabling Intermittent Flow of a Liquid. *Agriculture* 2020, 10, 85. doi: 10.3390/agriculture10030085
- 3) **Ślesicka E.**, **Markowski P.**, **Gierz Ł.** Przegląd parametrów technicznych i cech użytkowych siewników uniwersalnych. Cz. 1. Siewniki mechaniczne. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna* - 2019, nr 2, s. 10-14.

opracowanie nowych konstrukcji w zakresie maszyn roboczych i ich zgłoszenie do patentowania i uzyskane patenty:

- 1) **Markowski P.**, Mańkowski S.M., Choszcz D.J., **Gierz Ł.** Aplikator do budowy podziemnej przesłony retencyjnej z substancji półpłynnych z wielonacyniowym zespołem wybierającym. Dokumentacja przygotowana do zgłoszenia patentowego.
 - 2) **Gierz Ł.**, Markowski P., Kruszelnicka W. Udarowy czujnik niedrożności systemu kontroli przepływu mieszanin ziarnistych do siewników. Zgłoszenie patentowe P.439429, UPRP, Warszawa, 4.11.2022.
 - 3) **Gierz Ł.** Garstecki J., Sądej M., **Markowski P.** Kompaktowa obrotnica do koparek. Zgłoszenie patentowe P.432668, UPRP, Warszawa 22.01.2020.
- 5 **Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Katedra Mleczarstwa i Inżynierii Procesowej, **dr inż. Krzysztof Przybył** – realizacja badań naukowych (od 2017), przygotowywanie i realizacja projektów badawczych (od 2019), działalność publikacyjna w ramach realizacji poszczególnych zadań w projekcie LIDER dofinansowanym przez NCBiR:

- 1) **Gierz Ł., Przybył K.** Texture analysis and artificial neural networks for identification of cereals—case study: wheat, barley and rape seeds. *Scientific Reports*. 2022, 19316. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23838-x>
- 2) **Gierz, Ł.; Przybył, K.;** Koszela, K.; Duda, A.; Ostrowicz, W. The Use of Image Analysis to Detect Seed Contamination—A Case Study of Triticale. *Sensors* 2021, 21, 151. <https://doi.org/10.3390/s21010151>
- 3) **Przybył, K.,** Gawalek, J., **Gierz, Ł.,** Łukomski M., Zaborowicz, M., Boniecki, P. 2018. Recognition of color changes in strawberry juice powders using self-organizing feature map. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 10806,1080621 DOI: 10.1117/12.2503101
- 4) **Przybył, K.,** Gawalek, J., Koszela, K., Wawrzyniak, J., **Gierz, Ł.** 2018. Artificial neural networks and electron microscopy to evaluate the quality of fruit and vegetable spray-dried powders. Case study: Strawberry powder. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, pp. 314-323.

oraz opracowane rozwiązania konstrukcyjne, które zostały opatentowane:

- 1) **Gierz Ł.,** Wiktorowski J., Koszela K., **Przybył K.** Rama rozsuwana urządzeń uprawowych. PL240521. UPRP, Polska, Warszawa, 02.02.2022 r.

6 **Politechnika Wroclawska,** Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Katedra Mikrosystemów, **dr inż. Bartłomiej Paszkiewicz** realizacja badań naukowych (od 2018), przygotowywanie i realizacja projektów badawczych (od 2019), działalność publikacyjna w ramach realizacji poszczególnych zadań w projekcie LIDER dofinansowanym przez NCBiR:

- 1) **Gierz Ł., Paszkiewicz B.** PVDF Piezoelectric Sensors for Seeds Counting and Coulter Clogging Detection in Sowing Process Monitoring. *Journal of Engineering – 2020*, vol. 2020, s. 676725-1-676725-7. Doi 10.1155/2020/2676725,
- 2) **Paszkiewicz B., Gierz Ł.** Pseudo-bulk SAW transducers fabricated in GaN epitaxial layers grown on sapphire substrate. *Journal of Physics: Conference Series - 2021*, vol. 1736, s. 012009-1-012009-8

oraz opracowane rozwiązania konstrukcyjne, które zostały opatentowane:

- 1) **Gierz Ł.,** Szymenderski J., Wojcieszak D., Staszak Ż., Marcinkiewicz J., Semkło Ł., **Paszkiewicz B.** Układ kontroli zatkań wysiewu. PL237925, UPRP, Polska, Warszawa, 11.02.2021 r.

