

**Dr Marek Piotr Gancarz**

**AUTOREFERAT**  
**dotyczący działalności naukowo badawczej**

Kraków 2021

## AUTOREFERAT

## 1. Imię i nazwisko.

**Marek Piotr Gancarz**

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

Doktor nauk rolniczych w zakresie agronomii – agrofizyki, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie, 2011.

Tytuł pracy doktorskiej: Wpływ wielkości i kształtu komórek bulwy ziemniaka na ciemną plamistość poudzerzeniową.

Promotor: prof. dr hab. Krystyna Konstankiewicz.

Magister fizyki, specjalność: biofizyka, Uniwersytet Marii Skłodowskiej-Curie w Lublinie, Wydział Matematyki i Fizyki, 2000.

Tytuł pracy magisterskiej: Spektrofotometryczne badania transportu protonów przez błony lipidowe.

Promotor: prof. dr hab. Wiesław I. Gruszecki.

## 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

02.2001 – 02.2003	młodszy fizyk w Zakładzie Mikrostruktury i Mechaniki Biomateriałów, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie
03.2002 – 03.2010	asystent w Zakładzie Mikrostruktury i Mechaniki Biomateriałów, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie
04.2010 – 12.2012	pracownik techniczny w Zakładzie Mikrostruktury i Mechaniki Biomateriałów, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie
12.2012 – 07.2014	specjalista administracyjno-techniczny w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie
07.2014 - 04.2015	koordynator d.s. naukowego przygotowania i wdrożenia projektu „Centrum Badawczo - Innowacyjne Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie”.

05.2015 – 05.2020	pracownik inżynierski w Zakładzie Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie
06.2020 – <b>obecnie</b>	pracownik badawczo-techniczny w Zakładzie Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie
10.2020 – 01.2021	asystent badawczo-dydaktyczny (0,5 etatu) na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
02.2021 – <b>obecnie</b>	adiunkt badawczo-dydaktyczny (0,5 etatu) na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

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

##### 4.1. Tytuł osiągnięcia:

**Opracowanie urządzenia oraz nowej metody do oceny surowców i produktów pochodzenia rolniczego na podstawie analizy profilu lotnych związków organicznych.**

##### 4.2. Osiągnięcie stanowi cykl następujących publikacji:

- 1) **Gancarz M.**, Wawrzyniak J., Gawrysiak-Witulska M., Wiącek D., Nawrocka A., Rusinek R.: Electronic nose with polymer-composite sensors for monitoring fungal deterioration of stored rapeseed. *International Agrophysics* 2017, Vol. 31, 317-325.

IF2017 = 1,242

MNiSW<sub>2017</sub> = 25 pkt.

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wiodącej roli w zaplanowaniu doświadczeń, przygotowaniu materiału badawczego, wykonaniu eksperymentów polegających na badaniu zapachu elektronicznym nosem, opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników, zebraniu literatury, napisaniu manuskryptu i interpretacji wyników badań.*

*Mój udział procentowy szacuję na 70%.*

- 2) **Gancarz M.**, Wawrzyniak J., Gawrysiak-Witulska M., Wiącek D., Nawrocka A., Tadla M., Rusinek R.: Application of electronic nose with MOS sensors to prediction of rapeseed quality. *Measurement* 2017, Vol. 103, 227-234.

IF2017 = 2,218

MNiSW<sub>2017</sub> = 30 pkt.

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu doświadczeń, przygotowaniu materiału badawczego, wykonaniu badań związanych z badaniem zapachu elektronicznym nosem, opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników, zebraniu literatury, napisaniu manuskryptu, interpretacji wyników badań.*

*Mój udział procentowy szacuję na 65%.*

- 3) **Gancarz M.**, Nawrocka A., Rusinek R.: Identification of volatile organic compounds and their concentrations using a novel method analysis of MOS sensors signal. *Journal of Food Science* 2019, Vol. 84, (8), 2019 2077-2085.

IF2019 = 2.478

MNiSW<sub>2019</sub> = 70 pkt.

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu i przeprowadzeniu doświadczeń polegających na wykonaniu większości badań elektronicznym nosem, opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników, zebraniu literatury, napisaniu manuskryptu interpretacji wyników badań i pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.*

*Mój udział procentowy szacuję na 85%.*

- 4) Rusinek R., **Gancarz M.**, Krekora M., Nawrocka A.: A novel method for generation of a fingerprint using electronic nose on the example of rapeseed spoilage. *Journal of Food Science*, 2019, Vol. 84, 1, 51-58.

IF2019 = 2.478

MNiSW<sub>2019</sub> = 70 pkt.

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu badań, przygotowaniu materiału badawczego, wykonaniu eksperymentów dotyczących badań elektronicznym nosem i chromatografem gazowym sprzężonym ze spektrometrem mas (GC-MS), a także opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników,*

*napisaniu rozdziałów manuskryptu i interpretacji wyników badań dotyczących tej części eksperymentu oraz korekcie całego manuskryptu.*

*Mój udział procentowy szacuję na 60%.*

- 5) Rusinek R., Jeleń H., Malaga-Toboła U., Molenda M., **Gancarz M.:** Influence of changes in the level of volatile compounds emitted during rapeseed quality degradation on the reaction of MOS type sensor-array. *Sensors* 2020 20(11),3135.

IF2019 = 3,275

MNiSW<sub>2020</sub> = 100 pkt.

*Moim wkładem w powstanie tej pracy była wiodąca rola w zaplanowaniu doświadczeń i wykonaniu eksperymentów dotyczących badań elektronicznym nosem i chromatografem gazowym sprzężonym ze spektrometrem mas (GC-MS), a także na częściowym opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu interpretacji wyników badań dotyczących tej części eksperymentu oraz korekcie manuskryptu, a także pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.*

*Mój udział procentowy szacuję na 65%.*

- 6) Rusinek R., Siger A., Gawrysiak-Witulska M., Rokosik E., Malaga-Toboła U., **Gancarz M.:** Application of an electronic nose for determination of pre-pressing treatment of rapeseed based on the analysis of volatile compounds contained in pressed oil. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55, 5, 2161-2170.

IF2019 = 2,773

MNiSW<sub>2020</sub> = 70 pkt.

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu doświadczeń i wykonaniu eksperymentów dotyczących badań elektronicznym nosem i chromatografem gazowym sprzężonym ze spektrometrem mas (GC-MS), akwizycji obrazów oleju i analizy ich barwy, a także na częściowym opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu interpretacji wyników badań dotyczących tej części eksperymentu oraz korekcie manuskryptu, a także pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.*

*Mój udział procentowy szacuję na 60%.*

- 7) Rusinek R., **Gancarz M.**, Nawrocka A. Application of an electronic nose with novel method for generation of smellprints for testing the suitability for consumption of wheat bread during 4-day storage. LWT - Food Science and Technology, 2020, 117, art. no. 108665.

IF2019 = 4,006

MNiSW<sub>2020</sub> = 100 pkt.

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu doświadczeń, na przygotowaniu materiału badawczego, wykonaniu eksperymentów dotyczących badań elektronicznym nosem i chromatografem gazowym sprzężonym ze spektrometrem mas (GC-MS), akwizycji obrazów miąższu chleba i analizy barwy, wykonaniu testów właściwości mechanicznych, a także na opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu interpretacji wyników badań dotyczących eksperymentu, a także pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.*

*Mój udział procentowy szacuję na 80%.*

- 8) **Gancarz M.\***, Dobrzański Jr. B., Oniszczyk T., Combrzyński M., Ćwikła D., Rusinek R.: Detection and Differentiation of Volatile Compound Profiles in Roasted Coffee Arabica Beans from Different Countries Using an Electronic Nose and GC-MS. Sensors 2020, 20(7), 2124. (\* w bazach Web of Science, Scopus i innych, praca występuje w wersji: **Marek G.**, Dobrzański Jr. B., Oniszczyk T., Combrzyński M., Ćwikła D., Rusinek R.: Detection and Differentiation of Volatile Compound Profiles in Roasted Coffee Arabica Beans from Different Countries Using an Electronic Nose and GC-MS. Sensors 2020, 20(7), 2124.)

IF2019 = 3,275

MNiSW<sub>2020</sub> = 100 pkt.

*Moim wkładem w powstanie tej pracy była wiodąca rola w zaplanowaniu doświadczeń i wykonaniu eksperymentów dotyczących badań elektronicznym nosem i chromatografem gazowym sprzężonym ze spektrometrem mas (GC-MS), a także opracowaniu i analizie statystycznej uzyskanych wyników, napisaniu rozdziałów manuskryptu interpretacji wyników badań dotyczących tej części eksperymentu oraz korekcie manuskryptu, a także pełnieniu funkcji autora korespondencyjnego.*

*Mój udział procentowy szacuję na 75%.*

**suma IF zgodnie z rokiem wydania = 21,747**

**suma punktów wg MEN (MNiSW) zgodnie z rokiem wydania = 565**

Liczba cytowań publikacji wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego według bazy Web of Science– **112**, według bazy Scopus – **132**.

Oświadczenia współautorów w/w publikacji wraz z określeniem ich roli w powstanie pracy znajdują się w załączniku nr 3a.

#### **4.3. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

##### WPROWADZENIE

Nowoczesne technologie przetwórstwa rolno-spożywczego wymagają precyzyjnych metod optymalizacji procesów i przestrzegania surowych reżimów sanitarnych. Niedotrzymanie parametrów procesów produkcji podczas przetwarzania surowców, czy nieprawidłowe warunki przechowywania zarówno surowców jak i produktów, np.: w nieodpowiedniej temperaturze i wilgotności, lub nieprzestrzeganie warunków sanitarnych, czystości maszyn, urządzeń i pomieszczeń, to najczęstsze przyczyny obniżenia jakości produktów. Wiele czynników wpływa na jakość przechowywanej żywności, a produkty często wymagają kontrolowanej atmosfery, zapewniającej powstrzymanie naturalnych procesów biologicznych, jakie zachodzą w trakcie ich przechowywania. Brak dostępu powietrza, czy zbyt wysoka wilgotność prowadzi do szybkiego psucia się produktów. Tlen działa niekorzystnie na surowiec i produkty o dużej zawartości tłuszczu, a także może powodować utratę witamin.

Wilgotność surowca czy zawartość wody w powietrzu to kolejny czynnik modyfikujący jakość surowców i produktów. Mała zawartość wody powoduje wysychanie i kurczenie się produktów, ale zbyt duża wilgotność podczas przechowywania powoduje, że surowiec podlega zagrzewaniu i zbrylaniu, a warunki te również sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów, wywołujących psucie produktów. Także okres przechowywania surowca i produktu jest ograniczony, ponieważ nie ma możliwości bezterminowo zapobiec szkodliwym procesom. Drobnoustroje, takie jak bakterie, pleśnie i grzyby, działają niekorzystnie na surowce i wytworzone z nich

produkty, co często jest decydującym czynnikiem obniżającym jakość żywności. Największym zagrożeniem są bakterie, które są najliczniejszą grupą drobnoustrojów. Pozostałe, to pleśnie i grzyby atakujące surowce i produkty spożywcze, które są niewłaściwie przechowywane, zmieniając nie tylko ich smak, ale również ich zapach. Saprofityczne grzyby (pleśń), należące do rodzaju *Aspergillus* wytwarzają aflatoksyny, bardzo groźne, toksyczne substancje wpisane oficjalnie na listę substancji rakotwórczych.

Temperatura również bardzo silnie wpływa na intensywność procesów biotycznych, które zachodzą w produktach spożywczych. Brak dbałości o utrzymywanie zalecanej temperatury przechowywania sprzyja rozwojowi drobnoustrojów oraz powoduje szkodliwe zmiany konsystencji, wyglądu i innych cech fizycznych produktów (Horabik i in., 2009; Rusinek i Matecki, 2013; Rusinek i Kobyłka, 2014). Dostęp światła do przechowywanych produktów przyspiesza zachodzące procesy, zwłaszcza dojrzewanie i kiełkowanie oraz niszczy witaminy i powoduje jełczenie surowca lub produktu zawierającego tłuszcz (Rusinek i Rybczyński, 2010).

Innym, równie ważnym czynnikiem jest czystość pomieszczeń. Podczas przechowywania surowców i produktów spożywczych, procesy fizyczne, chemiczne, biochemiczne, a także mikrobiologiczne mogą powodować duże zmiany ich jakości. Mogą to być zmiany zarówno korzystne, poprawiające wygląd, zapach i smak, ale często są to zmiany niekorzystne, obniżające wartość odżywczą i cechy jakościowe. Poszczególne grupy surowców i produktów mają właściwe dla siebie cechy, dlatego też często wymagają odmiennych warunków przechowywania, a nieodpowiednie ich dobranie może znacznie obniżyć jakość surowca, a tym samym produktu z niego uzyskanego (Rusinek i Rybczyński, 2010; Horabik i in., 2012).

