

Załącznik nr 2

# AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

dr Andrzej Marian Bochniak

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Wydział Inżynierii Produkcji  
Katedra Zastosowań Matematyki i Informatyki



WYDZIAŁ  
INŻYNIERII PRODUKCJI

Lublin 2018

## Spis treści

<b>1. Dane personalne .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Wskazanie osiągnięcia.....</b>	<b>4</b>
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego .....	4
4.2. Wykaz użytych oznaczeń.....	4
4.3. Wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia badań .....	5
4.4. Cel badań .....	7
4.5. Materiał i metody badań .....	8
4.6. Wyniki badań.....	12
4.7. Podsumowanie i wnioski .....	21
4.8. Omówienie praktycznej przydatności wyników osiągnięcia naukowego .....	23
4.9. Literatura źródłowa.....	24
<b>5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych .....</b>	<b>27</b>
5.1. Przebieg pracy naukowo-badawczej przed uzyskaniem stopnia doktora.....	27
5.2. Przebieg pracy naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora.....	29
5.3. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzatorskie .....	34
<b>6. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego.....</b>	<b>37</b>

## 1. Dane personalne

**Imiona i nazwisko:**

Andrzej Marian Bochniak

**Miejsce zatrudnienia:**

Katedra Zastosowań Matematyki i Informatyki

Wydział Inżynierii Produkcji

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin

tel. 81 531-9623

## 2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

**1998 – uzyskany tytuł magistra**

*Uczelnia:* UMCS w Lublinie, Wydział Matematyki i Fizyki

*Kierunek:* matematyka

*Specjalność:* metody numeryczne

*Tytuł pracy magisterskiej:* Kolejki wielodostępowe i ich zastosowanie w organizacji przetwarzania współbieżnego

*Promotor:* dr Przemysław Stpiczyński.

*Data obrony:* 09 lipca 1998

**2006 – uzyskany stopień doktora nauk rolniczych**

*Dyscyplina:* inżynieria rolnicza

*Specjalność:* metody statystyczne i informatyczne w inżynierii rolniczej

*Jednostka:* Wydział Inżynierii Produkcji Akademii Rolniczej w Lublinie

*Tytuł rozprawy doktorskiej:* Wskaźnik podobieństwa rozkładów modułu sprężystości źdźbeł dla zbóż poddanych stymulacji polem magnetycznym

*Promotor:* dr hab. Mirosława Wesołowska-Janczarek, prof. AR

*Recenzenci:* dr hab. Zofia Hanusz, prof. AR

prof. dr hab. inż. Jerzy Weres

*Data obrony:* 16 lutego 2006

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

**01.10.1998 – 01.04.2006** – asystent w Instytucie Zastosowań Matematyki (od roku 2000 zmiana nazwy na Katedra Zastosowań Matematyki) na Wydziale Techniki Rolniczej (od 2003 zmiana nazwy na Wydział Inżynierii Produkcji) Akademii Rolniczej w Lublinie

**1.04.2006 – do chwili obecnej** – adiunkt w Katedrze Zastosowań Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Przyrodniczego (w roku 2008 zmiana nazwy z Katedra Zastosowań Matematyki Akademii Rolniczej) w Lublinie

### 4. Wskazanie osiągnięcia

Osiągnięciem, stanowiącym podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, wynikającym z artykułu 16. ustęp 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.), jest autorska monografia naukowa.

#### 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

*Kształtowanie mikroklimatu w budynkach dla bydła mlecznego z wykorzystaniem modelowania komputerowego*

Dane bibliograficzne osiągnięcia naukowego:

Bochniak A. (2018). *Kształtowanie mikroklimatu w budynkach dla bydła mlecznego z wykorzystaniem modelowania komputerowego*, Inżynieria Rolnicza, Seria Monografie i Rozprawy, ISBN 978-83-64377-25-9.

Recenzenci wydawniczy: dr hab. inż. Urszula Malaga-Toboła,

dr hab. inż. Wojciech Golimowski, prof. UE we Wrocławiu

#### 4.2. Wykaz użytych oznaczeń

$\alpha_j, \beta_j$  – współczynniki regresyjne w modelu TS

$c_p$  – ciepło właściwe powietrza ( $J \cdot (m^3 \cdot K)^{-1}$ )

$D$  – deterministyczny model matematyczny mikroklimatu uwzględniający elementy składowe bilansu cieplnego

$dx$  – różniczka zmiennej  $x$

$D_B$  – zewnętrzna długość budynku inwentarskiego (m)

$DJP$  – duża jednostka produkcyjna (1DJP=500kg masy ciała) (szt.)

$H$  – wysokość czynna między otworami wywiewnymi i nawiewnymi (m)

- 
- $S_B$  – zewnętrzna szerokość budynku inwentarskiego (m)  
 $SDE$  – model matematyczny mikroklimatu oparty o stochastyczne równania różniczkowe  
 $t$  – czas (s)  
 $T$  – temperatura powietrza (K)  
 $TS$  – model matematyczny mikroklimatu uwzględniający pojęcie szeregów czasowych  
 $V$  – kubatura pomieszczenia ( $m^3$ )  
 $W_v$  – strumień pary wodnej usuwanej drogą wentylacji powietrza ( $kg \cdot s^{-1}$ )  
 $W_z$  – strumień pary wodnej produkowanej przez zwierzęta ( $kg \cdot s^{-1}$ )  
 $w$  – wilgotność bezwzględna masowa powietrza ( $kg \cdot (kg \text{ powietrza})^{-1}$ )  
 $Z$  – proces Wienera  
 $\Delta T$  – różnica temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego (K)  
 $\rho_p$  – gęstość powietrza ( $kg \cdot m^{-3}$ )  
 $\varphi$  – wilgotność względna (%)  
 $\Phi_b$  – straty ciepła przez przegrody budowlane (W)  
 $\Phi_v$  – straty ciepła drogą wentylacji (W)  
 $\Phi_{zj}$  – ciepło jawne emitowane przez zwierzęta (W)  
 $i$  – indeks odnoszący się do pomiarów wewnątrz budynku  
 $e$  – indeks odnoszący się do pomiarów zewnątrz budynku