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

6.1 Zajęcia dydaktyczne realizowane w Politechnice Poznańskiej.

Od 2011 roku prowadzę zajęcia dydaktyczne w Politechnice Poznańskiej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Transportu oraz Wydziale Inżynierii Mechanicznej dla słuchaczy studiów stacjonarnych i niestacjonarnych. Pracę dydaktyczną zaczynałem od prowadzenia zajęć laboratoryjnych, a z czasem moja działalność obejmowała również realizację ćwiczeń, projektów i wykładów. Obecnie jestem koordynatorem pięciu przedmiotów:

1. **Grafika inżynierska z geometrią wykreślną** – laboratoria; Wydział Inżynierii Mechanicznej, kierunek: Mechatronika, I stopień;
2. **Zarządzanie procesami projektowymi- język angielski (Managing Design Process),**

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Mechanical and Automotive, II stopień;

3. **Rysunek techniczny (CAD)** – laboratorium i projekt; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Lotnictwo, I stopień;
4. **Certyfikacja maszyn i urządzeń** – wykład i laboratorium; Wydział Inżynierii Mechanicznej, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, I stopień;
5. **Mechanika analityczna** – wykład, ćwiczenia; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Mechanika i Budowa Pojazdów, II stopień;
6. **Systemy teleinformatyczne** – wykład; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Transport, II stopień;
7. **Metodologia konstruowania maszyn roboczych** – wykład, ćwiczenia; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Mechanika i budowa pojazdów (wcześniej; Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Mechanika i Budowa Maszyn, I stopień;
8. **Metodologia konstruowania maszyn do robót ziemnych i drogowych** – wykład, ćwiczenia, laboratorium; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Mechanika i Budowa Pojazdów (wcześniej; Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Mechanika i Budowa Maszyn), II stopień;
9. **Jakość w projektowaniu maszyn do robót ziemnych i drogowych** – wykład i ćwiczenia; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Mechanika i Budowa Pojazdów (wcześniej; Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Mechanika i Budowa Maszyn), II stopień;
10. **Systemy mechatroniczne w maszynach roboczych** – wykład; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Mechanika i Budowa Pojazdów (wcześniej; Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Mechanika i Budowa Maszyn), II stopień;
11. **Robotyka w technice** – ćwiczenia; Wydział Inżynierii Transportu, kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn, II stopień.

6.2 Działalność promotorska i recenzencka

W swojej karierze naukowej po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych byłem promotorem 25 prac dyplomowych inżynierskich i 15 magisterskich. Pełniłem także rolę recenzenta w 53 pracach inżynierskich i 28 magisterskich. Jestem również promotorem pomocniczym w 1 przewodzie doktorskim oraz konsultantem w zagranicznej pracy doktorskiej (realizowanej w Kazachstanie):

1. **mgr inż. Elwira Ślesicka:** *Wpływ modyfikacji układu wysiewającego siewników uniwersalnych na równomierność siewu nasion:* Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski.

Wspólne publikacje:

- 1) **Ślesicka E., Markowski P., Gierz Ł.** Przegląd parametrów technicznych i cech użytkowych siewników uniwersalnych. Cz. 1. Siewniki mechaniczne. Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna - 2019, nr 2, s. 10-14
2. **MSc. Alexandra Berg:** *Badania i rozwój urządzeń technologicznych do obróbki*

długich powierzchni cylindrycznych: Uniwersytet Techniczny w Karagandzie, Karaganda, Kazachstan.