W świetle tych informacji wydaje się naturalnym poszukiwanie nowych rozwiązań oraz udoskonalanie rozwiązań obecnie istniejących w celu opracowania optymalnej metody kontroli jakości materiałów rolniczych.

Można znaleźć wiele opracowań, które proponują konkretne i dokładne metody oceny stanu fizyko-chemicznego materiałów rolniczych. Jednak w większości są to metody wymagające zastosowania procedur laboratoryjnych, które są skomplikowane oraz praco- i kosztochłonne. Stąd poszukiwanie prostego i wiarygodnego sposobu oceny jakości biomateriałów jest w zainteresowaniu wielu badaczy i naukowców oraz ich otoczenia społeczno-gospodarczego. W oparciu o istniejącą wiedzę można wytypować



kilka metod ku temu przydatnych. Jedną z nich jest ocena aromatu, która łączy w sobie analizę związków zapachowych i smakowych.

Zapach jest jednym z głównych elementów branych pod uwagę przez konsumenta w momencie wyboru produktu spożywczego i z tego powodu jest przedmiotem badań technologów żywności. Jest także wskaźnikiem wielu procesów biologicznych, chemicznych i fizycznych zachodzących podczas produkcji i przechowywania. Badania nad związkami tworzącymi zapach są bardzo ważne i interesujące nie tylko dla producentów, którzy poprzez dobór odpowiednich odmian, czy też właściwe warunki uprawy mogą wpływać na jakość surowca do produkcji. Mogą również służyć technologom, którzy chcąc sprostać wymaganiom konsumentów, muszą tworzyć produkty o wysokiej jakości, poddając je kontroli w trakcie wytwarzania czy też przechowywania. I na koniec związki lotne nadające surowcom lub produktom obce nuty zapachowe, mogą stanowić charakterystyczny wskaźnik określający okres trwałości produktu, który jest silnie skorelowany z ich powstawaniem podczas przemian chemicznych, enzymatycznych czy nawet mikrobiologicznych. Z tego względu otrzymanie, a następnie zachowanie charakterystycznego aromatu surowców i produktów spożywczych jest szczególnie ważne zarówno dla konsumentów jak i dla producentów w trakcie stosowanych procesów technologicznych.

Elektroniczny nos już od pewnego czasu jest użytecznym narzędziem służącym do bezinwazyjnej diagnostyki w wielu obszarach nauki i gospodarki (Guz i in., 2015; Gębicki i Szulczyński, 2018; Szczurek i in., 2019; Garbacz i in., 2020). Urządzenia tego typu znalazły swoje zastosowanie jako proste analizatory zapachu w medycynie, badaniu żywności, czy środowiska (Torri i Piochi, 2016; Bonah i in., 2019; Liu i in., 2019; Fan i in., 2019). Postęp technologiczny, który nastąpił w ostatnich latach, pozwolił na rozwój cyfrowych technik pomiarowych zapachu z wykorzystaniem elektronicznego nosa, zarówno w zakresie opracowywania nowych urządzeń jak i oprogramowania (Kim i in., 2019). Obecnie prace badawcze skoncentrowane są doskonaleniu technik pomiarowych i analizie coraz większych zbiorów danych oraz metod obliczeniowych, które pozwolą na lepsze wykorzystanie elektronicznych nosów ich i urządzeń peryferyjnych w praktyce (Sabilla i in., 2019).

### Cel oraz hipotezy badawcze

Po uzyskaniu stopnia doktora rozpocząłem badania mające stworzyć techniczne podstawy do zwiększenia możliwości zastosowania analizy związków zapachowych do charakterystyki jakościowej surowców i produktów spożywczych poddanych różnym procesom technologicznym. Detekcję substancji lotnych (VOCs) wykonano przy użyciu elektronicznego nosa (AgriNOSE) opracowanego i zbudowanego w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie w zespole, w którym byłem jednym z konstruktorów urządzenia. Urządzenie składa się z ośmiu wymiennych czujników półprzewodnikowych, siedmiu z tlenkiem metalu typu (MOS) i jednego reprezentującego technologię Micro Electro Mechanical Systems (MEMS). Matryca czujników elektronicznego nosa była przedmiotem zgłoszenia patentowego nr P.419383, data zgłoszenia: 07.11.2016. Sposób określania rodzaju organicznych substancji lotnych i ich koncentracji z zastosowaniem elektronicznego nosa jest także przedmiotem zgłoszenia patentowego nr P.419382, data zgłoszenia: 07.11.2016. Wszystkie te zgłoszenia w 2020 roku uzyskały ochronę patentową pod numerami: PL 419383, PL 419382 (Zał. P1; Zał. P2).

Przedstawione w osiągnięciu badania dotyczyły czterech zagadnień:

1. Badanie możliwości zastosowania techniki pomiarowej opartej na wykorzystaniu elektronicznego nosa do monitorowania warunków składowania nasion rzepaku i wykrywania chorób przechowalniczych pojawiających się na wczesnym etapie rozwoju mikroflory grzybowej.
2. Skonstruowanie nowego urządzenia wyposażonego w czujniki wykorzystujące reakcję tlenków metali na lotne związki organiczne oraz opracowanie nowej metody analizy sygnału związków zapachowych.
3. Charakterystykę kluczowych związków zapachowych powstających w procesach przetwórczych oraz występujących w warunkach przechowywania surowców rolniczych, a także analizę profilu związków zapachowych do weryfikacji procesów technologicznych, jakim poddawane są surowce i produkty pochodzenia rolniczego.
4. Wykorzystanie skonstruowanego urządzenia oraz opracowanej przez habilitanta metody analizy lotnych związków organicznych do kontroli procesów technologicznych przetwórstwa rolno-spożywczego i określenia jakości badanych produktów.

#### Hipotezy badawcze:

Przedstawione w osiągnięciu publikacje oraz autorskie rozwiązania techniczne będące przedmiotem patentów pozwoliły na weryfikację następujących hipotez:

HB1. Wykorzystanie reakcji czujników rezystancyjnych zbudowanych na bazie tlenków metalu na lotne związki organiczne umożliwia opracowanie nowej metody analizy sygnału lotnych związków organicznych.

HB2. Opracowana metoda analizy sygnału lotnych związków organicznych pozwala na wykrywanie grzybowych chorób pojawiających się w trakcie przechowywania nasion rzepaku oraz weryfikację jakości tłoczonego oleju, a także ocenę jakości produktów spożywczych.

#### WYNIKI

Nasiona rzepaku są podstawowym surowcem do produkcji oleju jadalnego w Polsce, gdzie produkcja 2,96 mln ton w 2019 roku, stanowiła 30% produkcji UE. Tak duża produkcja zmusza zakłady tłuszczowe do składowania nasion w silosach przed procesem tłoczenia. Podczas przechowywania nasion, warunki w silosach stale się zmieniają, co związane jest ze zróżnicowaną wilgotnością nasion z kolejnych dostaw oraz zmienną temperaturą w silosie, zależną od temperatury otoczenia i procesów zachodzących w warstwie nasion (zagrzewanie). Powstaje zatem, potrzeba opracowania szybkich metod kontroli i oceny jakości nasion w trakcie ich przechowywania.

W pierwszym etapie zbadano możliwości zastosowania elektronicznego nosa wyposażonego w czujniki polimerowe do monitorowania wpływu warunków przechowywania na rozwój mikroflory grzybowej, podczas składowania w silosie nasion rzepaku (*Brassica napus* L.), w kontrolowanych warunkach termicznych.

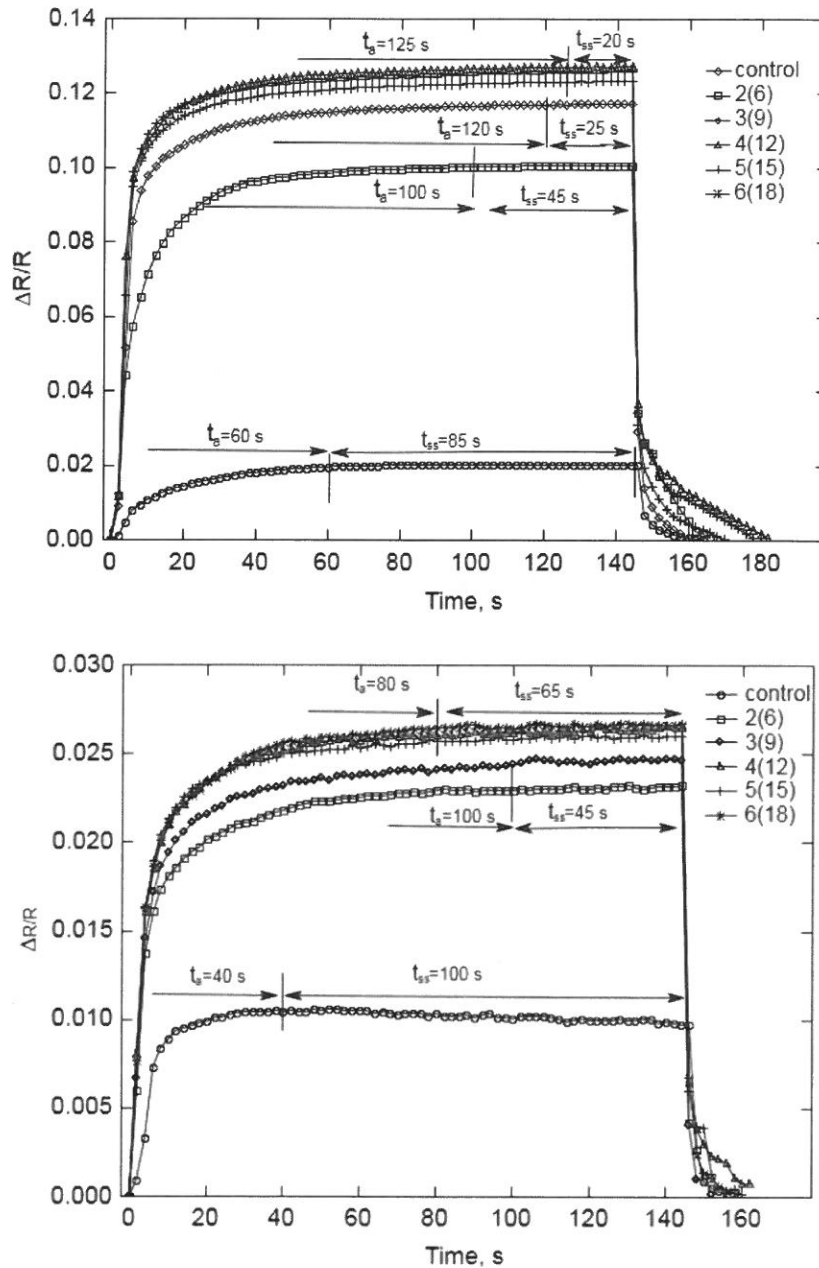
H1. Gancarz M., Wawrzyniak J., Gawrysiak-Witulska M., Wiącek D., Nawrocka A., Rusinek R.: Electronic nose with polymer-composite sensors for monitoring fungal deterioration of stored rapeseed. *International Agrophysics* 2017, Vol. 31, 317-325.)

Do analizy emisji lotnych związków organicznych dla osiemnastu dni przechowywania rzepaku w silosie o stałej temperaturze przechowywania wykorzystano urządzenie Cyranose 320 wyprodukowane przez Sensigent. Określenie lotne związki organiczne (VOCs), odnosi się do związków organicznych obecnych w atmosferze jako gazy, ale mogą być też cieczami lub ciałami stałymi w normalnych warunkach temperatury i ciśnienia.

Cyranose 320 to w pełni zintegrowany ręczny przyrząd do wykrywania oparów chemicznych, zaprojektowany specjalnie do wykrywania i identyfikacji złożonych mieszanin chemicznych, które tworzą aromaty, zapachy czy odory. Służy również do identyfikacji prostych mieszanin i poszczególnych związków chemicznych (Casalinuovo i in., 2006). Model 320 posiada 32 czujniki polimerowe. Przewodność polimeru zmienia się, gdy cząsteczki chemiczne badanej substancji są absorbowane w przewodzącym łańcuchu cząstek czujnika.

Nasiona rzepaku pobierano w sześciu terminach: bezpośrednio po zasypaniu (kontrola) oraz po 6, 9, 12, 15 i 18 dniach przechowywania. Każda próbka zainfekowanego materiału została podzielona na trzy części, a stopień zepsucia został zmierzony na trzy sposoby: analiza jednostek tworzących kolonię (CFU), określenie zawartości ergosterolu (ERG) i pomiar lotnych związków organicznych za pomocą elektronicznego nosa - Cyranose 320. Przeprowadzono analizę sensorgramów dla czujników o silnym sygnale dla każdej grupy psucia się rzepaku.

