

# **AUTOREFERAT**

## **Opis dorobku i osiągnięć naukowych**

**dr inż. Katarzyna Pentos**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Przyrodniczo-Technologiczny  
Instytut Inżynierii Rolniczej

Wrocław, 2018

**1. Imię i nazwisko:** Katarzyna Pentoś

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

**Magister inżynier**

Uzyskanie tytułu magistra inżyniera w zakresie elektroniki o specjalności Elektroniczne i komputerowe systemy automatyki. Praca magisterska pt. „Badanie symulacyjne dynamiki układów z wybranymi modelami matematycznymi obiektów z regulatorem Smitha” wykonana na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, Promotor: Dr Antoni Izworski. Studia ukończone z wyróżnieniem. Obrona 2000 r.

**Doktor inżynier**

Uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Automatyka i Robotyka, nadanego przez Radę Instytutu Informatyki, Automatyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej. Tytuł rozprawy doktorskiej: „Modelowanie procesów krystalizacji za pomocą sieci neuronowych” Promotor: dr hab. inż. Janusz Halawa, recenzenci: prof. dr hab. inż. Ewaryst Rafajłowicz i prof. dr hab. inż. Ryszard Rojek. Obrona 2009 r.

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

Od 1.12.2012 do 30.09.2014 asystent w Instytucie Inżynierii Rolniczej, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

Od 1.10.2014 do chwili obecnej adiunkt w Instytucie Inżynierii Rolniczej, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

Przed podjęciem pracy W Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu, w latach 2000 - 2012 byłam zatrudniona na stanowisku administracyjnym na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej – ostatnie stanowisko: główny informatyk.

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):**

**4.1. tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego**

**CECHY ELEKTRYCZNE MIODU I ICH WYKORZYSTANIE W OCENIE JAKOŚCI PRODUKTU**

Osiągnięcie dokumentuje cykl 6 publikacji powiązanych tematycznie, wydanych po uzyskaniu przez wnioskodawcę stopnia naukowego doktora.

**4.2. (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy)**

**A) Katarzyna Pentoś, Deta Łuczycka, Radosław Wróbel, The identification of the relationship between chemical and electrical parameters of honeys using artificial neural networks, 2014,**

Computers in Biology and Medicine, **20 punktów MNiSW, IF = 1,24**. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

**B) Katarzyna Pentoś**, Deta Łuczycka, Tomasz Kapłon, The identification of relationships between selected honey parameters by extracting the contribution of independent variables in a neural network model, 2015, European Food Research and Technology, **25 punktów MNiSW, IF = 1,43**. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

**C) Deta Łuczycka, Katarzyna Pentoś**, Tobiasz Wysoczański, The influence of crystallization and temperature on electrical parameters of honey, 2016, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, **13 punktów MNiSW**. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

**D) Katarzyna Pentoś**, 2016, The methods of extracting the contribution of variables in artificial neural network models – Comparison of inherent instability, Computers and Electronics in Agriculture *127, 141–146*, **35 punktów MNiSW, IF = 2,20**.

**E) Katarzyna Pentoś**, Deta Łuczycka, Dielectric properties of honey – the potential usability for quality assessment, 2018, European Food Research and Technology, **25 punktów MNiSW, IF = 1,92**. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

**F) Deta Łuczycka, Katarzyna Pentoś**, The use of dielectric honey features for overheating diagnostics, 2018, Acta Alimentaria, **15 punktów MNiSW, IF = 0,38**. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

#### **ŁĄCZNIE (OSIĄGNIĘCIE):**

- Impact factor **7,17<sup>a</sup>**

- Punkty MNiSW **133<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> IF w roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2018 podano ostatni dostępny IF - 2017

<sup>b</sup> Punktacja MNiSW określona według roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2018 przyjęto aktualną punktację z listy z dnia 31 grudnia 2016

### **4.3 omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

#### **4.3.1. Wprowadzenie**

Cechy elektryczne materiałów takie jak impedancja, przenikalność elektryczna i współczynnik strat dielektrycznych opisują zachowanie materiału w polu elektrycznym. Zachowanie to zależy od budowy cząsteczkowej, a więc jest unikatowe dla każdego materiału. Budowa cząsteczkowa determinuje właściwości fizyczne i chemiczne materiału, tak więc istnieje związek między cechami elektrycznymi danego materiału, a jego parametrami fizycznymi i chemicznymi. Jeśli weźmiemy pod uwagę fakt, że parametry fizyczne i chemiczne materiału determinują jego jakość, można spodziewać się, że cechy elektryczne będą bezpośrednio powiązane z jakością materiału. Wymienione wyżej parametry elektryczne zależą od częstotliwości pola elektromagnetycznego. W przypadku materiałów pochodzenia biologicznego, elektryczne parametry zmiennoprądowe mierzy się dla częstotliwości poniżej 20 GHz. Jest to związane ze szczególnym wpływem wody na zachowanie się tych materiałów

w polu elektrycznym, a częstotliwość relaksacji wody w temperaturze pokojowej wynosi ok. 17 GHz (Skierucha i in. 2017).

Miód jest naturalną słodką substancją produkowaną przez pszczoły miodne (*Apis mellifera*) z nektaru kwiatów lub spadzi. Miód zawiera ponad 180 składników, głównie cukrów. Fruktaza i glukoza to cukry występujące w miodzie w największej ilości. Poza cukrami miód zawiera także składniki mineralne, witaminy, białka, wolne aminokwasy, enzymy i wiele innych substancji (Guo i in. 2011, Terrab i in. 2003a, b). Skład chemiczny miodu zależy od wielu czynników, m.in. gatunku pszczół, pochodzenia botanicznego i geograficznego, warunków klimatycznych w czasie produkcji (Kaskoniene i Venskutonis 2010). Od składu chemicznego miodu zależy szybkość krystalizacji produktu, a stopień krystalizacji w sposób znaczący wpływa na parametry fizyczne miodu, np. cechy reologiczne (Bakier, 2009). Dlatego też można oczekiwać wpływu krystalizacji na cechy elektryczne produktu. Krystalizacja jest naturalnym procesem zachodzącym w miodzie. Głównym cukrem, który krystalizuje w miodzie jest glukoza (tworząc monohydrat glukozy). Fruktaza, jako łatwiej rozpuszczalny cukier, podlega krystalizacji później niż glukoza (Assil i in. 1991, Gleiter i in. 2006). Na przebieg procesu krystalizacji wpływają czynniki takie jak gatunek miodu, jego pochodzenie geograficzne, temperatura i zawartość wody w produkcie (Mar Cavia i in. 2009). Duże znaczenie ma także zawartość cukrów. Stosunek zawartości fruktozy do zawartości glukozy wpływa na czas potrzebny, aby miód uległ krystalizacji (Gleiter i in. 2006). Jeśli ten stosunek przekracza 1,33 to miód pozostaje w postaci płynnej przez długi czas. Natomiast jeśli ten stosunek jest niższy niż 1,11, krystalizacja następuje bardzo szybko (Smanalieva i Senge 2009). Zawartość glukozy większa niż 280 - 300 g·kg<sup>-1</sup> (Bogdanov 1993) lub stosunek zawartości glukozy do zawartości wody w miodzie wyższy niż 2,1 przyspieszają proces krystalizacji (White 1994). W przypadku większości miodów dostępnych na rynku w wyniku krystalizacji dochodzi do rozwarstwiania się masy i sedymentacji. Krystalizacja miodu często jest postrzegana przez konsumentów jako zjawisko niekorzystne. W czasie przygotowywania miodu do sprzedaży, jest on najczęściej poddawany obróbce termicznej w dwóch etapach. W pierwszym etapie jest podgrzewany do temperatury około 55°C w celu upłynnienia i oczyszczenia. Etap drugi to pasteryzacja w temperaturze około 80°C, w której całkowicie rozpuszczają się kryształy cukru i następuje eliminacja mikroorganizmów powodujących psucie się produktu (Subramanian i in. 2007, Escriche i in. 2014, Fauzi i in. 2014). Należy jednak wziąć pod uwagę, że podgrzewanie miodu do tak wysokiej temperatury powoduje znaczne zredukowanie jego właściwości biologicznych.