#### 4.3. Wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia badań

Dobrostan zwierząt w znaczący sposób wpływa na produktywność zwierząt oraz pośrednio na jakość produktów pochodzenia zwierzęcego. Budynek inwentarski jest miejscem, w którym zwierzęta spędzają większość swojego życia, zwłaszcza w okresie zimowym. Utrzymanie właściwego mikroklimatu, rozumianego jako zespół czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych określających stan powietrza wewnątrz budynku, gwarantuje prawidłową zdrowotność zwierząt, ich funkcjonowanie i produktywność. Niedotrzymanie optymalnych warunków chowu w dłuższym okresie czasu wpływa niekorzystnie na zdrowie i zachowanie zwierząt, efektywność karmienia, szybkość przyrostu ciała u młodych zwierząt, wydajność udojową, jak również zdolności rozmnażania się. To z kolei przekłada się na aspekt ekonomiczny prowadzonej działalności gospodarczej. Parametry mikroklimatu, jak również zasady projektowania budynków inwentarskich, regulowane są różnymi zaleceniami, przepisami i normami odnośnie hodowli, ochrony zwierząt oraz wymiarowania budynków inwentarskich (ASHRAE 2013; CIGR 1984, 1992, 1999, 2002, 2014; Instytut Zootechniki 1977; PN-76/B-03420 1976; PN-82/B-02403 1982; PN-EN ISO 6946 1999; PN-EN ISO 13370 2001; PN-EN ISO 13786 2001). Opis technologii wykorzystywanych do budowy budynków inwentarskich można znaleźć np. w pracach Głuskiego (2013) oraz Myczki (1996).

---

Projektowanie budynku ma na celu ustalenie pożądanej temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz prędkości przepływu jego strumieni w pomieszczeniach dla zwierząt. Dodatkowo rozpatruje się maksymalne poziomy stężenia zanieczyszczeń powietrza, jakimi są: dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ), amoniak ( $\text{NH}_3$ ), siarkowodór ( $\text{H}_2\text{S}$ ), zapylenie czy mikroorganizmy (Kavolelis i in. 2010; Pedersen i in. 2008; Samer i in. 2011; Zhang i in. 2005).

Problemy związane z ustaleniem kształtowania mikroklimatu w budynkach rolniczych można spotkać zarówno w związku z produkcją roślinną, jak i zwierzęcą (Radoń, 2005; Romaniuk i Karbowy 2008). W przypadku produkcji roślinnej, utrzymanie właściwego mikroklimatu ma wpływ zarówno na wzrost roślin w szklarniach (Raczek i Wachowicz 2014; Rutkowski 2008; Stankiewicz 2009), jak i magazynowania płodów (Wachowicz 2013). Badania związane z oceną mikroklimatu wytworzonego w budynkach inwentarskich były prowadzone z uwzględnieniem różnych gatunków zwierząt: kur (Gürdil 2009), brojlerów (Radoń 2004), trzody chlewnej (Panagakis i Axaopoulos 2004, 2008; Schauberger i in. 2000) i bydła (m.in. Fiedorowicz i Mazur 2011a,b; Głuski 2005). W swojej monografii, ze względu na przeprowadzone pomiary, skoncentrowałem się na kształtowaniu mikroklimatu w budynkach dla bydła mlecznego, ale przedstawione rozwiązanie może być dostosowane do hodowli innych zwierząt.

W ostatnim czasie problematyka związana z oddziaływaniem hodowli zwierząt na środowisko naturalne zyskuje na znaczeniu. Jakość powietrza w pomieszczeniach nie tylko oddziałuje na zwierzęta. Odór wydzielany z budynków inwentarskich wpływa na komfort mieszkających w pobliżu ludzi. Coraz częściej gazy cieplarniane wytwarzane przy produkcji mięsa wymieniane są jako istotny czynnik wpływający na globalne ocieplenie klimatu Ziemi. W związku z tym prowadzone są badania związane z oceną ilościową produkowanych gazów, ekonomicznym aspektem redukcji odprowadzanych zanieczyszczeń do środowiska, czy możliwością przechwytywania wydzielanych gazów i ich wykorzystania jako biopaliw (Dumont 2016; Lashof i Ahuja 1990; Leip 2010; Leip i in. 2015; Modongo i Kulshreshtha 2018). Kwestia negatywnego oddziaływania produkcji zwierzęcej na otaczający nas klimat coraz częściej poruszana jest też w mediach publicznych (Albińska, 2014; Burda, 2018). Zatem poprawny opis matematyczny mikroklimatu może posłużyć do szukania właściwych rozwiązań w tym zakresie.

W przeważającej większości metod projektowania mikroklimatu w budynkach inwentarskich uwzględniane są modele statyczne, w których przyjmuje się, że warunki otoczenia są stałe i zależne od przyjętej strefy klimatycznej, w której zlokalizowany jest

---

budynek (Wolski 1988). Temperatury powietrza w pomieszczeniach sąsiadujących z halą dla zwierząt szacowane są na podstawie obowiązujących norm, w zależności od liczby ścian zewnętrznych, liczby drzwi czy okien, a także od rodzaju pokrycia dachowego oraz czy projektowany budynek ma mieć poddasze użytkowe. Dodatkowo stosuje się modele deterministyczne, które przy ustalonych warunkach początkowych, generują zawsze takie samo rozwiązanie.

W rzeczywistości procesy zachodzące w pomieszczeniach inwentarskich związane z wymianą ciepła i wilgoci oraz innymi zjawiskami podlegają cały czas pewnym zaburzeniom losowym. Skutkuje to tym, że praktycznie niemożliwe jest odtworzenie za każdym razem takich samych wyników, nawet wtedy, gdy warunki początkowe wydają się identyczne. Takie zaburzenia mogą być generowane zarówno przez czynniki zewnętrzne, takie jak zmieniające się prędkość i kierunek wiatru, nasilenie promieni słonecznych padających na bryłę budynku, jak również przez czynniki pochodzące od zwierząt (poziom aktywności, zmianę lokalizacji lub ich grupowanie) oraz od samego procesu użytkowania budynku przez obsługę, jak np. otwarcie drzwi w budynku. Zaburzenia te mogą wynikać również z niepewności wykonywanych pomiarów, czy niedokładności modeli cząstkowych. Coraz częściej w naszych warunkach klimatycznych mamy także do czynienia z występowaniem anomalii i nagłych zjawisk pogodowych, które zakłócają standardowe zachowanie badanego systemu.

#### **4.4. Cel badań**

Głównym celem podjętych przeze mnie badań była ocena możliwości rozbudowy klasycznych modeli deterministycznych, używanych przy opisie dynamicznych zmian mikroklimatu, poprzez wykorzystanie modeli stochastycznych, pozwalających wprowadzić losowość czynników zaburzających główny trend zachodzących zmian. Analizę zmian mikroklimatu oparłem o narzędzie wspomagające, jakim była napisana przeze mnie aplikacja komputerowa. W rozważaniach za podstawowe parametry opisujące stan mikroklimatu przyjąłem temperaturę i wilgotność powietrza. Założyłem, że usunięcie nadmiaru szkodliwych gazów następuje wraz z ustalonym minimalnym zaleconym poziomem wentylacji powietrza (Wolski 1988).