Tylko 15 z 32 czujników polimerowo-kompozytowych dało wyraźny i reagujący sygnał na lotne związki organiczne zepsutego rzepaku. Obliczono stosunek czasu asocjacji do czasu stanu ustalonego. Stosunek czasu asocjacji do stanu ustalonego był różny dla próbek kontrolnych i zepsutych. Ten stosunek był inny dla niskiego poziomu niż najwyższego poziomu ergosterolu i jednostek tworzących kolonie. Obecne wyniki wskazują, że e-nos może być używany do określania jakości rzepaku i rozróżniania rodzajów grzybów.

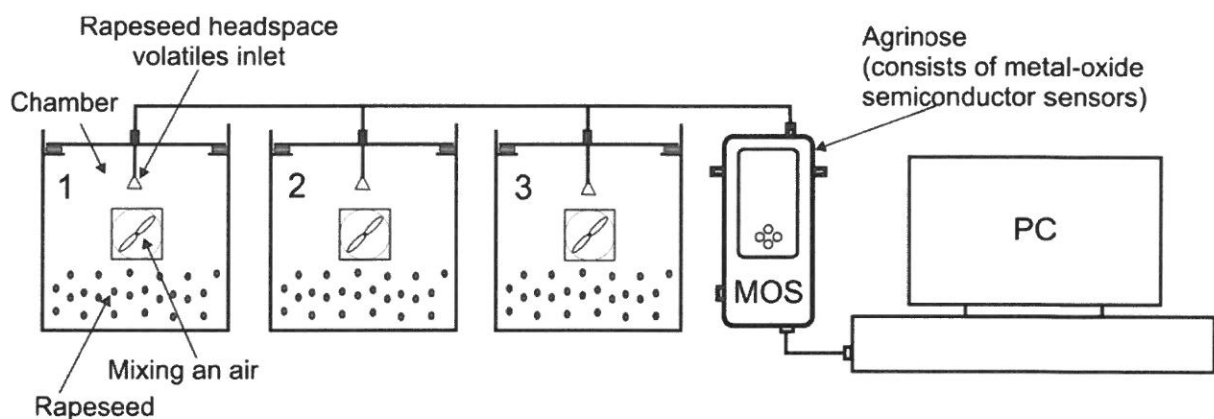


**Rys. 1.** Sensorgramy wybranych czujników: a - 31 i b - 28; przez 18 dni przechowywania (czas asocjacji ( $t_a$ ), stan ustalony ( $t_{ss}$ )).

Z tych powodów w przyszłych badaniach zaplanowano zastosowanie chromatografii gazowej (GC-MS) do wykrywania określonych lotnych związków organicznych i przypisywania ich poszczególnym rodzajom grzybów. Ponadto do przyszłych badań zaplanowano skonstruowanie elektronicznego nosa ale z czujnikami wykonanymi na bazie półprzewodnikowych tlenków metalu, które są mniej podatne na działanie wilgotności i temperatury.

H2. Gancarz M., Wawrzyniak J., Gawrysiak-Witulska M., Wiącek D., Nawrocka A., Tadla M., Rusinek R.: Application of electronic nose with MOS sensors to prediction of rapeseed quality. *Measurement* 2017, Vol. 103, 227-234.

W tym doświadczeniu, zbadano jakość rzepaku podczas 31. dniowego okresu przechowywania w zbudowanym urządzeniu i opracowanym systemie kontroli procesów technologicznych surowców i produktów spożywczych na podstawie analizy lotnych związków organicznych (Rys. 2).



Rys. 2. Schemat opracowanego systemu kontroli procesów technologicznych surowców i produktów spożywczych na podstawie nowej metody analizy lotnych związków organicznych otrzymanych z czujników wytworzonych na bazie tlenków metali i użytych w zbudowanym urządzeniu (AgriNOSE).

Podstawą systemu było urządzenie opracowane i zbudowane w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie nazwane – AgriNOSE, którego byłem jednym z głównych konstruktorów. Urządzenie składa się z ośmiu czujników z półprzewodnikowych tlenków metali, siedmiu typu (MOS) i jednego reprezentującego technologię Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) (Tabela. 1). Czujniki zostały wybrane według następujących kryteriów: niższe zużycie energii, podobny typ i geometria czujników w układzie, niska podatność na wilgoć i temperaturę oraz powszechne stosowanie czujniki gazu testowane w podobnym urządzeniu pomiarowym. Jak zapewniają producenci, czujniki silnie reagują na obecność ketonów, kwasów tłuszczowych, estrów i alkoholi. To związki, których można się spodziewać w metabolitach grzybów powstających w czasie psucia się przechowywanych surowców spożywczych m.in. w rzepaku (Nicolaisen i in. 2009; Jeleń i Wąsowicz, 1998; Lippolis i in. 2014). Tabela 1 przedstawia typy i dane

techniczne czujników AgriNOSE. Siedem z nich (typ TGS) zostało wyprodukowanych przez Figaro Engineering (Japonia), a jeden przez Ams (USA).

Badanym materiałem były nasiona odmiany rzepaku ozimego Sensation (*Brassica napus* L.). Próbki rzepaku o wilgotności 12,5% (w.b.) przechowywano w stabilnej temperaturze (20 °C) i wilgotności (81% wilgotności względnej) w trzech specjalnych komorach szklanych o pojemności 20l i wypełnionej w 70% materiałem badawczym.

Tabela 1. Typy i dane techniczne czujników zastosowanych w AgriNOSE.

Type	Description	Detecting range (ppm)	Response
TGS2600 – B00	General air contaminants, hydrogen and carbon monoxide	1–3 (H <sub>2</sub> )	Yes
TGS2610 – C00	LP gas, butane	500–10,000	Yes
TGS2602 – B00	Ammonia, Hydrogen sulfide (high sensitivity to VOC and odorous gases)	1–30 (EtOH)	Yes
TGS2611 – C00	Natural gas, methane	500–10,000	Yes
TGS2611 – E00	Natural gas, methane (carbon filter)	500–10,000	Low response
TGS2612 – D00	Propane, methane, solvent vapours, iso-butane (carbon filter)	1–25% LEL	Low response
TGS2620 – C00	Solvent vapours, volatile vapours, alcohol	50–5000	Yes
AS – MLV – P2	CO, butane, methane, ethanol, hydrogen. Specifically designed for volatile organic compounds (VOCs)	10–10,000	Yes

Trzy komory zapewniają wystarczającą ilość substancji lotnych z wolnej przestrzeni do analizy emitowanych związków lotnych. Komory umieszczono w silosie i przechowywano w warunkach stabilnej temperatury.

Użyto referencyjne metody chemiczne do monitorowania zachodzących zmian jakości przechowywanego materiału, które obejmowały: oznaczenie liczby jednostek tworzących kolonię (CFU), oznaczenie zawartości ergosterolu (ERG) i spektroskopię w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR). Lotne związki organiczne (VOC) badano za pomocą elektronicznego nosa (AgriNOSE).

Cykl pomiarowy zgodnie z protokołem próbki składał się z 10 s podstawowego czyszczenia, 40 s pobierania próbki, 5 s laboratoryjnego oczyszczania powietrza i 140 s czyszczenia próbki. Sygnały analogowe przekształcono na sygnały cyfrowe za pomocą oprogramowania DasyLab. Otrzymane sensorgramy zostały przekonwertowane do formatu /.xls i przeanalizowane za pomocą oprogramowania Statistica (wersja 12.0, StatSoft Inc., USA). Analiza głównych składników (PCA), jako metoda analizy danych, została zastosowana do wizualizacji grup rzepaku o różnej jakości. Przeprowadzono analizę sensorgramów (dryft czujnika) z silnym sygnałem. Sześć z ośmiu czujników dawało wyraźną reakcję na lotne związki organiczne zepsutego rzepaku. Wyniki wykazały korelację między mikrobiologicznymi i chemicznymi metodami oceny jakości z reakcją użytych w zbudowanym urządzeniu czujników półprzewodnikowych.

W literaturze opisane są urządzenia wyposażone w chemiczne sensory, których zasada działania wykorzystuje zjawiska m.in.: grawimetryczne, termiczne, optyczne, elektrochemiczne i elektryczne, które stosowane są do analizy substancji lotnych (Lippolis i in., 2014; Loutfi i in., 2015; Mirzaei i in., 2016). Najczęściej stosowanymi i mającymi największe znaczenie praktyczne są czujniki należące do grupy wykorzystujących zjawiska elektryczne. Czujniki te działają na zasadzie rejestracji zmian wielkości elektrycznych (napięcia, rezystancji, impedancji, itp) spowodowanych obecnością substancji będącej w stanie lotnym (Szcurek i in., 2013; Mirzaei i in., 2016; Souza i in., 2016). Charakterystycznymi parametrami technicznymi takich czujników poza ich wielkością i energochłonnością są: czułość, czas nasycania i czas oczyszczania czujnika. Konstruktorzy czujników w oparciu o te parametry budują je tak, aby czas nasycania i oczyszczania był jak najkrótszy, a czułość jak najwyższa (Adhikari i Majumdar, 2004; Wang i in., 2007; Wang i in., 2016). W dotychczasowych badaniach jedynym uwzględnianym parametrem określającym rodzaj i stężenie VOCs była wielkość maksimum odpowiedzi czujnika (Wang i in., 2007; Szcurek i in., 2013; Hung i in., 2015; Mirzaei i in., 2016). Niestety różne substancje i o różnych stężeniach mogą powodować otrzymanie takiej samej wartości maksimum odpowiedzi czujnika. Dlatego nie jest możliwe na podstawie tylko tego parametru i tylko jednego czujnika określenie rodzaju substancji oraz jej stężenia. Czujniki w oparciu o maksimum odpowiedzi umożliwiają porównywanie wielkości stężeń tej samej substancji lub różnych rodzajów substancji między sobą. Jednakże na podstawie otrzymanych wyników niemożliwa jest identyfikacja rodzaju substancji (Hung i in., 2015; Mirzaei i in., 2016).

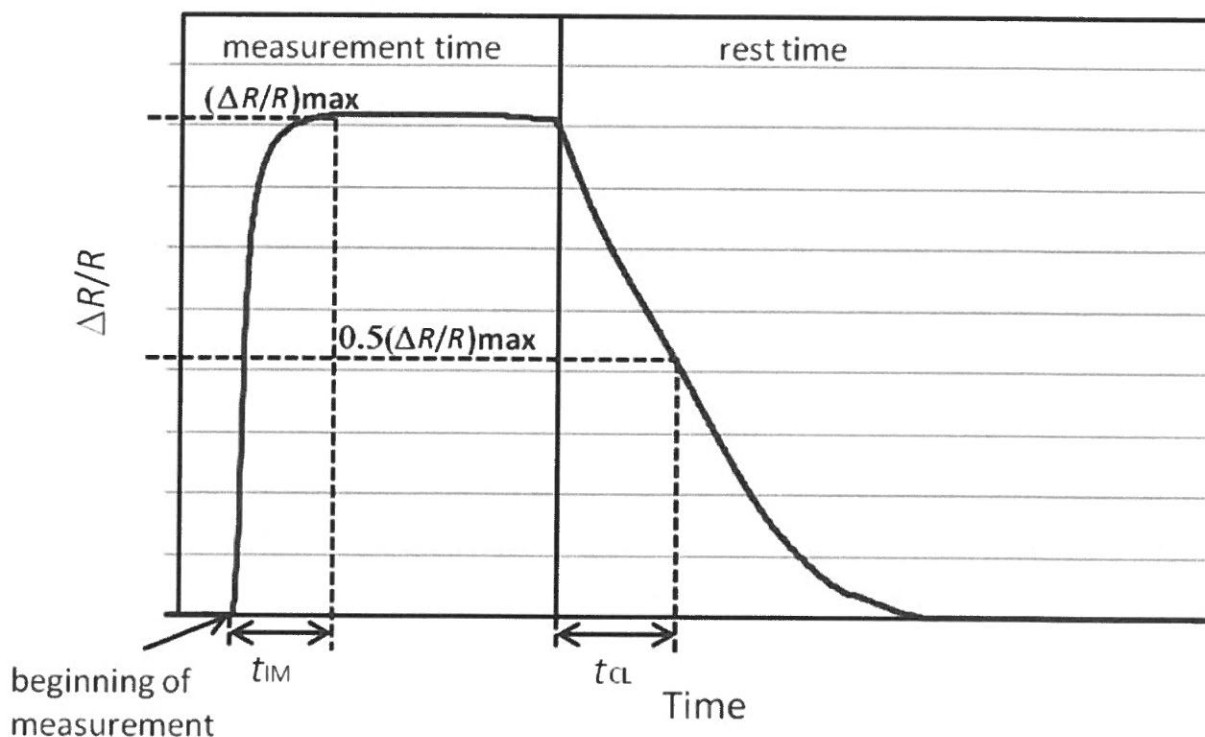
Ponieważ każdy czujnik może w taki sam sposób lub bardzo podobnie reagować na kilka różnych substancji i nie zawsze możliwe jest określenie jej rodzaju i stężenia, zaistniała potrzeba opracowania taniego urządzenia oraz dokładnej i szybkiej metody rozpoznawania rodzaju substancji, a także jej stężenia.