Kontrola jakości miodu trafiającego do konsumentów jest niezwykle istotna. Miód posiada wiele właściwości prozdrowotnych i często jest stosowany jako produkt wspomagający terapię przy różnego rodzaju schorzeniach. Dlatego też zachowanie jego pełnych właściwości biologicznych w procesie produkcji i konfekcjonowania ma tak duże znaczenie. Miód musi być przechowywany i poddawany obróbce w odpowiednich warunkach. Nie można też dodawać do niego żadnych dodatkowych substancji, również dodatków do żywności. Niestety, miód jest bardzo często fałszowany lub przetwarzany w nieodpowiedni sposób. Najczęstsze niedozwolone działania pszczelarzy lub firm przetwórczych polegają na dodawaniu do miodu wody lub tanich substancji słodzących (np. syropu glukozowo-fruktozowego), na karmieniu pszczół cukrem, syropem lub sztucznym miodem, a także na przegrzewaniu miodu w celu jego szybszego upłynnienia. Używane obecnie metody oceny jakości miodu są oparte głównie na pomiarach wybranych parametrów chemicznych. W międzynarodowym standardzie Codex Alimentarius (Codex Alimentarius 2001) wyróżniono kilkanaście parametrów oceny jakości

miodu takich jak zawartość wody, aktywność wody, zawartość składników mineralnych, pH, zawartość inwertazy, zawartość HMF (5-hydroksymetylofurfural), liczba diastazowa i przewodność elektryczna. Zawartość HMF i liczba diastazowa mogą być wykorzystywane jako wskaźniki świeżości miodu i jego przegrzania (Manzanares i in. 2014, Morales i in. 2009). HMF wpływa także na zmianę koloru miodu na ciemny. Uznaje się, że miody ciemniejsze mają lepsze właściwości prozdrowotne (Can i in. 2015). Zawartość wody jest parametrem istotnym z punktu widzenia szybkości fermentacji miodu, a przez to decyduje o czasie jego przydatności do spożycia. Miody o wysokiej zawartości wody szybciej fermentują, psują się i tracą charakterystyczny smak. Aktywność wody reguluje wzrost drobnoustrojów (Rodríguez i in. 2012, Tornuka i in. 2013), a pH może być wskaźnikiem możliwego skażenia mikrobiologicznego produktu (Terrab i in. 2004).

Metody oceny jakości miodu oparte na pomiarach parametrów chemicznych są kosztowne, czasochłonne i wymagają specjalistycznego sprzętu. Dlatego nie są szeroko dostępne. W literaturze przedmiotu pojawiają się próby wykorzystania parametrów elektrycznych takich jak przewodność, impedancja, przenikalność elektryczna czy współczynnik strat dielektrycznych do oceny jakości miodu lub jego pochodzenia biologicznego i geograficznego. Cechy elektryczne wykorzystywane są samodzielnie lub w połączeniu z cechami fizykochemicznymi (Paszkowski i in. 2014, Juan-Borras i in. 2014). Metody oceny jakości miodu oparte na pomiarach parametrów elektrycznych mogą być cenną alternatywą dla metod wykorzystywanych obecnie. Wysoki stopień korelacji między parametrami elektrycznymi i fizykochemicznymi miodu został wykazany m.in. przez Scandurrę i współautorów (2013). Jednakże część interesujących i użytecznych w praktyce zależności między parametrami elektrycznymi i fizykochemicznymi miodu może mieć charakter silnie nieliniowy i dlatego nie da się ich wykryć i przeanalizować stosując proste metody statystyczne. Stąd potrzeba wykorzystania bardziej zaawansowanego warsztatu badawczego w analizie tych zależności. Szczególnie pomocne mogą być w tym przypadku metody uczenia maszynowego, do których należą sztuczne sieci neuronowe (SSN). A tylko szczegółowe poznanie powiązań między parametrami fizykochemicznymi i elektrycznymi miodu może stanowić podstawę do opracowania urządzenia do szybkiej oceny jakości tego produktu w oparciu o wybrane parametry elektryczne.

#### **4.3.2. Cel badań i krótki opis osiągnięcia naukowego**

Cele badań przedstawionych jako osiągnięcie naukowe można sformułować następująco:

1. analiza wybranych cech elektrycznych miodów w zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego od 10 Hz do 1 MHz,
2. ocena związku tych cech z wybranymi parametrami fizykochemicznymi miodu,
3. analiza możliwości wykorzystania cech elektrycznych miodu w ocenie jego jakości.

Aby osiągnąć przedstawione wyżej cele:

- badaniom poddano kilkadziesiąt próbek miodu różnego pochodzenia botanicznego i geograficznego (głównie miody z terenu Polski),
- dla miodów tych dokonano pomiaru impedancji zespolonej,

- na podstawie wartości impedancji zespolonej oraz parametrów geometrycznych układu elektrod pomiarowych obliczono wartości przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych,
- przeanalizowano zależność impedancji, przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości i ustalono te zakresy częstotliwości, w których możliwe jest wykorzystanie danego parametru elektrycznego do różnicowania miodu ze względu na jego wybrane cechy, np. gatunek,
- przeanalizowano wpływ temperatury, w której prowadzony jest pomiar cech elektrycznych, wcześniejszego przegrzania i krystalizacji miodu na wyniki pomiarów cech elektrycznych,
- wskazano potencjalne możliwości wykorzystania cech elektrycznych miodu w ocenie jego jakości.

W powyższych badaniach, poza metodami statystycznymi, wykorzystano sztuczne sieci neuronowe, co pozwoliło zidentyfikować i szczegółowo przeanalizować również wielowymiarowe i silnie nieliniowe zależności między badanymi parametrami miodu. Uzyskana w ten sposób wiedza zostanie wykorzystana do opracowania urządzenia do szybkiej oceny jakości miodu na podstawie jego parametrów elektrycznych.

#### **4.3.3. Omówienie rezultatów badań przedstawionych w publikacjach wskazanych jako osiągnięcie naukowe**

Rozpoczynając pracę naukową w Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu, dołączyłam do zespołu badawczego zajmującego się cechami elektrycznymi materiałów pochodzenia biologicznego, głównie miodu, kierowanego przez dr hab. Detę Łuczycką, prof. UPWr. W ramach wcześniejszych prac zespołu, opracowana została metodyka pomiarów cech elektrycznych miodu (kształt i wymiary celek pomiarowych, sposób obliczania przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych przy pomiarze impedancji analizatorem ATLAS 0441 HIA). Dlatego też, moje zainteresowania badawcze skupiły się głównie na analizie zależności między parametrami chemicznymi i elektrycznymi miodu. Początkowe badania miały na celu ustalenie czy istnieją powiązania (również nieliniowe) między cechami chemicznymi takimi jak **zawartość tlenu, azotu, popiołu, białka, oraz zawartość cukrów: fruktozy, sacharozy, maltozy, maltotriozy i oligosacharydów a cechami elektrycznymi miodu, oraz jak te powiązania zmieniają się w zależności od częstotliwości pola elektromagnetycznego** (publikacja A).

Miód jest charakteryzowany przez jego skład chemiczny, co można wykorzystać np. przy klasyfikacji miodów odmianowych (Mateo i in., 1997, Bogdanov i in., 2004). Silna korelacja między składem chemicznym a parametrami elektrycznymi miodu została udowodniona m.in. w pracy Scandurri i in. (2013). Korelacja taka znalazła swoje zastosowanie praktyczne, np. w pracy Devillersa i in. (2004), którzy w 100% poprawnie określali gatunek miodu na podstawie przewodności elektrycznej, pH, zawartości wolnych kwasów i cukrów. Interesujące wyniki otrzymano także dla polskich miodów (Popek, 2002).