- 1) Nikonova, T.; **Gierz, Ł.; Berg, A.**; Turla, V.; Warguła, Ł.; Yurchenko, V.; Abdugaliyeva, G.; Zhunuspekov, D.; Wiczorek, B.; Robakowska, M.; Essim, D. Comparative Analysis of Strength Fatigue Properties and Abrasive Wear Resistance for a New Composition of Polymer Concrete Coated with Metal Alloy Powders. *Coatings* **2023**, *13*, 586.
<https://doi.org/10.3390/coatings13030586>.
- 2) Zhetessova, G.; Nikonova, T.; **Gierz, Ł.; Berg, A.**; Yurchenko, V.; Zharkevich, O.; Alexey, K. A Comparative Analysis of the Dynamic Strength Properties of the Long Guides of Intelligent Machines for a New Method of the Thermal Spraying of Polymer Concrete. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 10376.
<https://doi.org/10.3390/app122010376>.

Dodatkowo przedstawiam wykaz publikacji naukowych, patentów lub zgłoszeń patentowych wynikających z mojego promotorstwa prac inżynierskich, magisterskich lub współpracy nawiązanej na zajęciach z studentami:

1. **Gierz, Ł.**; Kruszelnicka, W.; Robakowska, M.; Przybył, K.; Koszela, K.; **Marciniak, A.**; **Zwiachel, T.** Optimization of the Sowing Unit of a Piezoelectrical Sensor Chamber with the Use of Grain Motion Modeling by Means of the Discrete Element Method. Case Study: Rape Seed. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 1594.
<https://doi.org/10.3390/app12031594>;
2. **Gierz, Ł., Marciniak, A.**, Przybył, K., Koszela K., Duda, A., Szychta, M. Analysis of the strength of an innovative design of an organic farming potato harvester. *Journal of Physics: Conference Series* **2022**, *2212*(1),012028;
3. **Gierz Ł., Zwiachel T.**, Spadło M., Zharkevich O., Kukeshva A., Marx A., **Mataj M.** Design and FEM strength analysis of an innovative design of a front loader with an extension dedicated to the KUBOTA M5. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering - 2021*, vol. 1199, s. 012010-1-012010-7;
4. **Gierz Ł.**, Markowski P., **Chmielewski B.** Validation of an image-analysis-based method of measurement of the overall dimensions of seeds. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2021**, *1736* 012007, 2021. 10.1088/1742-6596/1736/1/012007;
5. **Gierz, Ł.**; Przybył, K.; Koszela, K.; Duda, A.; **Ostrowicz, W.** The Use of Image Analysis to Detect Seed Contamination—A Case Study of Triticale. *Sensors* **2021**, *21*, 151. <https://doi.org/10.3390/s21010151>;

6. **Gierz, Ł.**; Warguła, Ł.; Kukła, M.; Koszela, K.; **Zwiachel, T.S.** Computer Aided Modeling of Wood Chips Transport by Means of a Belt Conveyor with Use of Discrete Element Method. *Appl. Sci.* 2020, *10*, 9091. <https://doi.org/10.3390/app10249091>;
7. **Gierz Ł. Garstecki J.**, Sądej M., Markowski P. Kompaktowa obrotnica do koparek. Zgłoszenie patentowe P.432668, Warszawa, 22.01.2020. Osiągnięcie konstrukcyjne;
8. **Gierz Ł., Wiktorowski J.**, Koszela K., Przybył K. Rama rozsuwana urządzeń uprawowych. PL240521. UPRP, Polska, Warszawa, 02.02.2022 r.;
9. **Gierz Ł.**, Przybył K., Kruszelnicka W., **Zwiachel T.** Udarowy system kontroli przepływu i zatknię mieszanin ziarnistych, zgłoszenie patentowe P.438435, Warszawa, 09.07.2021.;
10. **Gierz Ł. Garstecki J.**, Sądej M., Markowski P. Kompaktowa obrotnica do koparek. Zgłoszenie patentowe P.432668, Warszawa, 22.01.2020.

6.3 Działalność organizacyjna oraz popularyzująca naukę

Od początku studiów w Politechnice Poznańskiej byłem zaangażowany w życie organizacji studenckich. Od 2007 roku byłem członkiem Koła Naukowego Maszyn Roboczych. W latach 2010-2014 byłem również organizatorem Międzynarodowej Letniej szkoły systemów. Od 2020 roku rozpocząłem współpracę z Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering w ramach której zorganizowaliśmy targi oraz **wystawę maszyn rolniczych AFRION (<https://agrion.sk/podujatia/>)** w dniach 19-21 września 2022 r.