H3. Gancarz M., Nawrocka A., Rusinek R.: Identification of volatile organic compounds and their concentrations using a novel method analysis of MOS sensors signal. *Journal of Food Science* 2019, Vol. 84, (8), 2019 2077-2085.

Opracowane urządzenie badawcze AgriNOSE posiadające czujniki na bazie tlenków metalu zostało wykorzystane w szybkiej, nieniszczącej metodzie i okazało się niedrogim urządzeniem do monitorowania jakości mikrobiologicznej surowców i produktów



spożywczych podczas przechowywania. Z sygnału lotnych związków organicznych uzyskano informacje o maksymalnej znormalizowanej odpowiedzi czujnika ( $\Delta R/R_{max}$ ), czasie impregnacji ( $t_{IM}$ ) i czasie czyszczenia ( $t_{CL}$ ) przy połowie maksimum odpowiedzi czujnika ( $\Delta R/R_{max}$ ) badanych substancji (Rys. 3). Nowość tej metody polega na zastosowaniu do opisu reakcji czujnika po raz pierwszy dwóch dodatkowych parametrów: czasu impregnacji  $t_{IM}$  i czasu czyszczenia  $t_{CL}$ .



Rys. 3. Analiza sygnału czujnika rezystancyjnego

Te trzy parametry można uznać za „fingerprint”, czyli tzw. „odcisk palca lotnych związków organicznych”, ponieważ są to parametry unikalne dla zapachu każdego materiału i na ich podstawie można go zidentyfikować tak, jak człowieka na podstawie odcisku palca. Do badań użyto pięciu wybranych substancji wzorcowych: ethanol-( $C_2H_5OH$ ), methanol-( $CH_3OH$ ), 3-methyl-1-butanol-( $C_5H_{11}OH$ ) reprezentujących grupę alkoholi (alcohols); hexanal-( $C_6H_{12}O$ ) jako grupa aldehydów (aldehydes) oraz limonene-( $C_{10}H_{16}$ ) z grupy monoterpenów (monoterpene). Te substancje występują najczęściej w postaci związków lotnych podczas psucia się surowców oraz produktów spożywczych (Jeleń i Wąsowicz, 1998, Casalnuovo i in., 2006; Hung i in., 2015). Wyniki analizy wykazały korelację między odpowiedzią czujnika a rodzajem i stężeniem substancji stosowanych

w badaniach. Dlatego najważniejszym wnioskiem z przeprowadzonych badań jest to, że AgriNOSE jest dobrym narzędziem do szybkiego wykrywania i określania poziomu stężenia różnych rodzajów substancji. Ten aparat i sposób mogą być stosowane do wykrywania początku procesu zepsucia, a także określenia stopnia zepsucia surowców lub produktów spożywczych w trakcie trwania procesów technologicznych. Opracowana metoda może zostać użyta do wykrywania szkodliwych związków np.: w początkowej fazie psucia się surowców lub produktów spożywczych. Taki sposób pomoże w działaniach mających na celu zminimalizowanie zagrożenia dla konsumenta, a także ograniczenia strat ekonomicznych.

*W powyższych rozważaniach prezentujących wyniki badań własnych udowodniono słuszność hipotezy badawczej HB1: Wykorzystania reakcji czujników rezystancyjnych zbudowanych na bazie tlenków metalu na lotne związki organiczne do opracowania nowej metody analizy sygnału lotnych związków organicznych.*

Nową trzyparametrową metodę identyfikacji lotnych związków organicznych (VOC) i tworzenia „odcisków palców” na podstawie czasu impregnacji ( $t_{IM}$ ), czasu czyszczenia ( $t_{CL}$ ) i maksymalnej odpowiedzi ( $\Delta R/R_{max}$ ) czujników chemicznych wykrywających psucie się produktów rolnych zastosowano w kolejnym etapie badań.

H4. Rusinek R., Gancarz M., Krekora M., Nawrocka A.: A novel method for generation of a fingerprint using electronic nose on the example of rapeseed spoilage. *Journal of Food Science*, 2019, Vol. 84, 1, 51-58. AgriNOSE wraz z nową trzyparametrową metodą identyfikacji lotnych związków organicznych (VOC) zastosowano do określenia stopnia obniżenia jakości rzepaku podczas 18. dniowego okresu przechowywania po zbiorze. Zastosowano analizę głównych składowych PCA jako metodę analizy danych w celu sprawdzenia przydatności nowej trzyparametrowej metody do wizualizacji grup surowców o różnej jakości. Zastosowano widma w podczerwieni z transformacją Fouriera do identyfikacji pasm podczerwieni polisacharydów grzybowych, a także analizy metodą chromatografii gazowej i spektrometrii mas w celu opisanie zawartości lotnych metabolitów w odniesieniu do techniki pomiaru reakcji elektronicznego nosa. Badania i analizy wykazały, że nowa trzyparametrowa metoda oznaczania lotnych związków ( $\Delta R/R_{max}$ ,  $t_{IM}$ ,  $t_{CL}$ ) opisuje zmiany lotnych związków organicznych bardziej efektywnie niż podejście jednoparametrowe oparte wyłącznie na maksymalnej reakcji czujnika ( $\Delta R/R_{max}$ ). Zaproponowana metoda generowania elektronicznych odcisków

palców wyraźnie rozróżniana próbki rzepaku zakażonymi mikroflorą polową i przechowalniczą.

Metoda trzyparametrowa może być przydatna do kontroli jakości w technologii przechowywania i bezpieczeństwa żywności, jako szybka metoda analizy i wykrywania zmian w oparciu o zastosowaną technologię elektronicznego nosa jako czujnika badania ich stanu. Zastosowanie proponowanej metody do generowania odcisków palców nie wymaga ingerencji w sprzęt elektronicznego nosa, a wymaga jedynie modyfikacji oprogramowania. Ułatwia to implementację metody trzyparametrowej w dostępnych urządzeniach. Tego rodzaju metody i urządzenia mogą być przydatne na przykład w procesie przechowywania surowca z aktywną wentylacją.

W dalszym etapie prac wyznaczono kluczowe związki lotne w przechowywanych ziarnach rzepaku w silosie z kontrolowaną temperaturą przechowywania. Na lotną frakcję produktów spożywczych składa się wiele związków, spośród których tylko niewielka liczba odgrywa rolę w tworzeniu charakterystycznego profilu. Dlatego też, ważnym zadaniem w analizie kluczowych związków lotnych jest rozróżnienie związków silnie aktywnych zapachowo od mniej aktywnych i bezzapachowych, czyli związków zapachowych występujących w stężeniach przekraczających ich progi wyczuwalności sensorycznej (Schieberle, 1996).

H5. Rusinek R., Jelen H., Malaga-Tobola U., Molenda M., Gancarz M.: Influence of changes in the level of volatile compounds emitted during rapeseed quality degradation on the reaction of MOS type sensor-array. *Sensors* 2020 20(11),3135. DOI: 10.3390/s20113135.

W badaniach przedstawiono walory aplikacyjne nowej metody cyfrowego opisu zapachu za pomocą elektronicznego nosa na przykładzie psujących się nasion rzepaku. W pracach prowadzonych w tych badaniach zamieniono czujnik TGS2611-E00 ze względu na brak reakcji na pojawiające się lotne związki organiczne (zastosowano w nim filtr węglowy) na TGS2603-C00, który jest dedykowany do lotnych związków organicznych pochodzących z zepsutej żywności. Nowa metoda była oparta o użycie trzech parametrów: maksymalna wartość rezystancji -  $\Delta R/R_{max}$ , czas reakcji -  $t_{IM}$ , czas oczyszczania z molekuł powierzchni czynnej sensora -  $t_{CL}$  opisujący reakcję czujników zamiast tylko jednego parametru. Proponowana metoda tworzenia odcisków zapachowych oparta na trzech parametrach pozwala na lepszą korelację reakcji czujników elektrochemicznych ze zmianami lotnych i zapachowych związków przechowywanego rzepaku. Referencyjne metody chemiczne zastosowano do

monitorowania zachodzących zmian jakości przechowywanego materiału, które obejmowały: oznaczanie ergosterolu (ERG) i analizę związków lotnych metodą mikroekstrakcji do fazy stałej i chromatografii gazowej ze spektrometrią mas (SPME/GC-MS). W wyniku badań określono profil związków lotnych oraz zmiany ergosterolu dla 31. dniowego okresu przechowywania. Oznaczono osiemnaście chemicznych grup związków VOCs (volatile organic compounds) wśród, których zaobserwowano silną pozytywną korelację czasu oczyszczania ( $t_{CL}$ ) w stosunku do udziału procentowego alkoholi i alkenów oraz ergosterolu jako markera zmian jakościowych. Drugim parametrem, który dobrze opisywał zmiany zachodzące w nasionach była maksymalna odpowiedź czujnika ( $\Delta R/R_{max}$ ). Parametr ten był silnie negatywnie skorelowany w przypadku sześciu sensorów z estrami i amidami oraz w przypadku pozostałych dwóch sensorów z ergosterolem i alkenami, mniej z alkoholami. Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że istnieje zależność pomiędzy odpowiedziami sensorów, a występowaniem grup związków chemicznych w profilu zapachowym pochodzącym od materiału biologicznego oraz zmianami ergosterolu w okresie przechowywania nasion w nieodpowiednich warunkach.

Ostatni etap badań pozwolił na zdefiniowanie profilu związków lotnych w analizie i kontroli procesów technologicznych podczas przetwarzania różnych surowców spożywczych. Badania przeprowadzono między innymi dla: oleju wytłoczonego z nasion przechowywanych z dostępem i bez dostępu powietrza przed tłoczeniem, chleba pszennego przechowywanego po wypieku oraz palonego ziarna kawy pochodzącego z różnych rejonów produkcji gatunków: *Coffea Arabica* i *Coffea Canephora*.

H6. Rusinek R., Siger A., Gawrysiak-Witulska M., Rokosik E., Malaga-Toboła U., Gancarz M.: Application of an electronic nose for determination of pre-pressing treatment of rapeseed based on the analysis of volatile compounds contained in pressed oil. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55, 5, 2161-2170. DOI:10.1111/ijfs.14392.

W pierwszej pracy podjęto próbę zastosowania elektronicznego nosa wraz z nową trzyparametrową metodą do generowania cyfrowego odcisku zapachu w celu określenia trybu przetwarzania nasion rzepaku przed tłoczeniem na podstawie analizy lotnych związków zawartych w tłoczonym z nich na zimno oleju rzepakowym. Przed procesem tłoczenia nasiona były prażone lub niewłaściwie przechowywane w celu uzyskania próbek oleju o różnej jakości technologicznej. Wytłoczono 7 próbek oleju. Próbę

kontrolną stanowił olej uzyskany z nasion bezpośrednio po zbiorze, których wilgotność wynosiła 7%. Cztery próby oleju wytłoczono z nasion, które nawilżono do wilgotności 10%, 12%, 20% i 25% a następnie przechowywano przez 14 dni w temperaturze pokojowej w zamkniętych polietylenowych workach strunowych. Bezpośrednio przed tłoczeniem nasiona dosuszano powietrzem o temperaturze 60°C do wilgotności 7%.

Dwie kolejne próby oleju wytłoczono z nasion poddanych procesowi prażenia w temperaturze 140 i 180°C przez 15 min. Do prażenia nasion zastosowano a Universal Oven UFE55 with forced ventilation (Mettler GmbH+Co. KG, Schwabach, Germany). Po nagraniu suszarki do określonej temperatury (140 lub 180°C) wkładano do niej po 2 płytki Petriego z nasionami rzepaku i ogrzewano przez 15 min. Natychmiast po wyjęciu z suszarki nasiona przeniesiono do zimnego szklanego pojemnika. Po ochłodzeniu nasion do temperatury otoczenia ( $\pm 18^\circ\text{C}$ ) wszystkie próbki (dla danej temperatury i czasu prażenia) połączono i zmieszano. Zmierzono zawartość wody w prażonych nasionach, a próbki nawilżono do 7%. Olej był wyciskany z całych nasion. Rzepak (*Brassica napus*) tłoczono w temperaturze pokojowej za pomocą maszyny do prasowania na zimno Farnet Uno (Farnet a.s., Republika Czeska), temperatura w prasie wynosiła  $60 \pm 10^\circ\text{C}$ . Temperatura produkowanego oleju wynosiła  $39 \pm 1^\circ\text{C}$ . Olej wirowano przy 5000 rpm przez 15 minut. Następnie olej przelano bezpośrednio do małych ciemnych butelek (100 ml) i przechowywano w temperaturze  $4^\circ\text{C}$  bez dostępu światła. Jakość i przydatność tłoczonych olejów oceniono przez określenie liczby kwasowej. Ponadto kolor oleju oceniano za pomocą kolorymetru odwzorowującego jego zmiany. Lotne związki występujące w oleju oznaczono za pomocą mikroekstrakcji do fazy stałej i chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas i elektronicznego nosa (AgriNOSE) z matrycą czujników z półprzewodzących tlenków metali.