Na tym etapie badań analizie poddano zależności między wybranymi parametrami chemicznymi miodów (zawartość tlenu, azotu, popiołu, białka, fruktozy, sacharozy, maltozy, maltotriozy i oligosacharydów) a współczynnikiem strat dielektrycznych i przenikalnością elektryczną. Aby ustalić czy takie zależności istnieją, a jeśli tak, to w jakim zakresie częstotliwości, wygenerowano odpowiednie modele matematyczne opisujące zależności

między wybranymi cechami chemicznymi miodu a jego parametrami elektrycznymi mierzonymi w różnych częstotliwościach. W badaniach wykorzystano 50 próbek miodu zebranych w 2011 roku, dbając o ich różnorodność w zakresie gatunku i pochodzenia geograficznego. W grupie badanych próbek znajdowało się 39 miodów nektarowych (akacjowe - *Robinia L.*, rzepakowe - *Brassica napus L.*, faceliowe - *Phacelia Juss.*, nawłociowy - *Solidago L.*, gryczane - *Fagopyrum esculentum*, wrzosowe - *Calluna vulgaris (L.) Hull*, wierzbowe - *Salix L.* i wielokwiatowe), 4 próbki miodów nektarowo-spadziowych oraz 7 próbek miodów spadziowych (zarówno ze spadzi drzew liściastych, jak i iglastych). Weryfikacji gatunku miodu dokonano na podstawie analizy pyłkowej przeprowadzonej zgodnie z Polską Normą PN-88/A-77626:1998. Dodatkowo, klasyfikacja próbki do grupy miodów nektarowo-spadziowych lub spadziowych była dokonywana na podstawie wartości konduktancji 20% roztworu wodnego miodu. Dla każdej próbki wykonano pomiar wymienionych wyżej parametrów chemicznych. Następnie zmierzono impedancję zespoloną miodów za pomocą analizatora impedancji ATLAS 0441 HIA z cylindrycznym układem miedzianych elektrod zainstalowanym w komorze klimatycznej WEISS WK 111 340. Na podstawie wartości impedancji oraz wymiarów geometrycznych elektrod obliczono wartości przenikalności elektrycznej ( $\epsilon'$ ) oraz współczynnika strat dielektrycznych ( $tg\delta$ ). Pomiarów wykonano w zakresie częstotliwości od 500 Hz do 10 kHz. Na podstawie współczynników korelacji liniowej między zmiennymi objaśniającymi (parametrami chemicznymi), z zestawu tych zmiennych wykluczono dwie: zawartość azotu i maltotriozę. Stąd na dalszym etapie prac analizowano zależności między siedmioma zmiennymi objaśniającymi (zawartość tlenu, białka, fruktozy, sacharozy, maltozy, popiołu i oligosacharydów) a dwiema zmiennymi objaśnianymi (współczynnik strat dielektrycznych i przenikalność elektryczna). Aby zidentyfikować również ewentualne zależności silnie nieliniowe, które nie mogą być wykryte na podstawie analizy współczynników korelacji, do modelowania badanych zależności wykorzystano sztuczne sieci neuronowe. Dla każdego z parametrów elektrycznych wygenerowano dziesięć niezależnych modeli sieciowych, zależnie od częstotliwości w jakiej prowadzono pomiar: 0,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 i 10 kHz. Jakość modeli sieciowych oceniano na podstawie współczynnika korelacji liniowej między wartością danego parametru elektrycznego uzyskaną z pomiarów i obliczoną przez sieć neuronową (dla zbioru testowego). Uzyskano modele, dla których współczynnik korelacji wynosił od 0,879 do 0,999. Tak wysoka zgodność wartości oczekiwanych i uzyskanych z modeli sieciowych świadczy o tym, że istnieją zależności między parametrami chemicznymi i elektrycznymi miodu, a uzyskane modele tych zależności mogą mieć zastosowanie praktyczne.

Aby uzyskać więcej informacji o naturze badanych zależności, modele sieciowe zostały poddane analizie wrażliwości, co pozwoliło na ustalenie procentowego wpływu poszczególnych parametrów chemicznych na cechy elektryczne. Uzyskane wyniki wskazują, że wpływ zawartości białka na współczynnik strat dielektrycznych jest w zakresie 2,5–14% i nie zależy w sposób istotny od częstotliwości. Dla częstotliwości 2 i 3 kHz wpływ zawartości tlenu na współczynnik strat dielektrycznych wynosi 14% i 11%, dla pozostałych częstotliwości nie przekracza 8%, a dla częstotliwości granicznych (500 Hz i 10 kHz) nie jest statystycznie istotny. Wpływ zawartości popiołu na współczynnik strat dielektrycznych jest większy dla częstotliwości poniżej 4 kHz i przekracza 10%, a dla wyższych częstotliwości wynosi 5-8%. W zakresie częstotliwości od 2 do 10 kHz, wpływ zawartości maltozy na współczynnik strat dielektrycznych jest znacząco wyższy niż pozostałych zmiennych objaśniających. Dla częstotliwości 500 Hz, wpływ zawartości wszystkich badanych cukrów na współczynnik strat dielektrycznych jest podobny i wynosi około 17%. Wpływ zawartości fruktozy, sacharozy i oligosacharydów na współczynnik strat dielektrycznych nie zależy w sposób wyraźny od częstotliwości. W przypadku przenikalności elektrycznej, dla częstotliwości 3 – 8 kHz, wpływ wszystkich analizowanych parametrów chemicznych jest podobny i wynosi około 15%. Dla

częstotliwości poniżej 3 kHz wpływ zawartości tlenu rośnie, a dla częstotliwości powyżej 8 kHz jest on statystycznie nieistotny. Dla niższych częstotliwości, zawartość fruktozy i maltozy znacznie bardziej wpływa na przenikalność elektryczną niż zawartość pozostałych cukrów. Dla częstotliwości 9 – 10 kHz wpływ fruktozy jest statystycznie nieistotny.

Przedstawione powyżej wyniki prowadzą do wniosku, że wpływ poszczególnych parametrów chemicznych na cechy elektryczne miodu silnie zależy od częstotliwości. Dlatego potencjalna przydatność parametrów elektrycznych do oceny jakości miodu również zależy od częstotliwości (co zostało pokazane także w publikacjach **B** i **E**). Uzyskane wyniki przede wszystkim pokazały, że istnieją interesujące zależności między parametrami chemicznymi i elektrycznymi miodu, oraz że można je efektywnie analizować za pomocą sieci neuronowych. To utwierdziło mnie w przekonaniu, że warto kontynuować rozpoczęte badania, skupiając się na analizie takich zależności, które dawałyby podstawy do oceny możliwości zastosowania cech elektrycznych w ocenie szeroko rozumianej jakości miodu. Efektem dalszych prac jest ocena **możliwości wykorzystania impedancji, przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych w ocenie jakości miodu** (publikacje **B** i **E**).

Badania przedstawione w ramach publikacji **B** i **E** stanowią naturalną kontynuację badań opisanych w publikacji **A**. Jednakże w tym przypadku pomiary wykonano w znacznie szerszym zakresie częstotliwości (od 10 Hz do 1 MHz), poszerzono grupę badanych parametrów elektrycznych oraz wybrano te parametry fizykochemiczne miodów, które standardowo wykorzystuje się w ocenie jego jakości. W badaniach wykorzystano 50 próbek miodów opisanych w publikacji **A**. Dla każdej próbki zmierzono następujące parametry chemiczne: stosunek zawartości glukozy do zawartości fruktozy (%), zawartość HMF ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), pH (–), liczbę diastazową (–) i aktywność wody dla patoki (–). Następnie wykonano pomiary impedancji, jak opisano w publikacji **A**, w temperaturach 20, 25, 30, 35 i 40°C. Na podstawie wartości impedancji oraz wymiarów geometrycznych elektrod obliczono wartości przenikalności elektrycznej ( $\epsilon'$ ) oraz współczynnika strat dielektrycznych ( $tg\delta$ ).