W latach 2018-2019 pełniłem rolę bezpośredniego opiekuna Koła Naukowego Maszyn Roboczych (Jednego z starszych zrzeszeń na Wydziale).

W 2021 roku brałem udział w propozycjach i organizacji nowego kierunku nauczania *Projektowanie Konstrukcji Mechanicznych* w Politechnice Poznańskiej. Uczestniczyłem w opracowaniu siatek godzinowych, programu nauczania, organizacji wykładowców, a także przygotowywałem karty ECTS wybranych przedmiotów -jednak kierunek nauczania nie został dopuszczony do realizacji.

Wśród pozostałej działalności organizacyjnej i popularyzującej naukę należy wymienić:

- Udział w organizacji imprez Politechniki Poznańskiej m.in.: *Dziewczyny na Politechniki, Noc Naukowców, Drzwi otwarte Wydziału, Forum Gospodarcze Politechniki Poznańskiej* itp. (2011-2022);
- Organizacja wykładów dla szkół podstawowych w Kórniku; szkół średnich: Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych Centrum Kształcenia Ustawicznego w Przygodzicach (2017/2018/2020).

12. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

W swojej pracy naukowo-badawczej skupiam się na problemach związanych przede wszystkim z procesami zachodzącymi w maszynach roboczych (w szczególności maszynach rolniczych i leśnych).

Na co dzień w pracy wykorzystuję zaawansowaną technicznie aparaturę badawczą. tj. stanowisko do badań procesów transportu i rozdrabniania materiałów ziarnistych Metodą Elementów Dyskretnych (DEM), prasy wytrzymałościowe, stanowisko do badania energochłonności procesów cięcia i rozdrabniania oraz zastosowanie kamery szybko klatkowej w badaniach identyfikacyjnych cząstek oraz pomiaru prędkości cząstek. Zasady ich wykorzystania oraz sposób obsługi przedstawiam studentom, nie tylko w ramach zajęć dydaktycznych, ale również podczas spotkań kół naukowych. W mojej pracy bardzo satysfakcjonująca jest współpraca z młodzieżą akademicką. W związku z tym aktywnie angażuje się w realizację różnego rodzaju przedsięwzięć i projektów studenckich, których efektem są wspólne ze studentami publikacje oraz zgłoszenia patentowe. Nieustannie podnoszę swoje kwalifikacje, czego dowodem jest szereg odbytych szkoleń, których zestawienie przedstawiłem poniżej w formie tabelarycznej. Wśród innych istotnych osiągnięć dotyczących mojej kariery zawodowej wyróżniam:

- Autorstwo sześciu zgłoszeń patentowych: *Kompaktowa obrotnica do koparek; Kurtynowe pasy bezpieczeństwa; Stanowisko do generowania uderów mechanicznych małej energii oraz badań odpowiedzi elektrycznej czujników uderowych; Adapter do przyrządu żniwnego do zbioru kukurydzy; Czujnik przepływu mieszanin ziarnistych z układem optycznym.* Zgłoszenia te zostały wysłane (przez Rzecznika) do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej i obecnie trwa procedura uzyskania ochrony patentowej;
- Zostałem koordynatorem projektu nr 3018/FRSE/0132, Erasmus+ Staff Mobility for Teaching, ramach Programu Erasmus+ KA 107, podczas którego planowałem zajęcia dydaktyczne dla przybyłych gości z zagranicy, spotkania z dziekanem oraz dyrektorem instytutu oraz prezentacje dorobku naukowego w celu zacieśnienia współpracy;
- W ramach programu POKL.04.02.00-00-100/11, ukończyłem studia podyplomowe dla pracowników naukowych w zakresie; Menedżer Projektu Badawczo – Rozwojowego, podczas których podniosłem swoje kwalifikacje do zarządzania zespołem badawczym;
- Ukończyłem studia podyplomowe na kierunku; Przygotowanie pedagogiczne do nauczania przedmiotów ogólnych i techniczno-zawodowych, Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Katedra Przedsiębiorczości i Komunikacji w Biznesie w celu podniesienia kwalifikacji dydaktycznych;
- W tabeli nr 1 załączam również wykaz odbytych 12 szkoleń.