Stwierdzono, że tryb wstępnego przygotowywania nasion przed tłoczeniem nie zmienił znacząco koloru oleju. Wpłynęło to jednak na profil lotnych związków organicznych i zmieniło ich proporcje. Po identyfikacji związków lotnych na podstawie otrzymanych chromatogramów oraz na podstawie analizy głównych składowych (PCA) stwierdzono, że największy odsetek związków lotnych określonych dla próbek prażonych i wytłoczonych z nasion zwilżonych do 25% (w.b.) stanowiły ketony. Alkohole dominowały w próbkach zwilżonych do 10 i 12%, terpeny były dominującymi lotnymi związkami w próbkach prażonych w  $140^\circ\text{C}$ , a inne lotne związki dominowały w próbkach zwilżonych do 10 i 20% (w.b.). Z kolei estry i związki aromatyczne

stanowiły najmniejszy odsetek w analizowanych próbkach. Wyniki uzyskane przez analizę sensorgramów uzyskanych z elektronicznego nosa i trójparametrowej analizy sygnału były skorelowane z obecnością poszczególnych grup lotnych związków w oleju rzepakowym. Podsumowując wyniki badania, liczba kwasowa nie była zależna od profilu lotnych związków, tylko korelowała z terpenami. W tych badaniach stan nasion przed procesem tłoczenia nie wywierał znaczącego wpływu na kolor oleju. Tryb wstępnej obróbki nasion przed tłoczeniem wpłynął na profil lotnych związków organicznych poprzez zmianę ich proporcji. Jak wykazały chromatogramy i wyniki uzyskane z elektronicznego nosa, próbka kontrolna charakteryzowała się pewną stabilną emisją lotnych związków charakterystycznych dla specyficznego zapachu (normalny zapach nasion dobrej jakości). Wyniki analizy reakcji elektronicznego nosa skorelowano z obecnością poszczególnych grup lotnych związków w oleju. Dane na temat korelacji między związkami i etapami emisji lotnych związków organicznych dostarczane przez elektroniczny nos mogą pomóc w interpretacji jakości oleju, gdy informacja o historii stanu fizykochemicznego nasion przed procesem tłoczenia jest niedostępna.

H7. Rusinek R., Gancarz M., Nawrocka A.: Application of an electronic nose with novel method for generation of smellprints for testing the suitability for consumption of wheat bread during 4-day storage. *LWT - Food Science and Technology*, 2020, 117, art. no. 108665, DOI:10.1016/j.lwt.2019.108665

W kolejnych badaniach sprawdzono zastosowanie AgriNOSE z nową, trzyparametrową metodą generowania odcisków zapachowych w celu przetestowania przydatności chleba do spożycia podczas jego czterodniowego przechowywania. Do identyfikacji i opisanie zawartości lotnych metabolitów zastosowano technikę mikroekstrakcji do fazy stałej i chromatografię gazową z analizą spektrometrii mas (SPME/GC-MS). Skala kolorów przestrzeni CIE L\*a\*b\* została użyta do identyfikacji zmian koloru podczas przechowywania, a testy przebiccia i penetracji maszyną wytrzymałościową Instron 8872 zostały użyte do opisanie twardości i zestalenia, jako referencyjne metody testowania chleba. Proces czerstwienia chleba w warunkach tlenowych skorelowano ze sobą zmiany koloru mękiszu, twardości i emisji substancji lotnych. Analiza lotnych związków emitowanych z chleba przechowywanego w warunkach quasi-beztlenowych wykazała związek między reakcjami czujników rezystancyjnych a ilością i rodzajem grup substancji lotnych w ogólnym aromacie.

Najwyższą wrażliwość na lotne związki organiczne (VOCs) generowane przez psujący się chleb odnotowano w przypadku czujników do testów żywności, tj. AS-MLV-P2 i TGS2603. AgriNOSE w połączeniu z metodą trzy-parametrową może dokładnie przewidzieć wzrost pleśni na chlebie przechowywanym w warunkach quasi-beztlenowych i może być stosowana jako szybkie i nieniszczące narzędzie do wczesnego wykrywania infekcji grzybiczych.

Badania wykazały, że elektroniczny nos oparty na czujnikach MOS jest szybkim i nieinwazyjnym narzędziem do oceny przydatności chleba do spożycia bezpośrednio po upieczeniu. Urządzenie wykrywa utratę aromatu chleba podczas procesu starzenia i wskazuje czas pojawienia się ognisk mikroflory w chlebie przechowywanym w warunkach quasi-beztlenowych. Z kolei analiza lotnych związków emitowanych z chleba przechowywanego w warunkach quasi-beztlenowych wykazała dodatnie lub ujemne korelacje odpowiedzi czujników rezystancyjnych typu MOS z liczbą i procentowym udziałem grup lotnych w ogólnym zapachu. Podsumowując, AgriNOSE okazał się przydatnym narzędziem w nieinwazyjnej diagnostyce jakości konsumenckiej chleba po wypieku.

H8. Marek G., Dobrzański Jr. B., Oniszczyk T., Combrzyński M., Ćwikła D., Rusinek R.: Detection and Differentiation of Volatile Compound Profiles in Roasted Coffee Arabica Beans from Different Countries Using an Electronic Nose and GC-MS. *Sensors* 2020, 20(7), 2124; DOI:10.3390/s20072124.

W dalszych badaniach sprawdzono możliwość detekcji i rozróżniania profili aromatów kawy za pomocą elektronicznego nosa pochodzących z różnych rejonów świata, palonych w jednakowych reżimach czasowych i termicznych w piecu z ogrzewaniem typu konwekcyjno-kondukcyjnym. Kawa jako napój znana jest na całym świecie, stanowi część kultury kulinarnej wielu krajów. Rynek kawy na świecie, pod względem wartości ekonomicznej jest drugim, co do wielkości tuż po rynku ropy naftowej (crude oil). Wśród kilkudziesięciu gatunków kawowca znanych na świecie, dwa dominują na rynku produkcji i handlu kawy, stanowiąc istotne znaczenie gospodarcze: *Coffea Arabica* i *Coffea Canephora (Robusta)* (Coffee Market Report, 2018). Oba gatunki są odmienne ze względu na kształt i wielkość ziaren, skład chemiczny, smak i aromat, ale też uprawiane są w różnych warunkach i mają zróżnicowane wymagania klimatyczne i środowiskowe (Cheng i in., 2016). Napoje produkowane z palonego ziarna kawy *Arabica* charakteryzują się wyższą kwasowością i aromatem owocowym (Dong i in., 2015),

podczas gdy kawa zaparzona z ziarna *Robusta* jest mocniejsza, gorzka i zawiera więcej kofeiny (Dobrzański, 2009). Kawa *Arabica* słynie z łagodnego i harmonijnego aromatu, natomiast aromat *Robusta* określa się jako ziemisty i surowy.

Skład chemiczny ziarna kawy zależy od gatunku, odmiany i stanu dojrzałości owocu, a także środowiska, metody pozyskiwania ziarna i warunków przechowywania. Oba gatunki tj., *Arabica* i *Robusta* różnią się pod względem zawartości kofeiny, trygoneliny, lipidów, kwasów chlorogenowych, oligosacharydów i polisacharydów. Aromat kawy jest jednym z najistotniejszych jej atrybutów, który w znacznym stopniu zależy od gatunku, warunków klimatycznych i glebowych, uprawy i przechowywania po zbiorze. Kształtuje się podczas palenia i zależy od warunków tego procesu (Yang, 2016). Reakcje rozpadu związków nietlotnych zawartych w kawie surowej, piroliza, karmelizacja, reakcje Maillarda dają ostateczną kompozycję aromatu (Nooshkam i in., 2019). Lotna frakcja kawy prażonej jest bardzo skomplikowaną mieszaniną różnych klas związków i żadna pojedyncza substancja nie posiada typowego zapachu kawowego. Rozwój metod chromatograficznych, w szczególności wysokosprawnej chromatografii gazowej, także zastosowanie spektrometrów masowych jako detektorów, pozwoliły na zidentyfikowanie w kawie palonej prawie 850 związków chemicznych należących do różnych grup: pirazyn, pirydyn, piroli, związków karbonylowych, furanów, fenoli, oksazoli, tiofenów i tiazoli, tioli i innych związków siarkowych i kwasów karboksylowych (Toledo i in., 2016).

Materiałem badawczym było palone ziarno kawy gatunku *Arabica*, pochodzące z Brazylii, Etiopii, Gwatemali, Kostaryki i Peru. Ziarna wszystkich badanych kaw zostały wypalone w piecu z typem ogrzewania konwekcyjno-kondukcyjnym. Parametry procesu palenia były identyczne: czas całkowity wynosił 12 min 30 s, przy czym faza suszenia - 6 min, pierwsza faza palenia - 4 min, faza rozwoju - 2 min. 30 s. Zasyp pieca dla każdej z prób ziarna kawy był jednakowy i wynosił 10 kg. Do badań aromatu wykorzystano zaprojektowany i wykonany w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie elektroniczny nos - AgriNOSE. Wyniki badań analizy substancji lotnych profilu aromatów uzyskane za pomocą aparatu AgriNOSE weryfikowano za pomocą techniki GC-MS. W wyniku badań chemometrycznych stwierdzono dominującą rolę alkoholi, kwasów, aldehydów, azyn i hydrazydów w profilu aromatów kaw. Ich zróżnicowany udział profilował aromat kaw ze względu na kraj pochodzenia. Zaś wysoka zawartość pirydyny z grupy azyn mimo tych samych warunków palenia charakteryzowała kawy z Peru i z Brazylii. Wyniki



badania analizy substancji lotnych za pomocą AgriNOSE były spójne i skorelowane z wynikami uzyskanymi przy pomocy techniki GC-MS, co oznacza, że AgriNOSE jest obiecującym narzędziem, które może służyć do selekcjonowania kaw ze względu na profil aromatu.

Stwierdzono, że zastosowany system identyfikacji i kontroli oparty na zbudowanym urządzeniu AgriNOSE i nowej metodzie analizy sygnału uzyskanego z zastosowanych czujników na bazie półprzewodnikowych tlenków metali pozwala na kontrolę procesów technologicznych surowców i produktów spożywczych na każdym jego etapie, a także w jak w przypadku oleju pozwala na ustalenie tego, jakim procesom technologicznym poddawano surowiec przed uzyskaniem produktu.

*W powyższych rozważaniach prezentujących wyniki badań własnych udowodniono słuszność hipotezy badawczej HB2. Opracowana metoda analizy sygnału lotnych związków organicznych pozwala na wykrywanie grzybowych chorób pojawiających się w trakcie przechowywania nasion rzepaku oraz weryfikację jakości tłoczonego oleju, a także ocenę jakości produktów spożywczych.*

Omawiane w cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe wyniki, były też podstawą do uzyskania dwóch patentów:

1. Gancarz Marek; Rusinek Robert; Nawrocka Agnieszka; Tadla Marcin; Gawrysiak-Witulska Marzena; Wawrzyniak Jolanta: Matryca czujników elektronicznego nosa. PL419383. Data zgłoszenia: 2016. Data udzielenia: 2020.

MNiSW<sub>2020</sub> = 75 pkt.

2. Gancarz Marek; Rusinek Robert; Nawrocka Agnieszka; Tadla Marcin: Sposób określania rodzaju organicznych substancji lotnych i ich koncentracji z zastosowaniem elektronicznego nosa. PL419382. Data zgłoszenia: 2016. Data udzielenia: 2020.

MNiSW<sub>2020</sub> = 75 pkt.

## PODSUMOWANIE

Opracowane urządzenie AgriNOSE wraz z zaproponowaną nową metodą analizy sygnału uzyskanego z zastosowanych czujników na bazie półprzewodnikowych tlenków metali wykazały, że szczegółowa analiza związków zapachowych może być szybkim, precyzyjnym i przy tym obiektywnym instrumentem wykorzystywanym do określania

jakości produktów spożywczych pochodzenia rolniczego, a także prawidłowości przebiegu procesu technologicznego ich przechowywania lub wytwarzania. Dodatkowo, otwiera się nowa możliwość wykorzystania profilu związków zapachowych jako instrumentu kontroli autentyczności i pochodzenia tego typu produktów spożywczych. Na przykładzie oleju rzepakowego można stwierdzić, że zaproponowany system kontroli pozwala na ustalenie; w jakich warunkach składowano nasiona przed procesem tłoczenia i czy pojawiły się choroby grzybowe obniżające wartość tego oleju lub dyskwalifikujące go całkowicie jako produkt spożywczy. Z kolei na przykładzie kawy można użyć tego urządzenia do określenia pochodzenia kawy na podstawie aromatu wypalanej kawy.