Na potrzeby badań opracowałem uproszczony model deterministyczny opisujący bilans cieplny i wilgotnościowy scalający w całość poszczególne składowe systemy, do których należy zaliczyć oddziaływanie klimatu zewnętrznego, wymiarów i właściwości termicznych

budynku oraz struktury stada zwierząt. Na cel główny składały się następujące cele szczegółowe:

- ocena zbieżności zastosowanych modeli matematycznych, deterministycznego i stochastycznych oraz określenie podstawowego kroku czasowego gwarantującego zbieżność rozwiązania numerycznego,
- zastosowanie modelu uwzględniającego stochastyczne równania różniczkowe, które według mnie jest nowością w przypadku modelowania zmian mikroklimatu,
- ocena wpływu wielkości zaburzeń losowych na estymowane przebiegi zmian parametrów mikroklimatu,
- weryfikacja uzyskanych wyników symulacyjnych z danymi rzeczywistymi, pochodzącymi z pomiarów przeprowadzonych w istniejących budynkach inwentarskich dla bydła mlecznego,
- wskazanie charakterystycznych miar używanych do określania dopasowania modeli do danych rzeczywistych, spośród wielu takich wskaźników służących do tego celu,
- porównanie wyników symulacyjnych dla modeli stochastycznych ze sobą,
- zaprojektowanie aplikacji komputerowej wspomagającej przeprowadzanie symulacji komputerowych.

#### 4.5. Materiał i metody badań

##### Modele matematyczne zmian parametrów mikroklimatu

W rozważaniach dotyczących kształtowania parametrów mikroklimatu w budynku inwentarskim jako podstawowego użyłem uproszczonego modelu deterministycznego. Uwzględnia on modele cząstkowe bilansu ciepłno-wilgotnościowego, dostępne w literaturze krajowej i światowej, opisujące procesy przepływu ciepła i wilgoci dla budynku, zwierząt oraz pod wpływem wymiany powietrza (ASHRAE 2013; CIGR 1992, 1999, 2002, 2014; Głuski 2005). Istotą zaprezentowanego w monografii podejścia było oddanie dynamicznego charakteru zachodzących zmian mikroklimatu w pomieszczeniach dla zwierząt. Przedstawiony model bazuje na układzie równań różniczkowych opisujących wymianę ciepła i wilgoci w sposób analogiczny jak w opracowaniu pod redakcją Klemma (ed. 2005).

Model deterministyczny (D):

$$c_p \cdot \rho_p \cdot V \cdot \frac{dT_i}{dt} = \Phi_b + \Phi_{zj} + \Phi_v \quad (1)$$

$$V \cdot \rho_p \cdot \frac{dw_i}{dt} = W_z + W_v \quad (2)$$



W równaniach bilansowych (1) i (2) założyłem, że temperatura i wilgotność powietrza wewnętrznego są uśrednione i charakteryzują jednorodne powietrze w strefie przebywania zwierząt. Parametrem sprzęgającym oba równania jest temperatura powietrza, ponieważ wilgotność powietrza jest zależna od temperatury.

Analizę mikroklimatu rozszerzyłem o dwa modele stochastyczne, umożliwiające wprowadzenie elementów losowych, oddających możliwe zaburzenia głównego trendu zmian badanych parametrów. Zaburzenie mogą oddawać zarówno niedokładność wykonywanych pomiarów, jak i wystąpienie anomalii pogodowych.

Jeden z nich wykorzystuje pojęcie szeregu czasowego, którego dziedziną jest czas (Box i Jenkins, 1970). Taki sposób modelowania można znaleźć np. w pracy Daskalova (1997). Jednak w jego analizie uwzględnione zostały jedynie krótsze 8-godzinne okresy, w których następowały mniejsze zmiany parametrów niż pojawiają się przy dłuższych okresach np. całodobowych. Przyjąłem założenie, że sezonowość zmian mikroklimatu wynika ze zmian parametrów klimatu zewnętrznego i nie ma stałego trendu malejącego lub wzrostowego. Użyłem modelu ARMAX, uwzględniającego wpływ zmiennych towarzyszących na wartości modelowanych parametrów. W przypadku modelowania zmian parametrów mikroklimatu zmiennymi zewnętrznymi (macierz X) są:

- dla temperatury wewnętrznej: zyski ciepła od zwierząt oraz zyski lub straty w wyniku wentylacji i przenikania przez ściany,
- dla wilgotności: zyski lub straty pary wodnej produkowanej przez zwierzęta i usuwanej w wyniku wentylacji.

Model TS (szereg czasowy ze zmiennymi towarzyszącymi)

$$T_j = \sum_{k=1}^p a_{j-k} \cdot T_{j-k} + \sum_{k=1}^q \beta_{j-k} \cdot \varepsilon_{j-k} + \beta_{z1} \cdot Q_{zj} + \beta_b \cdot Q_{bj} + \beta_v \cdot Q_{vj} + \varepsilon_j \quad (3)$$

$$w_j = \sum_{k=1}^p a_{j-k} \cdot w_{j-k} + \sum_{k=1}^q \beta_{j-k} \cdot \varepsilon_{j-k} + \beta_{z2} \cdot W_{zj} + \beta_w \cdot W_{wj} + \varepsilon_j \quad (4)$$

Oprócz teorii szeregów czasowych, kolejnym narzędziem służącym do wprowadzenia czynników losowych do modeli deterministycznych jest wykorzystanie stochastycznych równań różniczkowych (ang. stochastic differential equations, SDE). Przykładem takiego równania używanego do opisu układów fizycznych, które podlegają zaburzeniom losowych jest równanie Langevina. Po raz pierwszy zostało ono wykorzystane do opisu zjawiska związanego z ruchami Browna (Van Kampen 1990). Matematycznym modelem fizycznego zjawiska ruchów Browna jest proces Wienera, który jest zastosowany do modelowania w różnych dziedzinach nauki (Kloeden i Platen 1992, Øksendal 2003).

Korzystając z definicji stochastycznych równań różniczkowych, model opisujący zmiany mikroklimatu w budynku inwentarskim można zapisać w postaci układu równań (5) i (6) odpowiednio dla temperatury wewnętrznej oraz jego wilgotności bezwzględnej.

Model SDE (stochastyczne równania różniczkowe):

$$c_p \cdot \rho_p \cdot V \cdot \frac{dT_i}{dt} = \Phi_b + \Phi_{zj} + \Phi_v + h_1(T_i) dZ \quad (5)$$

$$V \cdot \rho_p \cdot \frac{dw_i}{dt} = W_z + W_v + h_2(w_i) dZ \quad (6)$$

Występujące we wzorach funkcje  $h_1$  i  $h_2$  wprowadzają niewielki stopień zaburzeń wartości temperatury i wilgotności bezwzględnej powietrza wewnątrz hali dla zwierząt wywoływany czynnikami losowymi.