Tabela 1. Wykaz odbytych szkoleń

Lp.	Nazwa szkolenia	Miejsce odbycia szkolenia	Instytucja odpowiedzialna	Data
1.	Jak mądrze wybrać czasopismo	online	ELSEVIER	23.02.2023 r.
2.	Szkolenie PART-66 oraz PART-147	Politechnika Poznańska	Urząd Lotnictwa Cywilnego	29.09.2022 r.
3.	Szkolenie z zakresu obsługi aparatu do pomiaru parametrów metabolicznych Cosmed K5, obejmujące proces kalibracji wstępnej urządzenia, przeprowadzenia testów wg wybranych protokołów	Politechnika Poznańska	Mikropolis	28.06.2022 r.
4.	Efektywna komunikacja ze studentami	Politechnika Poznańska	Niepubliczny Ośrodek Kształcenia Ustawicznego Wielkopolska Szkoła Skutecznej Nauki	27.05. 2021 r.
5.	Wprowadzenie do tematu niepełnosprawności	Politechnika Poznańska	Działanie 3.5 Kompleksowe programy szkół wyższych	22.04.2021 r.
6.	Zarządzanie zespołem rozproszonym	Politechnika Poznańska	Human Skills	10.03.2021 r.
7.	Symulacja materiałów sypkich i cząstek	MESCO sp. z o. o	MESCO sp. z o. o	3.10.2019 r.
8.	Zarządzanie projektami badawczymi	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	19-20.03.2018 r.
9.	MES dla Praktyków	Politechnika Poznańska	MESCO Sp. z o.o.	17-19.07.2018 r.
10.	Zaświadczenie nr 1731/2014	CIOP, Warszawa,	CIOP PIB	2-3.12.2014 r.
11.	Świadectwo kwalifikacji do zajmowania się eksploatacją urządzeń energetycznych	SEP, Poznań	Stowarzyszenie Energetyków Polskich	10.02.2014 r.
Przed uzyskaniem stopnia dr nauk technicznych				
12.	Oznaczenie CE dla maszyn i urządzeń według dyrektywy maszynowej	MTP, Poznań	CECE Polska, Poznań	29 września 2011

W wyniku realizacji różnego rodzaju przedsięwzięć naukowo-badawczych (indywidualnych i zespołowych) byłem laureatem kilkunastu nagród i wyróżnień. Najważniejszym z nich jest Polska Nagroda Inteligentnego rozwoju 2020. W kategorii: Naukowiec przyszłości. Poniżej przedstawiam wykaz najistotniejszych osiągnięć:

1. Nagroda JM Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe w roku akademickim 2020/2021;
2. Nagrodę specjalną na targach International Trade Fair "Ideas - Inventions - New Products iENA - 2021 za rozwiązanie: Udarowy system kontroli przepływu i zatkan mieszanych ziarnistych;
3. Nagroda Inteligentnego Rozwoju 2020 w kategorii naukowiec przyszłości;
4. Nagroda JM Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe w roku akademickim 2019/2020;
5. Złoty medal na targach Taiwan Innotech Expo 2019 za: Układ kontroli zatkan wysiewu „Seed sowing clogging control system”;
6. Srebrny medal na targach wynalazczości IWIS 2019 za: Układ kontroli zatkan wysiewu „Seed sowing clogging control system”;
7. Brązowy Medal na targach Taiwan Innotech Expo 2019 za Stanowisko do generowania udarów mechanicznych i badania odpowiedzi elektrycznej „Stand for generating low energy mechanical impacts and testing the electric al response of impact sensors”;
8. Złoty medal Brussels Innova, za Electronically controlled system of row seeding of cereals and other plants designed for precision farming, 2014 r.;
9. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za projekt: Elektronicznie sterowany system rzędowego wysiewu do zbóż i innych roślin uprawnych dla rolnictwa precyzyjnego. Warszawa Luty 2014.



(podpis wnioskodawcy)