Prowadzone badania oraz uzyskane wyniki były podstawą do dokonania dwóch zgłoszeń patentowych, które w 2020 roku uzyskały ochronę Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej.

Wykaz cytowanej literatury:

- Adhikari B., Majumdar S. (2004). Polymers in sensor applications. *Prog. Polym. Sci.* 29, 699–766.
- Bonah, E, Huang, X, Yi, R, Aheto, JH, Osa, R, Golly, M., 2019. Electronic nose classification and differentiation of bacterial foodborne pathogens based on support vector machine optimized with particle swarm optimization algorithm. *J. Food Process Eng.* 42:e13236.
- Casalinuovo I. A., Di Pierro D., Coletta M., and Di Francesco P., 2006. Application of electronic nose for disease diagnosis and food spoilage detection. *Sensors*, 6, 1428-1439.
- Cheng, B.; Furtado, A.; Smyth, H. E.; Henry, R. J. 2016 Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends Food Sci. Technol.* 57, 20–30.
- Coffee Market Report. April 2018. Available online: <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0418-e.pdf> (accessed on 13 May 2018).
- Dobrzański jr., B. Coffee quality and properties. Wyd. Naukowe FRNA, **2009**, 181, ISBN: 978-83-60489-16-1,
- Dong, W. J.; Tan, L. H.; Zhao, J. P.; Hu, R. S.; Lu, M. Q. 2015. Characterization of fatty acid, amino acid and volatile compound compositions and bioactive components of

- seven coffee (*Coffea robusta*) cultivars grown in Hainan province, China. *Molecules*, 20, 16687–16708.
- Fan, S.; Li, Z.; Xia, K.; Hao, D., 2019. Quantitative and Qualitative Analysis of Multicomponent Gas Using Sensor Array. *Sensors*, 19, 3917.
- Garbacz, M., Malec, A., Duda-Saternus, S., Suchorab, Z., Guz, Ł., Łagód, G., 2020, Methods for Early Detection of Microbiological Infestation of Buildings Based on Gas Sensor Technologies. *Chemosensors* 8, 7.
- Gębicki, J., Szulczyński, B., 2018. Discrimination of selected fungi species based on their odour profile using prototypes of electronic nose instruments. *Measurement*. 116, 307-313.
- Guz Ł., Łagód G., Jaromin-Gleń K., Suchorab Z., Sobczuk H., Bieganowski A., Application of gas sensor arrays in assessment of wastewater purification effects, *Sensors* 15 (2015) 1-21.
- Horabik J., Tys J., Rusinek R., 2012. Koncepcja stalowego zbiornika do suszenia i bezpiecznego przechowywania nasion rzepaku, *Przegląd Budowlany*, 2012, (4): 89-91.
- Horabik J., Molenda M., Rusinek R. 2009. Performance of membrane pressure transducers in granular materials of various particle sizes. *Powder Technology*, 190, 410-414.
- Hung, R., Lee, S., Bennett, J.W. (2015). Fungal organic compounds and their role in ecosystem. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 3395-3405.
- Jeleń, H., Wąsowicz, E. (1998). Volatile fungal metabolites and their relation to the spoilage of agricultural commodities. *Food Review International*, 14(4), 391-426.
- Kim, J.-H.; Mirzaei, A.; Kim, H.W.; Kim, H.J.; Quoc Vuong, P.; Kim, S.S. 2019A Novel X-Ray Radiation Sensor Based on Networked SnO<sub>2</sub> Nanowires. *Appl. Sci.*, 9, 4878.
- Lippolis, V., Pascale, M., Cervellieri, S., Damascelli, A. & Visconti, A. 2014. Screening of deoxynivalenol contamination in durum wheat by MOS-based electronic nose and identification of the relevant pattern of volatile compounds. *Food Control*. 37, 263-271.
- Loutfi, A., Coradeschi, S., Kumar Mani, G., Shankar, P., Bosco Balaguru Rayappan, J. (2015). Electronic noses for food quality, A review, *Journal of Food Engineering*, 144, 103-111.

- Mirzaei A., Leonardi S.G., Neri G. (2016). Detection of hazardous volatile organic compounds (VOCs) by metal oxide nanostructures-based gas sensors: A review. *Ceramics International* 42,15119–15141.
- Nawara P., Trzyniec K., Drózdź T., Popardowski E., Juliszewski T., Zagórda M., Miernik A. (2020). Analysis of the possibility of identifying the quality parameters of the oil using ultra-weak secondary luminescencje. *Przegląd Elektrotechniczny* 96 (2), 117-120.
- Nicolaisen M., Supronien S., Nielsen L.K., Lazzaro I., Spliid N.H., Justesen A.F. 2009. Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals, *J. Microbiol. Methods*. 76 234–240.
- Nooshkam, M.; Varidi, M.; Bashash, M. 2019. The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems (Review), *Food Chem.* 275, 644-660.
- Liu, H.; Zhu, W.; Han, Y.; Yang, Z.; Huang, Y. 2019. Single-Nanowire Fuse for Ionization Gas Detection. *Sensors*, 19, 4358.
- Rusinek R., Matecki W. 2013, Silos z promieniowym obiegiem czynnika susząco-chłodzącego, *Powder & Bulk Materiały Sypkie i Masowe*, 4(28): 30-32.
- Rusinek Robert, Kobyłka Rafał, 2014, Experimental study and discrete element method modeling of temperature distributions in rapeseed stored in a model bin., *Journal of Stored Products Research*, 59254-259.
- Rusinek R., Rybczyński R. 2010. System monitorowania warunków przechowywania nasion., *Wpływ Procesów Technologicznych na Właściwości Materiałów i Surowców Roślinnych*, 2010, (Rozdz. 12): 145-154
- Sabilla, S.I., Sarno, R., Triyana K. 2019. Optimizing Threshold Using Pearson Correlation for Selecting Features of Electronic Nose Signals. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems* 12 (6), 81-90.
- Schieberle, P. (1996). Odour-active compounds in moderately roasted sesame. *Food Chemistry*, 55, 145-162.
- Szczurek, A., Krawczyk, B., Maciejewska, M. (2013). VOCs classification based on the committee of classifiers coupled with single sensor signals. *Chemometrics and Intelligent Laboratory System*. 125, 1-10.
- Souza F.A.A., Araújo R., Mendes J. 2016. Review of soft sensor methods for regression applications. *Chemometrics and Intelligent Laboratory System*. 152, 69-79.

- Szczurek, A., Maciejewska, M., Bąk, B., Wilde, J., Siuda, M. 2019. Semiconductor gas sensor as a detector of *Varroa destructor* infestation of honey bee colonies – Statistical evaluation. *Comput Electron Agr.* 162, 405-411.
- Toledo, P.R.A.B.; Pezza, L.; Pezza, H.R.; Toci, A.T. Relationship between the Different Aspects Related to Coffee Quality and Their Volatile Compounds. *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety.* 2016, 15, 705–719.
- Torri L., Piochi M. 2016. Sensory methods and electronic nose as innovative tools for the evaluation of the aroma transfer properties of food plastic bags. *Food Res Int.* 85, 235-243.
- Wang L., Zhang R., Zhou T., Lou Z., Deng J., Zhang T.. (2016) Concave Cu<sub>2</sub>O octahedral nanoparticles as an advanced sensing material for benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) detection. *Sensors and Actuators B* 223, 311–317.
- Wang, T., Li, T., Wang, M., Tan, T. (2007). Integrative extraction of ergosterol, (1-3)- $\alpha$ -D-glucan and chitosan from *Penicillium chrysogenum* mycelia. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 15, 725-729.
- Yang, N.; Liu, C. J.; Liu, X. K.; Degen, T. K.; Munchow, M.; Fisk, I. 2016. Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defect. *Food Chem.*, 211, 206–214.
- Patent: PL419382, data zgłoszenia: 07.11.2016, data ogłoszenia: 2020, twórcy: Marek Gancarz, Robert Rusinek, Agnieszka Nawrocka, Marcin Tadla, zgłaszający: Instytut Agrofizyki PAN, „Sposób określania rodzaju organicznych substancji lotnych i ich koncentracji z zastosowaniem elektronicznego nosa”.
- Patent: PL419383, data zgłoszenia: 07.11.2016, data ogłoszenia: 2020, twórcy: Marek Gancarz, Robert Rusinek, Agnieszka Nawrocka, Marcin Tadla, Marzena Gawrysiak-Witulska, Jolanta Wawrzyniak, zgłaszający: Instytut Agrofizyki PAN, „Matryca czujników elektronicznego nosa”.

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

**a) Działalność naukowo-badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora**

W latach 1995 – 2000 studiowałem na Uniwersytecie Marii Skłodowskiej-Curie w Lublinie na Wydziale Matematyki i Fizyki na kierunku Fizyka. Tytuł magistra fizyki,

specjalność - biofizyka uzyskałem na podstawie pracy magisterskiej pt. „Spektrofotometryczne badania transportu protonów przez błony lipidowe”, którą wykonałem pod kierunkiem prof. dr hab. Wiesława I. Gruszeckiego. W 2001 roku rozpocząłem pracę w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie w Zakładzie Mikrostruktury i Mechaniki Biomateriałów.

W 2002 roku, jako jeden z trzech pracowników Instytutu wzięłem udział w pierwszych, międzynarodowych warsztatach dla młodych naukowców BioPhys Spring w Pradze. Podczas tej konferencji odbywającej się w 2006 roku byłem przewodniczącym panelu tematycznego pt. „Seed Mechanics”.

Doskonając warsztat naukowy uczestniczyłem w organizacji warsztatów i szkoleń laboratoryjnych dla młodych naukowców biorąc udział w projekcie "Centrum Doskonałości Fizyki Stosowanej w Zrównoważonym Rolnictwie"- akronim AGROPHYSICS; Project Number and FP 5 Action No QLAM-2001-00428 QUALITY OF LIFE AND MANAGEMENT OF LIVING RESOURCES w pakiecie 7 - „Mechanics and micro-structure of agricultural plant materials” dofinansowanym z środków Unii Europejskiej i KBN wspierających działalność innowacyjną jednostki oraz promującym jej badania naukowe, opracowane technologie i wyroby w kraju i za granicą. W wyniku tych działań powstała monografia naukowa pt. „Micro-structure analysis of plant tissues”, w której zamieszczono rozdział pt. „Optical Microscope” mojego autorstwa.

Podczas udziału w międzynarodowym projekcie badawczym „Cellular structure, mechanical properties and acoustic emission of plant tissues”, realizowanym w ramach współpracy Zakładu Mikrostruktury i Mechaniki Biomateriałów IA PAN a Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité de Recherche sur les Biopolymères leurs Interactions et Assemblages (BIA) w Nantes zajmowałem się określeniem zależności między strukturą komórkową a właściwościami mechanicznymi tkanek roślinnych z wykorzystaniem zjawiska emisji akustycznej (Zał. 3.5a.1).

W roku 2007 przebywając na stażach naukowych we Francji kierowałem projektami badawczymi finansowanymi przez Rząd Francuski oraz przez Research Centre Unité de Recherche sur les Biopolymères leurs Interactions et Assemblages INRA w Nantes we Francji (Zał. 3.5a.2; Zał.3.5a.3). Wyniki badań z tego okresu posłużyły do przygotowania kilku oryginalnych publikacji naukowych i rozdziałów w monografiach w języku angielskim oraz były przedstawiane na konferencjach krajowych i międzynarodowych.

Dnia 24 października 2008 otworzyłem przewód doktorski. Z wynikiem pozytywnym zdałem egzaminy z fizyki z elementami agrofizyki, z uprawy roli i roślin oraz z języka angielskiego wyznaczone przez Radę Naukową IA PAN. W 2009 roku, jako doktorant uzyskałem z drugą lokatą stypendium w projekcie „Stypendia naukowe dla doktorantów”, (Priorytet VIII Regionalne kadry gospodarki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji), współfinansowanym z Europejskiego Funduszu Społecznego, budżetu państwa i budżetu Samorządu Województwa Lubelskiego (Zał. 3.5a.4).

W 2010 roku odbyłem staż w Instytucie Fizyczno-Mechanicznym im. G. Karpenki Narodowej Akademii Nauk Ukrainy uczestnicząc w projekcie „Badania zmian dynamiki rozkładu przestrzennego biospeckli owoców”, w ramach umowy o współpracy naukowej między Polską Akademią Nauk i Narodową Akademią Nauk Ukrainy (Zał. 3.5a.5). Podczas pobytu opracowano zmiany rozwiązań technicznych użytych elementów w celu zmniejszenia wielkości całego urządzenia, aby w przyszłości zmniejszyć jego energochłonność i zwiększyć mobilność oraz omówiono uzyskane wcześniej wyniki badań, w których otrzymano zmiany dynamiki przestrzennego rozkładu biospeckli jabłek.