W przypadku impedancji dalsze analizy zostały wykonane dla trzech częstotliwości: 260 Hz, 11 kHz i 160 kHz (publikacja **B**). Natomiast w przypadku współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności elektrycznej wybrane zostały dwie częstotliwości: 1,6 kHz i 11 kHz (publikacja **E**). Modele matematyczne badanych zależności zostały wygenerowane z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych typu perceptron wielowarstwowy. Jakość modeli oceniano na podstawie współczynnika korelacji między wartościami obliczonymi za pomocą modelu a wartościami otrzymanymi z pomiarów. Pod uwagę brano zarówno uczący, jak i walidacyjny zbiór danych. Wygenerowano kilkadziesiąt modeli neuronowych. Każdy z nich zawierał sześć sygnałów wejściowych oraz jeden neuron w warstwie wyjściowej obliczający wybrany parametr wyjściowy modelu (część rzeczywistą lub urojoną impedancji, współczynnik strat dielektrycznych lub przenikalność elektryczną mierzone dla określonej częstotliwości). Jako sygnały wejściowe modeli wykorzystano stosunek zawartości glukozy do zawartości fruktozy, zawartość HMF, pH, liczbę diastazową, aktywność wody oraz temperaturę. Po wygenerowaniu modeli neuronowych, przeprowadzono analizę stopnia wpływu poszczególnych parametrów wejściowych modeli na parametry wyjściowe. W tym celu wykorzystano różne metody analizy wrażliwości sieci neuronowych. Wszystkie modele, dla których przeprowadzono tę analizę charakteryzowały się wysokim (przekraczającym 0,9) współczynnikiem korelacji między wartościami eksperymentalnymi, a wartościami wygenerowanymi przez model dla zbioru walidacyjnego. Tak wysoka wartość współczynnika korelacji świadczy o tym, że były to modele o bardzo dobrych właściwościach interpolacyjnych.

W wyniku przeprowadzonych analiz ustalono wysoki wpływ zawartości HMF oraz pH na impedancję dla wszystkich badanych częstotliwości. Zawartość HMF jest parametrem



wykorzystywanym obecnie do oceny świeżości miodu, a pH wskazuje na możliwość zanieczyszczenia mikrobiologicznego. Dlatego też, można stwierdzić, że impedancja może zostać wykorzystana do oceny świeżości miodu i do wykrywania zmian spowodowanych przez niekorzystne działanie mikroorganizmów. W przypadku urojonej części impedancji mierzonej dla częstotliwości 260 Hz, zaobserwowano, że najsilniej wpływa na ten parametr zawartość HMF i pH, ale wpływ stosunku zawartości glukozy do zawartości fruktozy jest tylko nieznacznie niższy. Dodatkowo zaobserwowano, że wpływ aktywności wody, liczby diastazowej i stosunku zawartości glukozy do zawartości fruktozy na część urojoną impedancji wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości. Tradycyjne metody oceny jakości miodu wykorzystują liczbę diastazową jako wskaźnik świeżości miodu oraz jego przegrzania, a aktywność wody wykorzystywana jest do oceny stopnia zanieczyszczenia mikrobiologicznego. Biorąc to pod uwagę, można stwierdzić potencjalną użyteczność części urojonej impedancji w ocenie świeżości miodu i jego czystości mikrobiologicznej. Część urojona impedancji mierzona dla częstotliwości kilkuset kHz może być dodatkowo wykorzystana do wykrywania przegrzewania miodu. Ponieważ temperatura (w badanym zakresie) nie wpływa znacząco na wartość impedancji, parametr ten nie musi być brany pod uwagę podczas planowania pomiarów.

W przypadku przenikalności elektrycznej zanotowano wysoki wpływ (około 30%) temperatury oraz pH na ten parametr elektryczny mierzony zarówno dla częstotliwości 1,6 kHz, jak i 11 kHz. Wpływ pozostałych badanych parametrów był niższy i wynosił około 15%. Tak więc przenikalność elektryczna również może być potencjalnym wskaźnikiem zanieczyszczenia mikrobiologicznego miodu. Jednakże duży wpływ temperatury na wartość tego parametru elektrycznego powoduje, że podczas opracowywania metodyki wykorzystania przenikalności elektrycznej w ocenie jakości miodu, należy brać pod uwagę nie tylko częstotliwość, ale także temperaturę w jakiej prowadzone będą pomiary.

Analizy przeprowadzone dla współczynnika strat dielektrycznych wykazały wysoki wpływ zawartości HMF na ten parametr. Generalnie, dla częstotliwości 1,6 kHz, wpływ stosunku zawartości glukozy do zawartości fruktozy, pH, aktywności wody i liczby diastazowej jest nieco niższy. Natomiast dla częstotliwości 11 kHz, wpływ aktywności wody, pH i liczby diastazowej jest porównywalny i niższy niż wpływ zawartości HMF oraz stosunku zawartości glukozy do zawartości fruktozy. W przypadku obu częstotliwości wpływ temperatury na współczynnik strat dielektrycznych jest niższy niż wpływ pozostałych parametrów. Biorąc pod uwagę możliwości wykorzystania poszczególnych parametrów chemicznych miodu w ocenie jego jakości, można stwierdzić, że współczynnik strat dielektrycznych jest obiecującym parametrem w kontekście oceny świeżości miodu.

Powyższe wyniki badań prowadzą do wniosku, że parametry elektryczne miodu mierzone w niskich częstotliwościach mogą być potencjalnie użyteczne w ocenie jakości produktu. Łatwość pomiaru parametrów elektrycznych sprawia, że wykorzystujące je metody mogą stanowić tańszą, prostszą i szybszą alternatywę dla stosowanych obecnie metod opartych na pomiarze parametrów chemicznych.

Omówione wyżej wyniki badań wskazują, że cechy elektryczne miodu mogą być potencjalnie użyteczne między innymi do wykrywania przegrzania miodu. Jednocześnie jednym z najczęstszych nadużyć w procesie produkcji miodu jest jego podgrzewanie do zbyt wysokiej temperatury. Dlatego postanowiłam poszerzyć badania dotyczące tej problematyki. W efekcie badań przeanalizowano **wpływ przegrzewania miodu na jego cechy elektryczne** (publikacja F).

Obróbka termiczna miodu ma duży wpływ na jego parametry chemiczne. Przegrzanie miodu powoduje niekorzystne zmiany aktywności diastazy, amylazy i inwertazy oraz zawartości HMF. Aby ocenić przydatność cech elektrycznych miodu jako wskaźników jego przegrzania należy przeanalizować wpływ temperatury obróbki cieplnej produktu na te cechy.

Dlatego badaniom poddano wpływ temperatury do jakiej ogrzewano miód na przenikalność elektryczną i współczynnik strat dielektrycznych w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Badaniom poddano dziewięć próbek miodów z grupy opisanej w publikacji A: lipowy (*Tilia* spp.), rzepakowy (*Brassica napus* L.), faceliowy (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), gryczany (*Fagopyrum esculentum* Moench), wrzosowy (*Calluna vulgaris* L.), wierzbowy (*Salix* spp.), wielokwiatowy oraz spadziowy. Próbkę miodu były świeże, przed badaniami nie poddawane żadnej obróbce termicznej i przechowywane w odpowiednich warunkach. Zawartość wody w miodzie wahała się od 14,2% do 17,2%. Parametry chemiczne takie jak zawartość HMF, proliny, liczba diastazowa były zgodne z normami międzynarodowymi. Przed wykonaniem badań próbki były przechowywane w temperaturze 10 – 12°C. W czasie badań próbki były podgrzewane w komorze klimatycznej przez 24 godziny do następujących temperatur: 60, 70, 80 i 90°C. Po tym czasie schładzano je do temperatury 25 - 26°C (w komorze klimatycznej, w której następnie przeprowadzano pomiary). Zarówno podgrzewanie, jak i schładzanie próbek przeprowadzono przy wilgotności powietrza 40%. Pomiar parametrów elektrycznych wykonano zgodnie z opisem w publikacjach A i E, bezpośrednio po schłodzeniu próbek (w czasie krótszym niż jedna godzina).

Wstępna analiza statystyczna wyników (ANOVA) wykazała statystycznie istotny wpływ temperatury obróbki termicznej na współczynnik strat dielektrycznych i brak takiego wpływu na przenikalność elektryczną w całym zakresie częstotliwości. Dlatego po analizie uzyskanych wyników, do dalszych badań wykorzystano cechy elektryczne miodu mierzone w zakresie częstotliwości od 400 Hz do 4 kHz. Rodzaj zależności między obiema badanymi cechami elektrycznymi, a częstotliwością jest podobny bez względu na temperaturę przegrzania miodu. Wartości przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych maleją ze wzrostem temperatury obróbki cieplnej. Większe różnice w wartościach parametrów elektrycznych dla miodów podgrzewanych do różnych temperatur zaobserwowano przy niższych częstotliwościach.