### **Dane do weryfikacja modeli**

Do zweryfikowania użyteczności przedstawionych modeli kształtowania mikroklimatu w budynkach dla bydła wykorzystałem pomiary wykonane w ramach grantu nr N N313 447939 „System kształtowania mikroklimatu w budynkach dla bydła”. Projekt realizowany był w okresie 28.10.2010 do 27.01.2014. W założeniach przeprowadzonych w ramach projektu badań była charakterystyka zmian mikroklimatu w budynkach dla bydła w ujęciu dobowym.

Badania mikroklimatu realizowane były w dziesięciu wybranych budynkach dla bydła zlokalizowanych na terenie województwa lubelskiego. Wspomniane budynki można podzielić na dwie grupy ze względu na typ konstrukcji:

1. budynki typu halowego, bez poddasza użytkowego, z wolnostanowiskowym utrzymaniem krów mlecznych,
2. budynki z poddaszem użytkowym i stanowiskowym systemem utrzymania zwierząt.

Większość budynków, w których dokonano pomiarów parametrów mikroklimatu stanowią budynki typu halowego, tylko dwa z nich miały poddasze użytkowe. We wszystkich budynkach wentylacja oparta była o ciśnienie grawitacyjne wywołane różną temperaturą powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. Jednak w budynkach zastosowano różne konstrukcje odprowadzania powietrza z hali dla zwierząt. Podstawowe dane o budynkach przedstawiono w tabeli 4-1.

Zakres prowadzonych badań obejmował ciągłe pomiary parametrów mikroklimatu w hali zwierząt oraz klimatu zewnętrznego. Podstawowe parametry uwzględnione w badaniach, mające wpływ na bilans ciepła w budynku, to temperatura i wilgotność powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, wykonano również pomiary prędkości przepływu

powietrza w kanałach wywiewnych, ciśnienia atmosferycznego oraz prędkości i siły wiatru, a dla niektórych budynków zmierzono koncentrację dwutlenku węgla, amoniaku i siarkowodoru. W każdym obiekcie wykonano inwentaryzację budynku i stada. Dla większości budynków pomiary wykonano jednokrotnie, a dla niektórych (Ciemno, Glinnik, Ossowa) pomiary zostały powtórzone w różnych terminach.

Tabela 4-1. Zestawienie podstawowych wymiarów analizowanych budynków inwentarskich

Budynek	Typ	Długość × szerokość $D_B \times S_B$ (m × m)	Powierzchnia hali zwierząt $F_p$ (m <sup>2</sup> )	Kubatura hali zwierząt $V$ (m <sup>3</sup> )	Wentylacja
Ciemno	halowy	36,30 × 23,50	778,20	3 355,65	kalenicowa
Glinnik	z poddaszem użytkowym	32,14 × 12,77	331,50	1 128,30	4 kanały okrągłe $\phi=0,57$ m
Komarów	z poddaszem użytkowym	29,32 × 12,38	287,15	775,30	4 kanały kwadratowe $a=0,7$ m
Olszowiec	halowy	40,00 × 32,00	1 168,35	6 688,00	kalenicowa
Ossowa	halowy	48,56 × 22,60	1 030,40	4 445,00	kalenicowa
Przejaliny	halowy	54,30 × 23,50	1 184,20	4 435,50	kalenicowa
Turów	halowy	51,48 × 23,73	1 101,50	4 752,80	kalenicowa
Żerocin	halowy	27,82 × 14,02	356,40	1 364,58	5 kanałów okrągłych $\phi=0,5$ m
Żeszczynka	halowy	49,00 × 23,00	1 070,00	4 109,00	kalenicowa
Żulice	halowy	36,30 × 23,50	778,20	3 355,65	kalenicowa

W wykonanych badaniach przyjęto założenie, że przedziałem czasowym, w którym wykonywane były pomiary jest jedna doba, ale w większości przypadków pomiary wykonywane były w dłuższym czasie. Podstawową jednostką czasu, w której następował odczyt i automatyczna rejestracja wyników, był okres 300 sekund. Wynikało to z różnych możliwości programowania wszystkich urządzeń rejestrujących.

Pomiary temperatury i wilgotności względnej powietrza w halach dla zwierząt i na zewnątrz wykonano przy pomocy czujników COMARK o zakresie operacyjnym od -40,0 do +70,0°C oraz dokładności dla temperatury 0,1°C, a dla wilgotności względnej 0,5%. Prędkość powietrza w systemach wentylacyjnych mierzono przy użyciu anemometrów AVM-07 (zakres roboczy 0,0-45,0 m·s<sup>-1</sup>, dokładność 3%), natomiast wartości ciśnienia atmosferycznego i prędkości wiatru rejestrowano przy pomocy stacji pogodowej Viking AB 02049 (zakres mierzonego ciśnienia 300÷1100 hPa). Pomiary prędkości przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych rejestrowane były przez urządzenia z częstotliwością 150s. W celu zachowania założonej częstotliwości wszystkich pomiarów oraz minimalizacji

przypadkowych podmuchów powietrza, do analiz przyjmowana była średnia z dwóch pomiarów w każdym przedziale czasowym, równym 300s. Czujniki rejestrujące temperaturę i wilgotność powietrza w hali zwierząt i na zewnątrz rozmieszczane były w kilku różnych punktach umieszczonych na poziomie przebywania zwierząt (na wysokości ok. 1,5m od podłogi), a do analiz przyjmowana była średnia z pomiarów. Badania były wykonane głównie w okresie zimowym, ale dla niektórych budynków także w okresie wiosennym.

### **Analiza dopasowania modeli**

Do oceny poprawności modeli użyłem takich miar błędu jak: maksymalny błąd absolutny ( $AE_m$ ), średni błąd absolutny ( $MAE$ ), średni błąd kwadratowy ( $MSE$ ), błąd średni ( $RMSE$ ), obciążenie ( $BIAS$ ), współczynnik korelacji ( $r$ ) oraz współczynnik determinacji ( $R^2$ ). Podałem również ich interpretację oraz problemy z wykorzystaniem do oceny modelu.

Do porównania znaczenia poszczególnych miar oceny dokładności dopasowania modeli do danych pomiarowych wykonałem wielowymiarową analizę składowych głównych PCA (ang. *Principal Component Analysis*), mającą na celu wybranie najbardziej informacyjnych kryteriów. Metodę tę zastosowałem także do określenia zależności miar dopasowania modeli od takich parametrów jak: kubatura pomieszczenia, wysokość aktywna, liczba dużych jednostek produkcyjnych (DJP) oraz średniej temperatury ( $T_o$ ) i wilgotności powietrza ( $\varphi_o$ ) zewnętrznego otaczającego budynek.