Moja praca doktorska pt. „Wpływ wielkości i kształtu komórek bulwy ziemniaka na ciemną plamistość poudzerzeniową” otrzymała pozytywne recenzje prof. dr hab. Kazimiery Zgórskiej z Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin Państwowego Instytutu Badawczego w Radzikowie, Oddział Jadwisin oraz prof. dr hab. Stanisława Grundasa z Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. Publiczna obrona pracy doktorskiej odbyła się 12 maja 2011 w Instytucie Agrofizyki przed Komisją powołaną przez Radę Naukową Instytutu Agrofizyki PAN. W dniu 9 czerwca 2011 nastąpiło zatwierdzenie przez Radę Naukową Instytutu Agrofizyki PAN stopnia doktora nauk rolniczych w zakresie agronomii-agrofizyki.

#### **b) Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora**

Po uzyskaniu stopnia doktora do maja 2015 pracowałem na stanowisku koordynatora d.s. naukowego przygotowania i wdrożenia projektu przy realizacji projektu pod nazwą „Centrum Badawczo - Innowacyjne Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie” w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej na lata 2007-2013 – Oś I Nowoczesna Gospodarka – Działanie I.3 Wspieranie Innowacji.

Równocześnie z pracą w Instytucie Agrofizyki uczestniczyłem jako główny wykonawca przy realizacji projektu pt. „Urządzenie do monitorowania stanu mikrobiologicznego nasion na podstawie elektronicznej analizy substancji lotnych”, który znalazł się na szóstym miejscu listy rankingowej wśród około stu wniosków złożonych z dziedziny nauk biologicznych, rolniczych, leśnych i weterynaryjnych. Grant realizowany był w konsorcjum utworzonym pomiędzy Instytutem Agrofizyki PAN w Lublinie, który był liderem projektu, a wykonawcą był Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. W ramach tej współpracy odbyłem cztery dwutygodniowe staże naukowe w Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu (Zał. 3.5b.1). Projekt ten został nominowany do Polskiej Nagrody Innowacyjności 2016 w ramach IV Polskiego Kongresu Przedsiębiorczości, który odbył się w dniach 27-28 października 2016 roku w Lublinie (Zał. 3.5b.2).

W maju 2015 roku bezpośrednio po zakończeniu projektu „Centrum Badawczo - Innowacyjne Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie”, rozpocząłem pracę na stanowisku inżynierskim w Zakładzie Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych prowadzonym przez prof. dr hab. Marka Molendę.

W 2017 roku zostałem zaproszony do wygłoszenia referatu związanego z tematem moich badań w ramach cyklicznego wydarzenia kulturalnego „Galeria postaci w Galerii Malarstwa na Zamku w Lublinie”. Dnia 17 grudnia 2017 roku, wygłosiłem na tym wydarzeniu godzinny referat p.t. „Elektroniczny nos w analizie substancji lotnych (VOCs) produktów spożywczych” (Zał. 3.5b.3).

W 2018 roku współpracowałem z School of Biological and Chemical Sciences, Queen Mary University of London w Londynie w Wielkiej Brytanii, Uniwersytetem Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie oraz Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Wynikiem tej współpracy była publikacja naukowa w czasopiśmie PlosONE (IF<sub>2018</sub>=2,766; Zał. 4 pkt. II.4.Ib.5).

Nawiązanie współpracy badawczej z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu oraz Uniwersytetem Rolniczym im. Hugona Kołłątaja w Krakowie zaowocowało kolejnymi publikacjami w czasopismach z listy JCR (IF<sub>2020</sub>=3,275; IF<sub>2020</sub>=2,773; Zał. 4 pkt. I.2.5; Zał. 4 pkt. I.2.6).

Również współpraca z Uniwersytetem Medycznym w Lublinie, Instytutem Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach i Uniwersytetem Przyrodniczym w



Lublinie, pozwoliła na opublikowanie kolejnych wyników prowadzonych wspólnie badań (IF<sub>2020</sub>=3,267; Zał. 4 pkt. II.4.Ib.3).

Do innych osiągnięć naukowych można zaliczyć: otrzymanie listu gratulacyjnego TOP DOWNLOADED PAPER 2018-2019 od wydawnictwa WILEY, ponieważ artykuł „Identification of volatile organic compounds and their concentrations using a novel method analysis of MOS sensors signal” został uznany za jeden z najczęściej czytanych w Journal of Food Science (Zał. 3.5b.4). Z kolei artykuł, którego jestem współautorem „A novel method for generation of a fingerprint using electronic nose on the example of rapeseed spoilage” w Journal of Food Science otrzymał tytuł Highly Cited Paper według bazy Web of Science (Zał. 3.5b. 5). Ponadto jestem ekspertem Podkarpackiego Centrum Innowacji w dziedzinach: Badania przemysłowe; Efektywność energetyczna i odnawialne źródła energii, Biogospodarka oraz żywność, dla którego wykonałem 15 recenzji projektów badawczo-rozwojowych (Zał. 3.5b.6). Występuje też w roli Topic Editor czasopisma Chemosensors posiadającego IF<sub>2019</sub>=3,108 (Zał. 3.5b.7).

Mój wkład w recenzowanie prac naukowych przedstawia się następująco: Jestem Członkiem Rady Recenzentów czasopism Multidisciplinary Digital Publishing Institute – MDPI (Zał. 3.5b.8). Za miesiąc październik w 2018 roku od czasopisma Postharvest Biology and Technology otrzymałem certyfikat wybitnego wkładu w proces recenzowania przyznany za duży wpływ na jakość czasopisma (Zał. 3.5b.9). Ogółem, jako recenzent wykonałem recenzje 57. manuskryptów dla czasopism naukowych będących na liście JCR: LWT - Food Science and Technology (IF<sub>2019</sub>=4,006) – 14 recenzji (Zał. 3.5b.10); MDPI – 24 recenzje (Sensors IF<sub>2019</sub>=3,275 – 12 recenzji; Foods IF<sub>2019</sub>=4,092 – 6 recenzji; Diagnostics IF<sub>2019</sub>=3,110 – 2. recenzje; Applied Sciences IF<sub>2019</sub>=2,474 – 1. recenzja; Chemosensors IF<sub>2019</sub>=3,108 – 1. recenzja; Energies IF<sub>2019</sub>=2,702 – 1. recenzja; Micromachines IF<sub>2019</sub>=2,523 – 1. recenzja) (Zał. 3.5b.11); Food Chemistry (IF<sub>2019</sub>=6,306)– 6 recenzji (Zał. 3.5b.12); Postharvest Biology and Technology (IF<sub>2019</sub>=4,303) - 5 recenzji (Zał. 3.5b.13); International Agrophysics (IF<sub>2019</sub>=1,655) – 2. recenzje (Zał. 3.5b.14); Journal of the Science of Food and Agriculture (IF<sub>2019</sub>=2,614) – 1. recenzja (Zał. 3.5b.15); Natural Product Communications (IF<sub>2019</sub>=0,468) – 1. recenzja; The Journal of Horticultural Science and Biotechnology (IF<sub>2019</sub>=1,160) – 1. recenzja; Climatic Change (IF<sub>2019</sub>=4,134) – 1. recenzja; Computers in Biology and Medicine (IF<sub>2019</sub>=3,434) – 1. recenzja; Sensors and Actuators B: Chemical (IF<sub>2019</sub>=7,100) – 1. recenzja (Zał. 3.5b.16). Wykonałem także 23 recenzje dla czasopism naukowych niebędących na liście JCR.

W trakcie pracy naukowej aktywnie uczestniczę w konferencjach naukowych krajowych (35 w tym 24 po uzyskaniu stopnia doktora) i międzynarodowych (20 w tym 12 po uzyskaniu stopnia doktora). Na odbywającej się w czerwcu 2016 roku 18. Międzynarodowej Konferencji Rolnictwa i Inżynierii Żywności w Nowym Jorku (ICAFE 2016: 18th International Conference on Agricultural and Food Engineering) byłem przewodniczącym panelu oraz prezentowałem wyniki mojej pracy i została mi przyznana nagroda w postaci certyfikatu za wykonanie prezentacji ustnej i technicznej, jako uznanie i docenienie badań mających wkład do 18. Międzynarodowej Konferencji Rolnictwa i Inżynierii Żywności (Załącznik 3.5b.17, Załącznik 3.5b.18). W 2019 roku brałem udział w Polsko-Francuskim Forum Nauki i Innowacji na zaproszenie Attache ds. nauki i współpracy uniwersyteckiej ambasady Francji (Załącznik 3.5b.19).

Byłem także Członkiem Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowej Konferencji Naukowej, Global Summit Nutrition & Public Health 18-19 Listopada 2019 roku w Kuala Lumpur w Malezji (Załącznik 3.5b.20).

Byłem również Członkiem Międzynarodowego Komitetu Naukowego kilkunastu zagranicznych konferencji naukowych (Załącznik 3.5b.21)

Biorę też udział w pracach kolegów redakcyjnych Scientific and Technical Committee & Editorial Review Board on Agricultural and Biosystems Engineering oraz IRC Scientific and Technical Committee & Editorial Review Board on Energy and Power Engineering z siedzibą w Riverside w USA (Załącznik 3.5b.21; Załącznik 3.5b.22).

W roku 2020 w konkursie Narodowego Centrum Nauki Miniatura, jako kierownik projektu otrzymałem środki na sfinansowanie badań p.t. „Określenie wpływu granulacji i gęstości materiałów sypkich na intensywność i profil związków lotnych emitowanych podczas ich przechowywania w kontrolowanych warunkach”. Celem zaplanowanych w projekcie badań jest określenie wpływu granulacji i gęstości materiałów sypkich na emisję związków lotnych podczas przechowywania. Program badań w tym działaniu będzie polegał na określeniu wpływu granulacji (ziarna kukurydzy i kasza kukurydziana) podczas kontrolowanego przechowywania na intensywność i profil emitowanych związków lotnych, oznaczonych za pomocą technik chromatograficznych i enosowych. Jest to kontynuacja i konsekwencja osiągnięcia habilitacyjnego.

**Uzyskane stypendia i odbyte staże naukowe:**

1. Staż w Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu w ramach konsorcjum naukowego Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu przy realizacji projektu PBS2/A8/22/2013 pt. "Urządzenie do monitorowania stanu mikrobiologicznego nasion na podstawie elektronicznej analizy substancji lotnych", okres trwania projektu 01.12.2013-31.11.2016 (łącznie 2 miesiące) (Zał. 3.5b.1).
2. Staż w Instytucie Fizyczno-Mechanicznym im. G. Karpenki Narodowej Akademii Nauk Ukrainy w projekcie „Badania zmian dynamiki rozkładu przestrzennego biospeckli owoców”, w ramach umowy o współpracy naukowej między PAN i NAN Ukrainy, 24-28.V.2010 (1 tydzień) (Zał. 3.5a.5).
3. Staż w Biopolymers Interactions Assemblies, Instytut National de la Recherche Agronomique (BIA INRA) – Nantes, Francja w ramach Stypendium Rządu Francuskiego „Stypendium naukowo-badawcze”, „Stypendia dla studentów i absolwentów szkół wyższych” oraz w ramach Stypendium URBIA Centrum Badawczego Nantes, 17.09.2007 – 16.11.2007 (2 miesiące) (Zał. 3.5a.2, Zał. 3.5a.3).
4. Stypendium w projekcie: „Stypendia naukowe dla doktorantów” 01.01.2009-31.07.2009, (Priorytet VIII Regionalne kadry gospodarki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji), współfinansowanym z Europejskiego Funduszu Społecznego, budżetu państwa i budżetu Samorządu Województwa Lubelskiego (Zał. 3.5a.4).
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

**Działalność dydaktyczna**

- W roku akademickim 2019/2020 na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie prowadziłem zajęcia z przedmiotu Matematyka i statystyka opisowa (216 godzin).
- W roku akademickim 2020/2021 na Uniwersytecie Rolniczym im. Hugona Kołłątaja w Krakowie prowadzę zajęcia:  
na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki z przedmiotów:
  - Matematyka i statystyka opisowa (240 godzin),
  - Automatyka (87 godzin),

na Wydziale Technologii Żywności z przedmiotu:

- Podstawy elektroniki i automatyki (85 godzin).

- Sprawowałem także opiekę nad 2. stażystami.