Wyniki analizy wariancji (ANOVA) wykazały statystycznie istotny wpływ częstotliwości, gatunku miodu oraz temperatury obróbki cieplnej na wartości obu parametrów elektrycznych mierzonych w zakresie częstotliwości 400 Hz - 4 kHz. Dalsze analizy statystyczne wykazały, że w przypadku współczynnika strat dielektrycznych istnieje statystycznie istotna różnica między miodem niepoddanym obróbce termicznej a miodem przegrzanym ( $p = 0,000017$ ) oraz między próbkami przegrzowanymi, jeśli różnica temperatur była większa niż 30°C. Wyniki te sugerują, że współczynnik strat dielektrycznych może być przydatnym parametrem do rozróżniania miodu przegrzanego od nieprzegrzanego. Jednak nie można wykorzystać tego parametru do rozróżniania miodów przegrzanych np. do temperatury 60°C od miodów przegrzanych do 80°C. Podobnie jest w przypadku przenikalności elektrycznej. Może ona być wykorzystana do rozróżniania miodów przegrzanych od nieprzegrzanych ( $p \leq 0,000040$ ). Jednakże nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic między miodami podgrzewanymi do różnych temperatur. Analiza efektów interakcji (częstotliwość  $\times$  temperatura obróbki cieplnej oraz gatunek miodu  $\times$  temperatura obróbki cieplnej) wykazała, że współczynnik strat dielektrycznych może być potencjalnie wykorzystany do wykrywania przegrzania miodu w całym zakresie częstotliwości (400 Hz to 4 kHz) i w przypadku każdego z badanych gatunków miodu. Natomiast istotny statystycznie efekt interakcji gatunek miodu  $\times$  temperatura obróbki cieplnej uzyskany dla przenikalności elektrycznej wskazuje na to, że wykorzystanie tego parametru w wykrywaniu przegrzania miodu może być utrudnione.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że parametry elektryczne miodu, w szczególności współczynnik strat dielektrycznych, są obiecującymi wskaźnikami przegrzania miodu. Prawidłowy zakres częstotliwości, w jakim należy dokonywać pomiarów, to 1 - 4 kHz. Pomiary wykonywane dla częstotliwości poniżej 1 kHz mogą być obciążone

błędami spowodowanymi specyficznym zachowaniem materiału biologicznego w polu elektromagnetycznym.

Wyniki przedstawione w publikacjach **A** i **B** wykazały, że istnieją zależności między parametrami chemicznymi i elektrycznymi miodu i że mogą one być interesujące w kontekście wykorzystania cech elektrycznych w ocenie jakości miodu. Jeśli realizowane badania mają prowadzić do opracowania urządzenia, które na podstawie parametrów elektrycznych będzie weryfikować jakość produktu, należy wziąć pod uwagę jeszcze dwa dodatkowe aspekty związane z pomiarem cech elektrycznych. Pierwszym jest temperatura w jakiej będą prowadzone pomiary. Z punktu widzenia użytkownika urządzenia do oceny jakości miodu, ważne jest w jakim zakresie temperatur można będzie prowadzić pomiar, aby wynik był wiarygodny. Częściowo ten aspekt podlegał analizie w publikacji **B** (a w późniejszym okresie również w publikacji **E**) jednak, według mnie, wymagał pogłębionych badań. Drugim problemem, który może się pojawić w czasie użytkowania urządzenia do oceny jakości miodu jest stopień skryształizowania próbki. Niektóre miody zaczynają kryształizować bardzo szybko, dekrystalizacja miodu przed badaniem może być niepełna, a to może mieć negatywny wpływ na wiarygodność pomiaru cech elektrycznych. Dlatego też przeprowadzono pogłębione badania **wpływu temperatury i kryształizacji na cechy elektryczne miodu** (publikacja **C**).

Kryształizacja jest naturalnym procesem zachodzącym w miodzie. W zależności od gatunku miodu, różny jest czas potrzebny do jego kryształizacji. Miód rzepakowy kryształizuje w czasie 2 – 3 tygodni, a miód akacjowy w czasie 18 miesięcy. Dlatego ocena wpływu kryształizacji na parametry elektryczne miodu jest bardzo istotna. Kluczowy jest także taki dobór częstotliwości pomiarowych, aby zminimalizować wpływ temperatury na wyniki pomiarów.

W omawianych badaniach wykorzystano sześć próbek miodu z grupy opisanej w publikacji **A**: rzepakowy (*Brassica napus* L.) – trzy próbki, nawłociowy (*Solidago* L.) – dwie próbki i wielokwiatowy – jedna próbka. Przygotowano próbki miodu płynnego i skryształizowanego. Próbki miodu płynnego otrzymano przechowując je w zamkniętych słoikach w komorze klimatycznej, w temperaturze 40°C przez dwa dni. Próbki miodu skryształizowanego otrzymano dodając do miodu płynnego 2% naturalnych zarodków kryształów, a następnie przechowując próbki w temperaturze 10°C przez dwa miesiące (próbki były jednorodnie skryształizowane). Pomiary impedancji zgodnie z metodyką przedstawioną w publikacji **A** przeprowadzono w trzech temperaturach: 20, 25 i 30°C, w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Na podstawie wartości impedancji oraz wymiarów geometrycznych elektrod obliczono wartości przenikalności elektrycznej ( $\epsilon'$ ) oraz współczynnika strat dielektrycznych ( $tg\delta$ ).

Analiza zależności impedancji od częstotliwości pola elektromagnetycznego wykazała, że tylko dla niższych częstotliwości istnieją znaczące różnice między miodem płynnym, a skryształizowanym. Natomiast w przypadku przenikalności elektrycznej oraz współczynnika strat dielektrycznych odnotowano brak istotnych różnic w całym zakresie częstotliwości.

Aby ustalić właściwy zakres częstotliwości, w którym można wykorzystać impedancję do różnicowania miodu płynnego i skryształizowanego, obliczono dwa dodatkowe parametry zgodnie z poniższymi równaniami:

$$Re Z = (Re Z)_C - (Re Z)_L$$

gdzie:  $(Re Z)_C$  to część rzeczywista impedancji mierzonej dla miodu skryształizowanego,  $(Re Z)_L$  to część rzeczywista impedancji mierzonej dla miodu płynnego;

$$Im Z = |(Im Z)_C| - |(Im Z)_L|$$

gdzie:  $(Im Z)_C$  to część urojona impedancji mierzonej dla miodu skryształizowanego,  $(Im Z)_L$  to część urojona impedancji mierzonej dla miodu płynnego.

W przypadku części urojonej impedancji, znaczące różnice między miodem płynnym, a miodem skryształizowanym zaobserwowano dla zakresu częstotliwości od 2,6 do 26 kHz, a w przypadku części rzeczywistej impedancji - poniżej 16 kHz. Dlatego można uznać, że

prawidłowym zakresem częstotliwości, w którym za pomocą impedancji można różnicować miód płynny i skryształizowany jest zakres od 2,6 do 16 kHz.

Aby przeprowadzić analizę wpływu temperatury na impedancję w zakresie częstotliwości odpowiednim do różnicowania miodu płynnego i skryształizowanego obliczono dwa dodatkowe parametry zgodnie z równaniami:

$$\Delta_T Re Z = (Re Z)_{20} - (Re Z)_{30}$$

gdzie:  $(Re Z)_{20}$  to część rzeczywista impedancji mierzonej w temperaturze 20°C,  $(Re Z)_{30}$  to część rzeczywista impedancji mierzonej w temperaturze 30°C;

$$\Delta_T Im Z = |(Im Z)_{20}| - |(Im Z)_{30}|$$

gdzie:  $(Im Z)_{20}$  to część urojona impedancji mierzonej w temperaturze 20°C,  $(Im Z)_{30}$  to część urojona impedancji mierzonej w temperaturze 30°C.

Najmniejszy wpływ temperatury na część rzeczywistą impedancji zaobserwowano, gdy częstotliwość jest bliska górnej granicy przedziału. Natomiast najmniejszy wpływ temperatury na część urojoną impedancji zanotowano dla częstotliwości bliskich dolnej granicy przedziału. Dlatego, w celu minimalizacji wpływu temperatury na pomiar impedancji wykorzystywanej do różnicowania miodu w formie płynnej i skryształizowanej, pomiary powinno wykonywać się w środkowym zakresie rozpatrywanych częstotliwości.