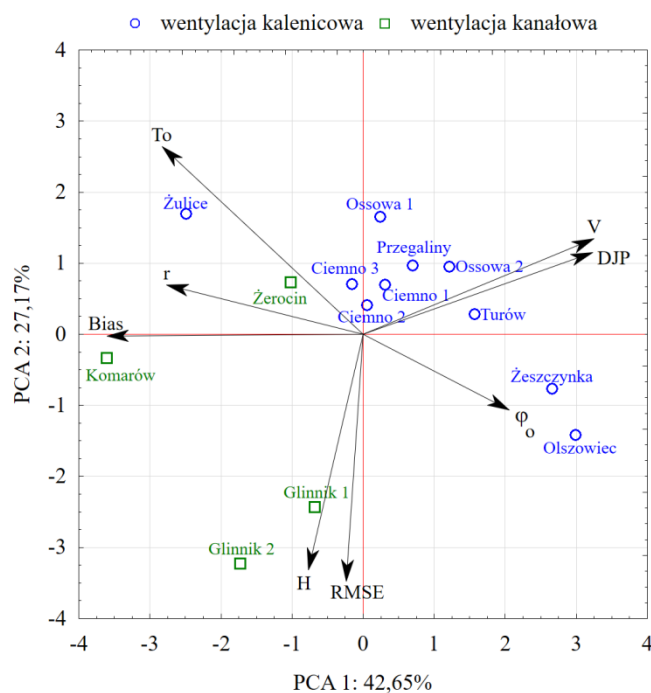
### **4.6. Wyniki badań**

Na podstawie przeprowadzonej analizy zbieżności i stabilności modeli ustaliłem podstawowy krok czasowy, gwarantujący stabilność obliczeń, a jednocześnie nie wydłużający niepotrzebnie czasu obliczeń. Dla większości budynków tym krokiem mogłoby być 300s, jednak ze względu na wyniki dla budynku w Komarowie, przyjąłem jako podstawowy odstęp 120s.

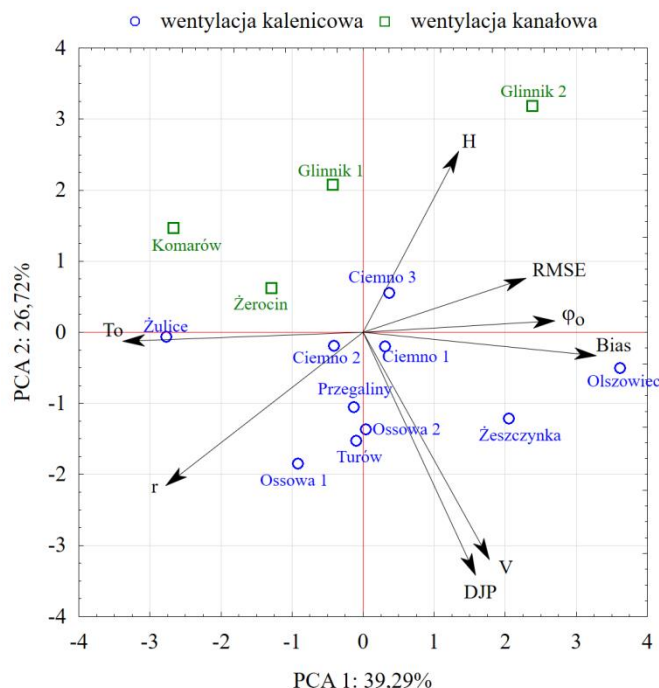
Ze względu na liczne miary oceny dopasowania modeli do rzeczywistych pomiarów przeprowadziłem analizę składowych głównych, służącą do redukcji wymiaru zmiennych objaśniających, w rozważanym wypadku liczby wskaźników jakości dopasowania. Dla obu parametrów mikroklimatu, tj. temperatury i wilgotności względnej, dwie pierwsze składowe główne wyjaśniają w dużym stopniu zmienność występującą w danych (odpowiednio 88,4% i 83,9% całkowitej zmienności zbioru danych). Wyróżniłem 3 grupy wskaźników o podobnym charakterze informacyjnym. Pierwszą grupę stanowią: maksymalny błąd absolutny  $AE_m$ , średni błąd absolutny  $MAE$ , średni błąd kwadratowy  $MSE$  oraz średni błąd  $RMSE$ , które informują o średniej odległości oszacowania od wartości zaobserwowanej.

W skład drugiej grupy wchodzi współczynniki korelacji  $r$  i determinacji  $R^2$  opisujące wzajemne zachowanie obserwowanej i oszacowanej wartości. Do trzeciej grupy należy zaliczyć obciążenie  $Bias$  mówiące o tendencji w zaniżaniu lub zawyżaniu oszacowania. Wskaźnik charakteryzuje się różną korelacją z tymi przypisanymi do dwóch pierwszych grup. W odniesieniu do temperatury powietrza, jego zastosowanie podobne jest do grupy drugiej, a w przypadku wilgotności – do grupy pierwszej. Dodatkowo uzyskano bardzo dużą korelację wskaźników w poszczególnych grupach, do dalszych analiz można wybrać po jednym reprezentatywnym wskaźniku z każdej grupy. Z tego powodu do analiz związanych z oceną jakości dopasowania modeli wybrałem wskaźniki:  $RMSE$ ,  $r$  i  $Bias$ .

Wskazane wskaźniki użyte zostały do kolejnej analizy PCA, której zadaniem była ocena wpływu parametrów budynku (kubatura pomieszczenia dla zwierząt  $V$ , wysokość aktywna  $H$ ), wielkości obsady zwierząt ( $DJP$ ) oraz parametrów klimatu zewnętrznego (temperatura  $T_o$  i wilgotność względna oznaczona jako  $\phi_o$ ). Na rysunkach 1 i 2 przedstawiłem korelację dwóch najważniejszych składowych głównych, uzyskanych z analizy PCA, z wymienionymi wielkościami charakteryzującymi najważniejsze informacje o budynkach, obsadzie, czy o klimacie zewnętrznym. Wykresy sporządzone są odpowiednio dla temperatury i wilgotności względnej powietrza w hali zwierząt. Dla obu parametrów mikroklimatu współczynnik korelacji  $r$  dla modelu jest powiązany z temperaturą zewnętrzną.