#### **Działalność organizacyjna**

- Biorę udział w pracy kolegów redakcyjnych:
  - Scientific and Technical Committee & Editorial Review Board on Agricultural and Biosystems Engineering. PO Box, Riverside, Conneticut, CT 06878, USA (Zał. 3.5b.21).
  - IRC Scientific and Technical Committee & Editorial Review Board on Energy and Power Engineering. PO Box, Riverside, Conneticut, CT 06878, USA (Zał. 3.5b.22)
- **Byłem Członkiem Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowej Konferencji Naukowej**, Global Summit Nutrition & Public Health, 18-19 Listopada 2019 w Kuala Lumpur w Malezji (Zał. 3.5b.20).
- **Byłem Członkiem Międzynarodowego Komitetu Naukowego zagranicznych konferencji naukowych**: International Conference on Biopolymer-Based Coatings and Packaging Structures for Food Quality, January 23-24, 2020 in **Paris, France**; International Conference on Biofabrication Science, Engineering and Technology, October 21-22, 2020 in **Athens, Greece**; International Conference on Food Security and Insecurity, 23-24 II 2019 r., **Paris, France**; International Conference on Agrotechnological Applications, 24–25 IX 2019 r., **Vancouver, Canada**; International Conference on Postharvest Engineering and Food Engineering, 25-26.I.2018, **Paris, France**; International Conference on Agricultural Technologies, 3 – 4.IX.2018, **Prague, Czechia**; International Conference on Food Engineering and Bioprocess Technology, 12-13.XI.2018, **Tokyo, Japan**; International Conference on Next-Generation Technologies and Approaches for Food Safety 13-14.XII.2018, **London, United Kingdom**; International Conference on Agricultural Engineering, Food and Beverage Chemistry, 30-31.III.2017, **Osaka, Japan**; International Conference on Postharvest Engineering and Food Engineering, 17 – 18.VII.2017, **Roma, Italy**; International Conference on Agrotechnology and Biotechnology, 28-29.VIII.2017, **Paris, France**; International Conference on Food Engineering and Bioprocess Technology, 28-29.IX.2017, **San Francisco, USA** (Zał. 3.5b.22).

**Działalność popularyzująca naukę**

- W 2019 roku brałem udział w 18. Pikniku Naukowym Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik w Warszawie.
- Dnia 19.11.2019 roku brałem udział w Polsko-Francuskim Forum Nauki i Innowacji organizowanym przez Attache ds. nauki i współpracy uniwersyteckiej ambasady Francji (Zał. 3.5b.19).
- W dniu 02.04.2019 o godzinie 19.45 w TVP Lublin w programie "Login: NAUKA" odbyła się emisja wywiadu, jakiego udzieliłem o elektronicznym nosie opracowanym w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie i o różnych jego zastosowaniach. Powtórka tego programu została wyemitowana 04.04.2019 r. o godz. 12.30.
- Brałem udział, jako wystawca w 20. i 21. Międzynarodowych Targach Analityki i Technik Pomiarowych EuroLab i CrimeLab. 14-16 marca 2018 i 13-15 marca 2019, Warszawa, E-nos (techniczna kopia biologicznego aparatu węchowego).
- W czerwcu 2018 roku przygotowałem seminarium w ramach zajęć z doradztwa zawodowego dla uczniów Szkoły Podstawowej nr 52 w Lublinie.
- Zostałem zaproszony do wygłoszenia wykładu w ramach cyklicznego spotkania: Galeria postaci w Galerii Malarstwa na Zamku w Lublinie, 17.12.2017: Elektroniczny nos w analizie substancji lotnych (VOCs) produktów spożywczych (Zał. 3.5b.3).
- Brałem udział w IV OGÓLNOPOLSKIEJ KONFERENCJI NAUKOWEJ „INNOWACJE W PRAKTYCE” oraz VI WYSTAWIE INNOWACYJNYCH ROZWIĄZAŃ urzędzeń badawczo-pomiarowych i nowych technologii, 23-24 listopada 2017 r. Arena Lublin, Elektroniczny nos w analizie substancji lotnych (VOCs)”, prezentacja-pokaz (Zał. 3.6.1).
- W dniu 08.11.2016 w programie TVP Lublin "Login: NAUKA" odbyła się emisja wywiadu, którego udzieliłem o elektronicznym nosie opracowanym w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie.
- W maju 2010 roku wygłosiłem wykład dla uczniów szkoły podstawowej pt. „Badania struktury warzyw i owoców”.
- W periodyku FORUM AKADEMICKIE nr 9/2008 – Wydrukowano wykonane przeze mnie zdjęcia mikrostruktury owoców i warzyw.

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

Należę do międzynarodowych i krajowych organizacji i towarzystw naukowych:

- World Academy of Science, Engineering and Technology (od 2015 roku) (Zał. 3.7.1);
- European Biophysical Societies' Association (od 2016 roku);
- Polskiego Towarzystwa Biofizycznego (od 2016 roku);
- Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego (od 2001 roku);
- Polskiego Towarzystwa Stereologicznego (od 2001 roku).

**Wykonywałem badania zleczone i współpracowałem naukowo z biznesem:**

- Wykonanie badań oraz opracowanie raportu z badań aromatu pięciu gatunków kaw palonych w dwóch różnych piecach o innowacyjnym rozwiązaniu konserwacji aromatu i smaku po paleniu po sześciu miesiącach przechowywania w atmosferze azotu i bez azotu. Ekspertyza dla firmy Coffee and Sons z Biłgoraja. 2020.
- Wykonanie analizy pierwiastków i substancji ropopochodnych w próbkach pszczelich, miodzie, pierzdze, glebie, wodzie oraz w piórach. Badania na zlecenie Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Plac Marii Curie-Skłodowskiej 5; 20-031 Lublin. W ramach przeprowadzonych badań powstał raport. 2020.
- Deutscher Technologiedienst GmbH. Niemiecka firma zajmująca się transferem technologii z nauki do przemysłu nawiązała współpracę w celu implementacji technik enosowych do urządzeń przemysłowych. Po podpisaniu umowy o poufności wykonano badania pilotażowe. 2020.
- We współpracy z Urzędem Celno-Skarbowym w Białej Podlasce podjęto próbę zastosowanie analizy substancji lotnych za pomocą Agronosa do detekcji kontrabandy na przejściu granicznym w Dorohusku. Z badań powstał raport. 2019.
- Badanie oraz opracowanie raportu z badań aromatu sześciu gatunków kaw palonych w dwóch różnych piecach o innowacyjnym rozwiązaniu konserwacji aromatu i smaku po paleniu. Na zlecenie firmy Coffee and Sons z Biłgoraja. 2019.
- Opracowanie metod porównawczych i jakościowych oceny składu gazów uwalnianych z budynków hodowlanych. Badania na zlecenie Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. W ramach badań powstał raport. 2019.

- Wykonanie badań powietrza dla trzech pomieszczeń znajdujących się na parterze budynku w siedzibie Oddziału PAN w Lublinie, w Pałacu Czartoryskich, przy Placu Litewskim 2 w Lublinie, zleceniodawca- PAN Oddział Lublin. 2017.

**Systematycznie podnoszę swoje kwalifikacje uczestnicząc w studiach podyplomowych oraz specjalistycznych kursach i szkoleniach.**

**Studia podyplomowe:**

- 2012-2013 „Menedżer Badań Naukowych i Prac Rozwojowych”. „KOMPETENCJE DLA WSPÓŁPRACY NAUKI I BIZNESU”. Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie oraz Polska Fundacja Ośrodków Wspomagania Rozwoju Gospodarczego „OIC Poland” (Zał. 3.7.2; Zał. 3.7.2a).
- 2010-2011 „Menedżer projektów badawczych”. "Menedżerskie studia podyplomowe dla sektora B+R". Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie oraz Polska Fundacja Ośrodków Wspomagania Rozwoju Gospodarczego „OIC Poland” (Zał. 3.7.3).
- 2008-2010 „Public relations w badaniach naukowych- pilotażowe studia podyplomowe dla pracowników jednostek naukowych” Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie oraz Polska Fundacja Ośrodków Wspomagania Rozwoju Gospodarczego „OIC Poland” (Zał. 3.7.4).
- 2008-2009 "Zarządzanie badaniami i pracami rozwojowymi w jednostkach naukowych" Wydział Filozofii, Katolicki Uniwersytet Lubelski oraz Lubelska Szkoła Biznesu LBS (Zał. 3.7.5).

**Specjalistyczne kursy i szkolenia:**

- „Zaawansowane metody spektrofotometryczne i spektroskopowe: biochemia, farmacja, medycyna, źródła energii, środowisko i inżynieria materiałowa”, IV EDYCJA AKADEMII CHEMII ANALIYCZNEJ, 2020 (Zał. 3.7.6).
- „Chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas we współczesnej chemii analitycznej”, III EDYCJA AKADEMII CHEMII ANALIYCZNEJ, 2019 (Zał. 3.7.7).
- Analiza Związków Zapachowych i Lotnych Żywności, 18-20.09.2017, Poznań (Zał. 3.7.8).
- Analizy chemometryczne w STATISTICA 2017 (Zał. 3.7.9).

- Szkolenie pt. „OCHRONA WŁASNOŚCI INTELEKTUALNEJ Z ZAKRESU ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII”, 26-29 września 2011, Szklarska Poręba (Zał. 3.7.10).
- Szkolenie „SPIN OFF SPIN OUT NA START”, POKL.08.02.01-06-023/09, KTI Consulting w Lublinie, 11.2009-01.2010, w ramach którego odbyto kursy statystyczne (Zał. 3.7.11):
  - Kurs podstawowy STATISTICA (Zał. 3.7.12),
  - Modelowanie współzależności zjawisk w STATISTICA (Zał. 3.7.13).
- III etapowe szkolenie z zakresu Analizy Sensorycznej. Etap I „Weryfikacja wrażliwości sensorycznej”, 22-25.04.2008. Etap II „ Szkolenie z zakresu QDA (ilościowa analiza opisowa)”, 13-14.05.2008. Etap III „Szkolenie ekspertów (liderów) z zakresu analizy sensorycznej”, 26-27.05.2008 (Zał. 3.7.14, Zał. 3.7.15).
- Szkolenie pt. “Zaawansowane systemy wizyjne”, Warszawa 29.11.2007.
- Kurs języka angielskiego na poziomie B1 Europejskiego Systemu Opisu Kształcenia Językowego (ESOKJ) z wynikiem bardzo dobrym, 2007 (Zał. 3.7.16).
- Warsztaty naukowe pt.: "Mikroskopowe metody w analizie jakości żywności i bioróżnorodności zwierząt", Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN, Olsztyn 7 – 9 grudnia 2006 (Zał. 3.7.17).
- Praktyka Radiografii Neutronowej i Gamma w Środowiskowym Laboratorium Neutronografii przy Instytucie Energii Atomowej w Świerku, 4.09.2001 2001.

Tabelaryczne zestawienie dorobku naukowego.

	Liczba	Punktacja MEN (MNiSW) zgodnie z rokiem wydania	IF zgodny z rokiem wydania	IF <sub>5-year</sub>
<b>Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego</b>				
International Agrophysics	1	25	1,242	1,267
Measurement	1	30	2,218	2,312
Journal of Food Science	2	70	2,479	2,694
		70	2,479	2,694
International Journal of Food Science & Technology	1	70	2,773	1,818
LWT - Food Science and Technology	1	100	4,006	4,385
Sensors	2	100	3,275	3,302
		100	3,275	3,302
<b>Suma</b>	<b>8</b>	<b>565</b>	<b>21,747</b>	<b>21,774</b>



<b>Publikacje wydane przed doktorem</b>				
International Agrophysics	3	6 9 9	0 0,580 0,580	1,267 1,267 1,267
Acta Agrophysica	3	4 4 4	0	0
Research in Agriculture Engineering	1	9	0	0,352
Electronic Journal of Polish Agricultural Universities	1	6	0	0
Scientia Agriculturae Bohemica	1	6	0	0,212
Acta Scientiarum Polonorum	1	4	0	0
Rozdział w monografii w języku angielskim	2	15 15	0 0	0 0
<b>Suma</b>	<b>12</b>	<b>91</b>	<b>1,116</b>	<b>4,365</b>
<b>Publikacje wydane po doktoracie, które nie wchodzą w skład osiągnięcia habilitacyjnego</b>				
International Agrophysics	1	25	1,117	1,267
Molecules	1	100	3,267	3,589
Materials	1	140	3,057	3,424
Journal Of Stored Products Research	1	100	2,123	2,425
Postharvest Biology and Technology	2	40 40	3,248 3,927	3,909 3,909
PLoS One	1	40	2,766	3,350
Powder Technology	1	35	3,230	3,331
European Journal of Wood and Wood Products	1	140	1,542	1,771
<b>Suma</b>	<b>9</b>	<b>660</b>	<b>24,277</b>	<b>26,975</b>
<b>Patenty</b>	<b>2</b>	<b>150</b>	-	-
<b>Wzór użytkowy</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	-	-
<b>Razem</b>	<b>32</b>	<b>1476</b>	<b>47,140</b>	<b>53,114</b>

*Gancarz Marek*  
 .....  
 (podpis wnioskodawcy)