Podsumowując prezentowane powyżej wyniki, można stwierdzić, że impedancja może być parametrem elektrycznym wykorzystywanym do różnicowania miodu w formie płynnej i skryształizowanej, jeśli jest mierzona w odpowiednim zakresie częstotliwości. Dlatego, przy wykorzystaniu impedancji jako parametru do oceny jakości miodu, należy dobrać zakres częstotliwości tak, aby zminimalizować wpływ krystalizacji na wynik pomiarów. Różnice w przypadku przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych mierzonych dla miodu płynnego i skryształizowanego są bardzo małe. Wynika z tego, że wykorzystując te parametry w ocenie jakości miodu nie trzeba brać pod uwagę stopnia skryształizowania próbek. Aby zminimalizować wpływ temperatury na wyniki pomiarów impedancji, zakres częstotliwości powinien zostać zredukowany do około 8 – 10 kHz.

Wykorzystanie w pracy badawczej sztucznych sieci neuronowych pozwoliło na znaczne poszerzenie możliwości analizy danych. Narzędzie to nie tylko pozwala na wygenerowanie użytecznych w praktyce modeli matematycznych wielowymiarowych i silnie nieliniowych zależności ale analiza wrażliwości sieci neuronowych pozwala na pozyskanie o tych zależnościach dodatkowej wiedzy. W publikacji **A** została wykorzystana tylko jedna metoda oceny stopnia wpływu parametrów wejściowych modelu sieciowego na parametr wyjściowy. Natomiast w publikacji **B** wykorzystałam trzy różne metody. Bardzo zastanowił mnie fakt, że dla tych samych modeli neuronowych (dla których uzyskano bardzo wysoki współczynnik zgodności między wartościami oczekiwanymi i uzyskanymi z modelu na zbiorze walidacyjnym), różne metody oceny stopnia wpływu zmiennych objaśniających na objaśniane generują różne wyniki. Podobne zjawisko zaobserwowałam w pracach innych autorów. Biorąc pod uwagę fakt, że modele neuronowe są coraz częściej wykorzystywane w analizie danych (również związanych z inżynierią rolniczą), postanowiłam przeprowadzić dodatkowe badania dotyczące tego problemu. Wyniki zostały przedstawione w publikacji **D**. Na potrzeby badań wygenerowano kilkadziesiąt modeli neuronowych zależności między zawartością glukozy, fruktozy i HMF, aktywnością wody, liczbą diastazową i temperaturą, a przenikalnością elektryczną miodu (dla 50 próbek miodów opisanych w publikacji **A**). Następnie dokonano oceny procentowego wpływu parametrów wejściowych modeli na przenikalność elektryczną wykorzystując trzy różne metody. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano wskazówki metodyczne odnośnie analizy modeli sieciowych. Analiza taka powinna być zawsze oparta na grupie modeli, a ostateczny wynik powinien być średnią arytmetyczną wyników poszczególnych modeli. Ostateczne wnioski dotyczące wpływu zmiennych objaśniających na

objaśniane powinny być oparte na wynikach uzyskanych z wykorzystaniem co najmniej dwóch różnych metod. Zaproponowane w publikacji **D** wskazówki metodyczne były przeze mnie wykorzystywane w dalszych pracach.

#### 4.3.4. Podsumowanie

W ramach osiągnięcia naukowego przeprowadzono analizę zależności między wybranymi cechami fizykochemicznymi, a parametrami elektrycznymi miodu mierzonymi dla częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Na podstawie analiz statystycznych oraz modelowania sieciami neuronowymi wykazano, że istnieją liniowe oraz nieliniowe zależności między tymi parametrami. Badano także wpływ krystalizacji na cechy elektryczne miodu, ponieważ proces krystalizacji następuje w miodzie w sposób naturalny i w przypadku niektórych rodzajów miodu zachodzi bardzo szybko. Dla niskich częstotliwości, nie przekraczających 26 kHz, zaobserwowano wyraźny wpływ krystalizacji na impedancję miodu. Wpływu takiego nie zanotowano w przypadku przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych. Z jednej strony wskazuje to na potencjalną możliwość wykorzystania impedancji do oceny stopnia krystalizacji (wymaga to jednak dodatkowych badań). Z drugiej strony, jeśli cechy elektryczne miodu miałyby znaleźć zastosowanie w ocenie jego jakości, należy wykorzystywać raczej przenikalność elektryczną i współczynnik strat dielektrycznych, ponieważ wyniki pomiarów będą niezależne od stopnia krystalizacji miodu. Kolejnym czynnikiem jaki należy wziąć pod uwagę jest temperatura, w której przeprowadzane są pomiary. Jej wpływ na wyniki pomiarów można minimalizować ustalając właściwy zakres częstotliwości, w jakim prowadzone są pomiary. Utylitarnym efektem pracy badawczej przedstawionej w ramach osiągnięcia naukowego była ocena potencjalnej możliwości wykorzystania cech elektrycznych miodu w ocenie jego jakości. Przeprowadzone analizy wskazują, że cechy elektryczne mogą znaleźć takie zastosowanie (m.in. w wykrywaniu przegrzania miodu lub ocenie jego świeżości).

Rolą inżynierii rolniczej jest, między innymi, dostarczanie nowych urządzeń do analizy różnorodnych parametrów materiałów pochodzenia biologicznego. Przedstawione w ramach osiągnięcia naukowego badania, poszerzone o podobne analizy przeprowadzone dla miodów pozyskanych w różnych sezonach, mogą stanowić podstawę do sformułowania założeń konstrukcyjnych urządzenia pomiarowego do szybkiego i taniego badania jakości miodu.

Omówione wyżej badania wnoszą istotny wkład naukowy w obszarze wykorzystania cech elektrycznych miodu w ocenie jego jakości. Wykorzystanie nowoczesnych metod analizy danych pozwoliło na zidentyfikowanie złożonych zależności między parametrami chemicznymi i elektrycznymi miodu. Badania mają również duże znaczenie praktyczne, ponieważ mogą prowadzić do opracowania nowoczesnych przyrządów pomiarowych stanowiących alternatywę dla stosowanych dotąd skomplikowanych metod oceny jakości miodu opartych na pomiarze parametrów chemicznych. Planowana jest kontynuacja badań w tym właśnie kierunku.

#### 4.3.5. Bibliografia

1. Assil H.I., Sterling R., Sporns P. (1991) Crystal control in processed liquid honey. *Journal of Food Science* 56(4), 1034–1037.
2. Bakier S. (2009) Charakterystyka oddziaływań reologicznych występujących w zawiesinach krystalicznych glukozy pomiędzy fazą stałą i płynną. *Acta Agrophysica* 14(3), 543-556.
3. Bogdanov S. (1993) Liquefaction of honey. *Apiacta* 28, 4-10.