Rys. 1. Wpływ parametrów budynku na dopasowania modelu deterministycznego dla temperatury powietrza (analiza PCA)



Rys. 2. Wpływ parametrów budynku na dopasowania modelu deterministycznego dla wilgotności względnej powietrza (analiza PCA)

W przypadku modelu deterministycznego wykorzystującego równania różniczkowe (1) i (2) średnie błędy między oszacowanymi i pomierzonymi wynikami otrzymywane dla temperatury, wahały się w granicach od  $1,1^{\circ}\text{C}$  do  $5,23^{\circ}\text{C}$  (dla błędu  $MAE$ ) i od  $1,45^{\circ}\text{C}$  do  $5,81^{\circ}\text{C}$  (dla błędu  $RMSE$ ). Średnie wartości tych błędów dla wszystkich budynków wyniosły odpowiednio  $2,38^{\circ}\text{C}$  i  $2,89^{\circ}\text{C}$ . Najlepsze dopasowania uzyskałem dla budynków zlokalizowanych w miejscowościach: Ciemno ( $MAE$  od  $1,1^{\circ}\text{C}$  do  $1,96^{\circ}\text{C}$ ;  $RMSE$  od  $1,45^{\circ}\text{C}$  do  $2,26^{\circ}\text{C}$ ), Przegaliny ( $MAE$   $1,39^{\circ}\text{C}$ ;  $RMSE$   $1,75^{\circ}\text{C}$ ), Ossowa ( $MAE$  od  $1,41^{\circ}\text{C}$  do  $1,48^{\circ}\text{C}$ ;  $RMSE$  od  $1,83^{\circ}\text{C}$  do  $1,88^{\circ}\text{C}$ ), Żerocin ( $MAE$   $1,65^{\circ}\text{C}$ ;  $RMSE$   $2,08^{\circ}\text{C}$ ) i Żulice ( $MAE$   $1,81^{\circ}\text{C}$ ;  $RMSE$   $2,19^{\circ}\text{C}$ ). Największe wartości tych błędów uzyskałem dla budynku w Glinniku ( $MAE$  od  $3,05^{\circ}\text{C}$  do  $5,23^{\circ}\text{C}$ ;  $RMSE$  od  $3,57^{\circ}\text{C}$  do  $5,81^{\circ}\text{C}$ ). Błąd dla pojedynczego punktu pomiarowego  $AE_m$  wahał się w zakresie  $3,54^{\circ}\text{C}$  do  $10,41^{\circ}\text{C}$  (średnio  $6,09^{\circ}\text{C}$ ). Najmniejszy uzyskałem dla budynku w Przegalinach Dużych, a najgorszy w Żeszczynie. Otrzymane wartości obciążenia  $Bias$ , określającego systematyczność zaniżania lub zawyżania oszacowań, wahały się w granicach od  $-3,2^{\circ}\text{C}$  do  $1,52^{\circ}\text{C}$ , średnio  $-0,71^{\circ}\text{C}$  dla wszystkich budynków. Najlepsze dopasowanie osiągnięto w tym przypadku dla budynków w Ossowie (2 termin badań;  $-0,05^{\circ}\text{C}$ ), Glinniku (termin 1;  $-0,23^{\circ}\text{C}$ ) oraz Ciemnie (termin 3 i 2; odpowiednio  $-0,34^{\circ}\text{C}$  i  $-0,41^{\circ}\text{C}$ ), a najgorsze w Olszowcu ( $-3,2^{\circ}\text{C}$ ), Turowie ( $-2,99^{\circ}\text{C}$ ) i Żeszczynie ( $-2,6^{\circ}\text{C}$ ). Wartości współczynnika korelacji  $r$  znajdowały się w granicach od 0,27 do 0,97 (średnio 0,67). Najlepsze dopasowanie uzyskałem dla budynków w Żulicach

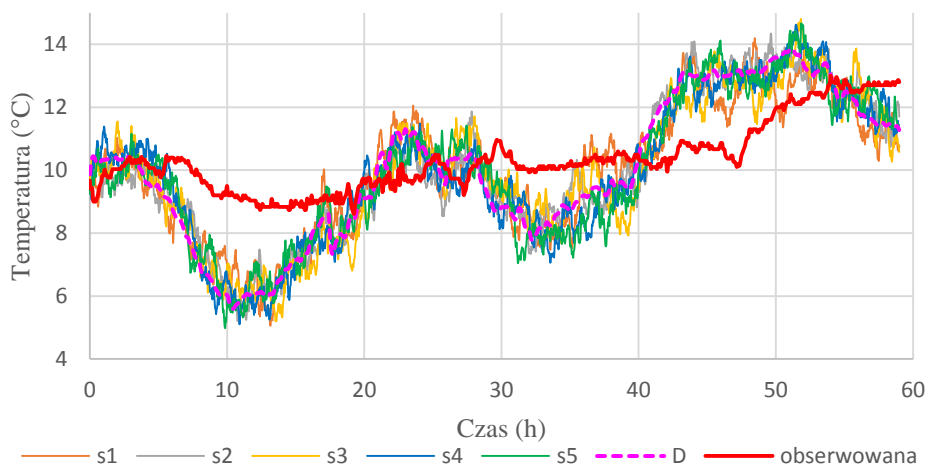


(0,97), Komarowie (0,9), Ossowie (termin 1; 0,87) i Glinniku (termin 2; 0,88), a najgorsze w Żeszczynce (0,27). Wartości współczynnika determinacji  $R^2$  były w zakresie od 0,05 do 0,79. Najlepsze dopasowanie według tej miary uzyskałem dla budynków w Żulicach (0,79) i Ossowie (termin 1; 0,66), a najgorsze dla Żeszczynki (0,05) i Olszowca (0,09).