4. Bogdanov S., Ruoff K., Persano Oddo L. (2004) Physico-chemical methods for the characterization of unifloral honeys: a review. *Apidologie* 35, 4–17.
5. Can Z., Yildiz O., Sahin H., Akyuz Turumtay E., Silici S., Kolayli S. (2015) An investigation of Turkish honeys: their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chemistry* 180, 133–141.
6. Codex Alimentarius (2001) Revised codex standard for honey. Codex stan 12–1981. Codex Alimentarius Commission Rev 1(1987): Rev 2(2001):1–8
7. Devillers J., Morlot M., Pham-Delègue M., Doré J.C. (2004) Classification of monofloral honeys based on their quality control data. *Food Chemistry* 86, 305–312.
8. Escriche I., Kadar M., Juan-Borras M., Domenech, E (2014) Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment. *Food Chemistry* 142, 135-143.
9. Fauzi N.A., Farid M.M., Silva F.V. (2014) High-Pressure Processing of Manuka Honey: Improvement of Antioxidant Activity, Preservation of Colour and Flow Behaviour. *Food Bioprocess Technology* 7, 2299-2307.
10. Gleiter R.A., Horn H., Isengard H.D. (2006) Influence of type and state of crystallisation on the water activity of honey. *Food Chemistry* 96(3), 441–445.
11. Guo W., Liu Y., Zhu X., Wang S. (2011) Dielectric properties of honey adulterated with sucrose syrup. *Journal of Food Engineering* 107, 1–7.
12. Juan-Borras M., Domenech E., Hellebrandova M., Escriche I. (2014) Effect of country origin on physicochemical, sugar and volatile composition of acacia, sunflower and tilia honeys. *Food Research International* 60, 86–94.
13. Kaskoniene V., Venskutonis P.R. (2010) Floral markers in honey of various botanical and geographic origins: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9, 620–634.
14. Manzanares A.B., García H., Galdón B.R., Rodríguez E., Romero D. (2014) Physicochemical characteristics of minor monofloral honeys from Tenerife, Spain. *LWT - Food Science and Technology* 55, 572–578.
15. Mar Cavia M., Fernandez-Muino M.A., Francisco Huidobro J., Alvarez C., Teresa Sancho M. (2009) Evolution of monosaccharides of honey over 3 years: influence of induced granulation. *International Journal of Food Science & Technology* 44(3), 623–628.
16. Mateo R., Bosch-Reig F. (1997) Sugar profiles of Spanish unifloral honeys. *Food Chemistry* 60 (1), 33–41.
17. Morales V., Luz Sanz M., Martín-Álvarez P.J., Corzo N. (2009) Combined use of HMF and furosine to assess fresh honey quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(8), 1332–1338.
18. Paszkowski B., Wilczek A., Szyplowska A., Nakonieczna A., Skierucha W. (2014) A low-frequency sensor for determination of honey electrical properties in varying temperature conditions. *Journal of Food Engineering* 138, 17–22.
19. Popek S. (2002) A procedure to identify a honey type, *Food Chem.* 79, 401–406.
20. Rodríguez B.A., Mendoza S., Iturriga M.H., Castaño-Tostado E. (2012) Quality parameters and antioxidant and antibacterial properties of some Mexican honeys. *Journal of Food Science* 77(1), C121–C127.
21. Scandurra G., Tripodi G., Verzera A. (2013) Impedance spectroscopy for rapid determination of honey floral origin. *Journal of Food Engineering* 119, 738–743.
22. Skierucha W., Wilczek A., Szyplowska A. (2017) Techniki spektroskopii dielektrycznej w badaniu jakości materiałów i produktów rolniczych, *LAB* 1, 6-14.
23. Smanalieva J., Senge B. (2009) Analytical and rheological investigations into selected unifloral German honey. *European Food Research and Technology* 229(1), 107–113.
24. Subramanian R., Hebbar H.U., Rastogi N.K. (2007) Processing of honey: A review. *International Journal of Food Properties* 10, 127-143.
25. Terrab A., González G., Díez M.J., Heredia F.J. (2003a) Mineral content and electrical conductivity of the honeys produced in Northwest Morocco and their contribution to the

- characterization of unifloral honeys. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 637–643.
26. Terrab A., Gonzalez A.G., Diez M.J., Heredia F.J. (2003b) Characterisation of moroccan unifloral honeys using multivariate analysis. *European Food Research and Technology* 218, 88–95.
  27. Terrab A., Recamales A.F., Hernanz D., Heredia F.J. (2004) Characterisation of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and mineral contents. *Food Chemistry* 88, 537–542.
  28. Tornuka F., Karamanb S., Ozturk I., Toker O.S., Tastemur B., Sagdic O., Doganb M., Kayacier A. (2013) Quality characterization of artisanal and retail Turkish blossom honeys: determination of physicochemical, microbiological, bioactive properties and aroma profile. *Industrial Crops and Products* 46, 124–131.
  29. White J.W. (1994) The role of HMF and diastase assays in honey quality evaluation. *Bee World* 75, 104-117.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (wykaz publikacji przedstawiony w załączniku 3)**

Moja praca badawcza w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu od początku była związana z cechami elektrycznymi materiałów pochodzenia biologicznego. Dodatkowo, umiejętności z dziedziny analizy danych metodami z grupy sztucznej inteligencji, pozwoliły mi na rozpoczęcie współpracy również z innymi zespołami badawczymi. W związku z tym, w mojej dotychczasowej pracy naukowej można wyodrębnić dwa zakresy tematyczne badań:

- Badanie cech elektrycznych materiałów pochodzenia biologicznego

Badania cech elektrycznych materiałów pochodzenia biologicznego od początku mojej pracy badawczej po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, dotyczyły głównie cech elektrycznych miodu. Wykonane zostały szerokie badania w ramach grantu N N313 766640, które pozwoliły na analizę 50 próbek miodu pod kątem jego gatunku, wybranych parametrów fizycznych, chemicznych oraz cech elektrycznych w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Poza wynikami badań przedstawionymi jako osiągnięcie naukowe, analizowane były również inne aspekty tej tematyki. Potwierdzono duży wpływ zawartości wody na impedancję zespoloną patoki oraz wykazano, że aktywność wody w znacznie większym stopniu wpływa na impedancję zespoloną miodu niż na przewodność patoki oraz roztworu miodu. Wykazano także związek między przewodnością elektryczną patoki, a składem pyłkowym miodu. Przedstawiono kilka modeli matematycznych opisujących związki między cechami chemicznymi, a elektrycznymi miodów.

Poza miodem, jako materiał badawczy wykorzystano mąkę i drewno. Wykazano, że przenikalność elektryczna mąki w największym stopniu zależy od stopnia rozdrobnienia materiału. Wygenerowano także użyteczny w praktyce model matematyczny zależności przenikalności elektrycznej mąki od jej parametrów chemicznych i granulacji. Wykazano możliwość wykorzystania impedancji zespolonej, przenikalności elektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych do różnicowania drewna według gatunku. Opracowano metodykę wykonania pomiarów parametrów elektrycznych czyli wskazano sposób ustawienia próbki względem linii pola elektromagnetycznego oraz ustalono zakres częstotliwości, w jakim należy prowadzić pomiary.

W większości wymienionych wyżej prac wykorzystano sztuczne sieci neuronowe i inne zaawansowane metody i algorytmy, co pozwoliło na bardziej szczegółową analizę danych niż w przypadku wykorzystania wyłącznie metod statystycznych.

Przedstawione wyżej wyniki badań posłużyły do opracowania kilkunastu oryginalnych prac twórczych, które przedstawiono w załączniku 3 (publikacje dotyczące miodu: 2.2.-2, 2.2.-3, 2.3.-1, 2.3.-2, 2.3.-4, 2.3.-6, 2.3.-7, 2.3.-8, publikacje dotyczące drewna: 2.1-2, 2.1-4, 2.2.-4, 2.3.-3, 2.3.-9, 2.3.-11, publikacja dotycząca mąki: 2.2.-1).

Obecnie tematyka badawcza związana z cechami elektrycznymi materiałów pochodzenia biologicznego została poszerzona. Prowadzone są badania nad możliwością wykorzystania cech elektrycznych do oceny jakości soków owocowych i warzywnych. Uzyskane wyniki będą podstawą pracy doktorskiej mgr inż. Tobiasza Wysoczańskiego (zostałam wyznaczona jako promotor pomocniczy w tym przewodzie doktorskim). Równolegle, we współpracy z Uniwersytetem Medycznym we Wrocławiu, prowadzone są badania nad cechami elektrycznymi surowicy krwi ludzkiej. Na badania te, wspólnie z zespołem z Uniwersytetu Medycznego, uzyskaliśmy grant wewnętrzny UM we Wrocławiu. Analizowany jest związek między parametrami chemicznymi, a elektrycznymi surowicy.

- Wykorzystanie metod sztucznego inteligencji w modelowaniu i optymalizacji sprawności trakcyjnej ciągników oraz procesu opryskiwania roślin

Optymalizacja różnorodnych procesów w nowoczesnym rolnictwie odgrywa niezwykle istotną rolę nie tylko ze względów ekonomicznych, ale także związanych z ochroną środowiska. Przeprowadzenie procesu optymalizacji wymaga możliwie jak najdokładniejszego modelu optymalizowanego procesu. Tematyka mojej pracy doktorskiej związanej z modelowaniem matematycznym procesu krystalizacji sprowokowała mnie do pogłębienia wiedzy na temat modelowania matematycznego, również z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji. Zdobyta wiedza i doświadczenie w tym zakresie pozwoliło mi na nawiązanie współpracy z zespołami badawczymi specjalizującymi się w badaniu sprawności trakcyjnej ciągników rolniczych oraz procesu opryskiwania roślin, co zaowocowało ciekawymi, interdyscyplinarnymi pracami.