Średnie błędy uzyskane przy pomocy modelu deterministycznego dla wilgotności względnej powietrza wahały się w granicach od 2,46 p.p. do 16,4 p.p. (dla błędu  $MAE$ ) i od 5 p.p. do 18,54 p.p. (dla błędu  $RMSE$ ). Należy tu mieć na uwadze, że podane miary  $MAE$  i  $RMSE$  nie są wyrażone w jednostkach wilgotności względnej (%), lecz w odniesieniu do maksymalnej wilgotności powietrza w warunkach nasyconych, czyli w punktach procentowych (p.p.). Średnie wartości tych błędów wynosiły 8,74 p.p. (dla  $MAE$ ) i 10,30 p.p. (dla  $RMSE$ ). Najlepsze dopasowanie uzyskałem przy modelowaniu mikroklimatu w Glinniku (termin 1;  $MAE$  2,48 p.p.;  $RMSE$  5,02 p.p.), Turowie ( $MAE$  4,08 p.p.;  $RMSE$  5,04 p.p.) i Żerocinie ( $MAE$  4,77 p.p.;  $RMSE$  5,89 p.p.), a najgorsze w Żeszczynce ( $MAE$  16,4 p.p.;  $RMSE$  17,7 p.p.), Glinniku (termin 2;  $MAE$  15,62 p.p.,  $RMSE$  18,54 p.p.) i Olszowcu ( $MAE$  14,64 p.p.;  $RMSE$  16,14 p.p.). Maksymalny błąd absolutny  $AE_m$  dla pojedynczego pomiaru wahał się w granicach od 13,7 p.p. do 38 p.p.. Najmniejszy błąd uzyskałem dla budynku w Żerocinie, a największy w Glinniku (termin 2). Wartości współczynnika obciążenia  $Bias$  mieściły się w zakresie od -11,71 p.p. do 16,4 p.p., co dla wszystkich budynków daje średnią 4,17 p.p. Najlepsze dopasowanie uzyskałem dla budynków w miejscowościach: Komarów (0,06 p.p.), Ciemno (termin 3; 1,47 p.p.) oraz Glinnik (termin 1; -1,84 p.p.). Najbardziej systematycznie zawyżane wartości wilgotności względnej były w przypadku danych z Żeszczynki (16,4 p.p.) i Olszowca (14,64 p.p.), a zaniżane dla Żulic (-11,71 p.p.). Wartości współczynnika korelacji  $r$  dla wilgotności względnej mieściły się w granicach od -0,63 do 0,93 (średnia dla wszystkich budynków wyniosła 0,46). Najlepsze dopasowanie uzyskałem dla budynków w miejscowościach: Żulice (0,93), Ossowa (termin 1; 0,92), Komarów (0,88), Ciemno (termin 1; 0,77) i Turów (0,76), natomiast najgorzej w Glinniku (termin 2; -0,63). Wartości współczynnika determinacji  $R^2$  były z zakresu od -2,36 do 0,79. Najlepsze dopasowanie według tego wskaźnika otrzymałem dla budynków w Ossowie (termin 1; 0,79) i Komarowie (0,88), natomiast najgorsze dla Ciemna (termin 3; -2,36) i Glinnika (termin 2; -1,1).

W przypadku modelu deterministycznego za każdym razem otrzymywane są takie same wyniki. Za pomocą modeli stochastycznych za każdym razem wyznaczane otrzymywane są inne przebiegi temperatury i wilgotności powietrza. Wynika to z faktu, że dodawane są w nich elementy losowe. Są one różne za każdym razem, chociaż zmienność ta ze względu

na przyjęte zakresy zaburzeń nie jest duża. Na wykresie 3 przedstawiono 5 pierwszych przykładowych przebiegów zmian temperatury powietrza wewnętrznego oszacowane według modelu opartego o stochastyczne równania różniczkowe (SDE). Powtórzenia otrzymałem przy zastosowaniu maksymalnego zaburzenia temperatury powietrza rzędu  $1^{\circ}\text{C}$  i maksymalnej zmiany wilgotności względnej rzędu 1 p.p. na pomiar.



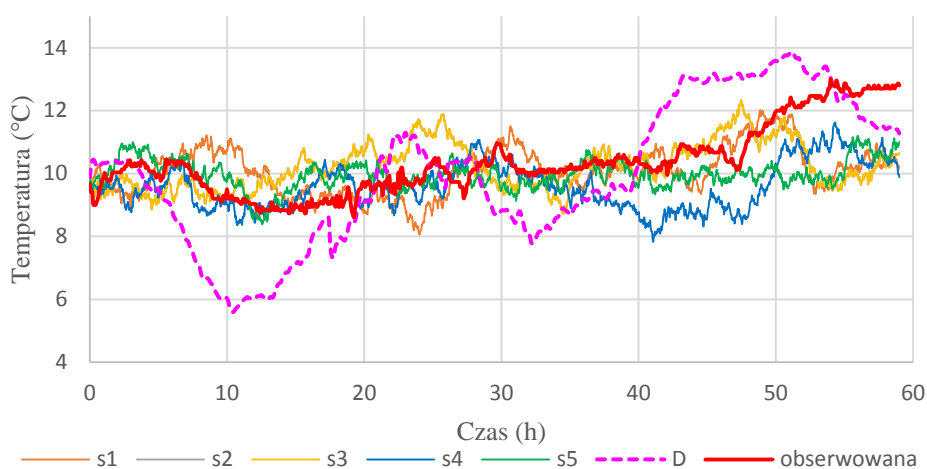
Rys. 3. Porównanie różnych przebiegów temperatury wewnętrznej oszacowanych modelem SDE w odniesieniu do modelu deterministycznego i rzeczywistych pomiarów (przy zaburzeniu  $1^{\circ}\text{C}$  i 1p.p. RH, Ciemno 3)

Wartości miar dopasowania dla modelu SDE oscylują wokół wartości uzyskanych dla modelu deterministycznego. Rozpiętość zakresu tych oscylacji dla błędu *RMSE* dla temperatury wewnątrz budynku waha się w granicach od  $0,067^{\circ}\text{C}$  do  $0,68^{\circ}\text{C}$  (średnia dla wszystkich budynków wyniosła  $0,27^{\circ}\text{C}$ ). Najmniejsza rozpiętość występuje w przypadku budynku w Ossowie ( $0,067^{\circ}\text{C}$  i  $0,073^{\circ}\text{C}$  odpowiednio dla pierwszego i drugiego terminu badań), a największa w Ciemnie (termin 1;  $0,68^{\circ}\text{C}$ ) i Olszowcu ( $0,57^{\circ}\text{C}$ ). Dla współczynnika obciążenia *Bias* uzyskałem podobną długość zakresu uzyskiwanych wartości wahań tj. od  $0,07^{\circ}\text{C}$  do  $0,72^{\circ}\text{C}$  (średnio  $0,26^{\circ}\text{C}$ ). Najmniejsze różnice uzyskałem także dla budynków w Ossowie ( $0,070^{\circ}\text{C}$  i  $0,079^{\circ}\text{C}$ , odpowiednio dla 1. i 2. terminu badań) i Komarowie ( $0,082^{\circ}\text{C}$ ), a największe wahania wystąpiły w przypadku danych w Olszowcu ( $0,72^{\circ}\text{C}$ ) i Ciemna (termin 1;  $0,49^{\circ}\text{C}$ ). Dla współczynnika korelacji *r* długości uzyskanych przedziałów zmian mieszczą się w zakresie od 0,007 do 0,163 (średnio 0,064). Najmniejszą zmienność wartości uzyskałem dla budynków w Glinniku (termin 2; 0,007) i Komarowie (0,008), natomiast największą dla budynków w Ciemnie (termin 1; 0,163) i Olszowcu (0,159). Podobna sytuacja występuje w przypadku wilgotności względnej powietrza. Wartości współczynników dopasowania uzyskiwane z modelu SDE w poszczególnych powtórzeniach również wahały się dookoła wartości otrzymanych z modelu deterministycznego. Dla błędu *RMSE* uzyskane wartości oscylacji mieściły się w przedziale o długości od 0,33 p.p.