Jednym z istotnych czynników związanych z pracą ciągników rolniczych jest odkształcenie podłoża wywołane kołami ciągnika. Może ono prowadzić do nieodwracalnych, niekorzystnych zmian właściwości fizycznych gleby. Optymalizacja pracy ciągnika może dotyczyć doboru parametrów konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych stosowanych układów jezdnych. Badania wskazują, że od 20 do 55% mocy ciągnika jest tracone w wyniku kontaktu opony z podłożem dlatego optymalizacja jest w tym przypadku niezwykle istotna. Na podstawie danych doświadczalnych wygenerowano modele matematyczne opisujące zjawiska zachodzące pomiędzy oponą mikrociągnika, a podłożem odkształcalnym dla różnych rodzajów gleby. Analiza tych modeli pozwoliła ocenić jakie parametry mają największy wpływ na siłę i sprawność trakcyjną mikrociągnika, a następnie stały się podstawą przeprowadzenia procesu optymalizacji z wykorzystaniem algorytmów genetycznych. Wykazano, że największy wpływ na wartości siły trakcyjnej oraz sprawności trakcyjnej ma obciążenie pionowe a najmniejszy - zwięzłość gleby. Wskazano optymalne wartości wilgotności i zwięzłości gleby, deformacji poziomej i obciążenia pionowego, przy których siła i sprawność trakcyjna osiągają najwyższe wartości dla różnych rodzajów gleby.

Stosowanie pestycydów jest istotnym aspektem chemicznej ochrony roślin, która umożliwia znaczące zwiększenie plonów. Jednak wykorzystywanie substancji chemicznych w ochronie roślin ma poważny, negatywny wpływ na środowisko naturalne a przez to na zdrowie ludzi i zwierząt. Z tego powodu optymalizacja procesu opryskiwania jest niezwykle istotna. Na jakość zabiegu wpływają czynniki takie jak typ rozpylacza i ciśnienie cieczy roboczej, prędkość opryskiwacza, kąt ustawienia rozpylaczy, charakterystyka cieczy opryskowej, warunki pogodowe i charakterystyka opryskowa roślin. W ramach badań wykorzystano różne metody



sztucznej inteligencji aby wygenerować modele matematyczne zależności między parametrami procesu opryskiwania, a wartością wskaźnika określającego jakość zabiegu. Na podstawie uzyskanych modeli określono stopień wpływu poszczególnych parametrów procesu opryskiwania na jego jakość i zaproponowano optymalne wartości tych parametrów, aby uzyskać maksymalny stopień pokrycia opryskiwanych obiektów lub wskaźnik opadu podłużnego rozpylonej cieczy.

Przedstawione wyżej wyniki badań posłużyły do opracowania kilku oryginalnych prac twórczych, które przedstawiono w załączniku 3 (publikacje dotyczące sprawności trakcyjnej: **2.1.-3, 2.2.-5, 2.3.-5**, publikacje dotyczące procesu opryskiwania: **2.2.-6, 2.3.-10, 2.3.-12** )

W moim dorobku naukowym znajdują się również publikacje, które powstały w wyniku współpracy z innymi ośrodkami naukowymi, a moja rola w ich powstaniu polegała głównie na analizie statystycznej danych pomiarowych: **2.1.-1 i 2.1.-5** z załącznika 3.

Wyniki opisanych wyżej badań zaprezentowałam także wygłaszając 15 referatów na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Jestem również współautorką 34 doniesień konferencyjnych zaprezentowanych w formie posterów lub referatów wygłoszonych przez innego współautora. Tematy doniesień konferencyjnych przedstawiono szczegółowo w załączniku 3.

## **6. Działalność organizacyjna i dydaktyczna**

Poza pracą naukową, angażuję się również w działalność organizacyjną Uczelni oraz działalność w zakresie popularyzacji nauki. Uczestniczę w pracach Rektorskiej Komisji ds. Współpracy z Zagranicą oraz Stypendium im. Profesora Stanisława Tołpy i Wydziałowej Komisji ds. Badań Naukowych Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego a także pełnię funkcję Wydziałowego Pełnomocnika ds. Międzynarodowych Programów Edukacyjnych. Regularnie biorę udział w różnorodnych warsztatach organizowanych dla uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych.

W ramach pracy dydaktycznej prowadzę wykłady i ćwiczenia na studiach I i II stopnia na kierunkach Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Technika Rolnicza i Leśna, Odnawialne Źródła Energii i Gospodarka Odpadami, Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Biotechnologia, Inżynieria Bezpieczeństwa oraz Biotechnologia Stosowana Roślin. Opracowałam programy nauczania czterech przedmiotów: Sterowniki programowalne w inżynierii rolniczej, Sterowanie urządzeniami i instalacjami OZEGO, Sterowanie w inżynierii produkcji biosurowcowej i Systemy informatyczne. Zaprojektowałam i wykonałam stanowiska laboratoryjne na potrzeby Laboratorium Sterowników PLC, którego jestem kierownikiem. Jestem współautorem skryptu „Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych” dla studentów Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, za co otrzymałam nagrodę zespołową Rektora UPWr. Moja działalność dydaktyczna została także doceniona przez studentów i w roku akademickim 2016/2017 uzyskałam najwyższą ocenę w ankiecie studentów oceniających jakość zajęć dydaktycznych na Wydziale Przyrodniczo-Technologicznym UPWr.

Szczegóły działalności organizacyjnej i dydaktycznej zostały przedstawione w załączniku 3.

## 6. Podsumowanie dorobku naukowego

Tabela 1. Zestawienie publikacji według czasopism

L.p.	Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	Punkty MNiSW w roku wydania (łącznie) <sup>a</sup>	IF według roku wydania <sup>b</sup>
<b>Osiągnięcie naukowe</b>				
1	Computers in Biology and Medicine	1	20	1,24
2	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	1	13	-
3	European Food Research and Technology	2	50	3,35
4	Acta Alimentaria	1	15	0,38
5	Computers and Electronics in Agriculture	1	35	2,20
<b>Podsumowanie</b>		<b>6</b>	<b>133</b>	<b>7,17</b>
<b>Pozostałe prace</b>				
1	Inżynieria Rolnicza	2	9	-
2	Archives of Civil and Mechanical Engineering	1	30	2,19
3	Wood Research	2	35	1,27
4	Soil & Tillage Research	1	40	3,82
5	BMC Immunology	1	20	2,62
6	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	1	9	-
7	Electronic Journal of Polish Agricultural Universities	1	12	-
8	Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering	2	24	-
9	Rozdział w monografii	12	48	-
<b>Podsumowanie</b>		<b>23</b>	<b>227</b>	<b>9,90</b>
<b>Podsumowanie</b>		<b>29</b>	<b>360</b>	<b>17,07</b>

Tabela 2. Zestawienie publikacji według kategorii

L.p.	Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	Punkty MNiSW w roku wydania (łącznie) <sup>a</sup>	IF według roku wydania <sup>b</sup>
<b>Osiągnięcie naukowe</b>				
1	Czasopisma z listy A	5	120	7,17
2	Czasopisma z listy B	1	13	-
<b>Podsumowanie – osiągnięcie naukowe</b>		<b>6</b>	<b>133</b>	<b>7,17</b>
<b>Pozostałe prace</b>				
1	Czasopisma z listy A	5	125	9,90
2	Czasopisma z listy B	6	54	-
3	Rozdział w monografii (j. polski)	8	32	-
4	Rozdział w monografii (j. angielski)	4	16	-
<b>Podsumowanie – pozostałe prace</b>		<b>23</b>	<b>227</b>	<b>9,90</b>
<b>Podsumowanie</b>		<b>29</b>	<b>360</b>	<b>17,07</b>

<sup>a</sup> IF w roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2018 podano ostatni dostępny IF - 2017

<sup>b</sup> Punktacja MNiSW określona według roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2018 przyjęto aktualną punktację z listy z dnia 31 grudnia 2016

*Katarzyna Pank*