do 2,5 p.p. (względem wilgotności w stanie nasycenia). Średnio dla wszystkich budynków dało to 1 p.p. Najmniejsze różnice w uzyskiwanych wartościach otrzymałem dla budynków w Ossowie (termin 1; 0,328 p.p.), Komarowie (0,36 p.p.) i Olszowcu (0,36 p.p.), a największe dla budynków w Przegalinach Dużych (2,50 p.p.) i Turowie (1,74 p.p.). Dla wskaźnika obciążenia *Bias* zmienność uzyskiwanych fluktuacji również mieściła się w podobnych zakresach od 0,34 p.p. do 2,45 p.p. (średnio 1,01 p.p.). Najmniejsze różnice w uzyskiwanych wartościach otrzymałem dla budynków w Olszowcu (0,34 p.p.), Komarowie (0,37 p.p.) i Ossowie (termin 1; 0,38 p.p.), a największe dla budynków w Przegalinach Dużych (2,45 p.p.) i Turowie (1,7 p.p.). Rozpiętość oscylacji wartości współczynnika korelacji wahała się w zakresie od 0,008 do 0,29 (średnio 0,16). Najmniejsza zmienność była w przypadku budynków w Ossowie (termin 1; 0,008) i Komarowie (0,011), a największa w Olszowcu (0,291), Ciemnie (termin 1 i 3; 0,28 i 0,27) i Żerocinie (0,28).

Podobnie jak w przypadku modelu SDE, model TS również za każdym razem generuje różne oszacowania. Na wykresie 4 przedstawiłem 5 pierwszych przykładowych przebiegów zmian temperatury powietrza wewnętrznego, oszacowane według modelu opartego o szeregi czasowe (TS), uzyskane dla tych samych danych i zakładając taki sam poziom losowości.



Rys. 4. Porównanie różnych przebiegów temperatury wewnętrznej oszacowanych modelem TS w odniesieniu do modelu deterministycznego i rzeczywistych pomiarów (przy zaburzeniu 1°C i 1 p.p. RH, Ciemno 3)

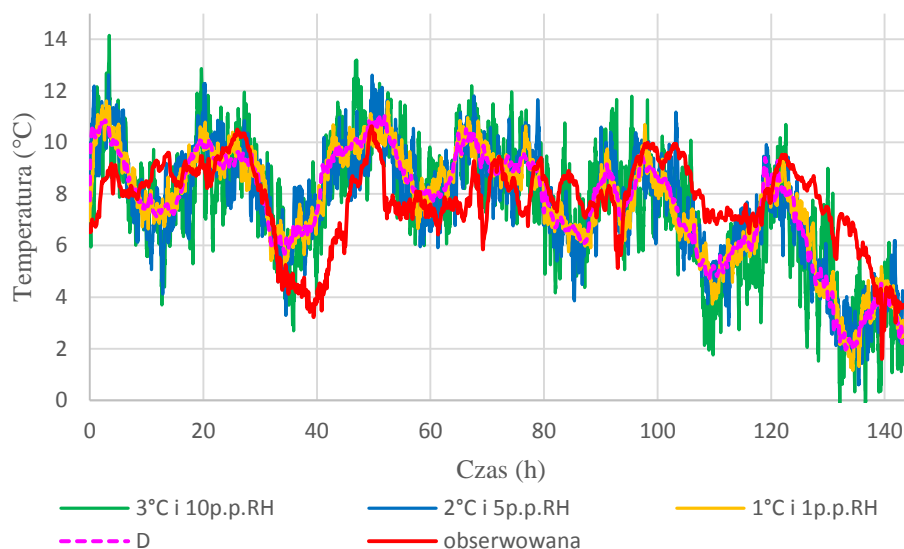
Dla niektórych budynków uzyskałem dużo lepsze wartości współczynników dopasowania, niż dla modelu deterministycznego i SDE. Przykładem są tutaj wartości otrzymane dla błędu *RMSE* przy szacowaniu temperatury powietrza dla budynków zlokalizowanych w miejscowościach: Ciemno (termin 2; uzyskany zakres zmienności od 0,9°C do 1,3°C w porównaniu z przedziałem od 2,2°C do 2,4°C dla modelu SDE), Glinnik (termin 2; od 0,8°C do 1,6°C, a dla SDE 5,6°C do 5,8°C) czy Żeszczynce (od 1,7°C do 2,8°C, a dla SDE 4,1°C do 4,3°C), a także w innych przypadkach. Niestety nie zawsze

zmniejszenie wartości błędu *RMSE* wiązało się z poprawą pozostałych współczynników dopasowania, np. dla budynku w Turowie współczynnik korelacji *r* wahał się w granicach od  $-0,67^{\circ}\text{C}$  do  $0,82^{\circ}\text{C}$  w porównaniu z przedziałem  $0,71^{\circ}\text{C}$  do  $0,77^{\circ}\text{C}$  dla modelu SDE. W przypadku budynku w Ossowie (termin 1) zaobserwowałem także znaczne wahania obciążenia *Bias* od  $-22^{\circ}\text{C}$  do  $20^{\circ}\text{C}$ , co świadczy o problemach z ustaleniem odpowiednich współczynników regresyjnych i złym oszacowaniu wartości temperatury wewnętrznej. Biorąc pod uwagę wszystkie 3 wskaźniki dopasowania (*RMSE*, *Bias* i *r*), w przypadku temperatury powietrza, poprawę jakości dopasowania dla wyników z modelu TS zaobserwowałem dla budynków w: Glinniku (termin 2), Komarowie, Olszowcu, Przegalinach, Żerocinie, Żeszczynce i Żulicach. Rozpatrując drugi parametr mikroklimatu, a mianowicie wilgotność względną, stwierdziłem, że stosowanie modeli wykorzystujących szeregi czasowe powoduje spadek jakości dopasowania oszacowanych wyników do danych pomiarowych. W niektórych przypadkach, jak np. dla Ossowy (termin1) wartość błędu *RMSE* wahała się nawet w zakresie od 35,2 p.p. do 50,7 p.p. (w porównaniu, dla SDE otrzymałem przedział od 6,6 p.p. do 6,9 p.p.), *Bias* od -49 p.p. do 17,4 p.p. (dla SDE 3,3 p.p. do 3,7 p.p.), a współczynnik *r* od -0,08 do 0,62 (dla SDE 0,9 do 0,91). W przypadku innych budynków różnice nie były już tak drastyczne, ale także pojawiały się sporadyczne przypadki, gdy otrzymywałem przebiegi znacząco odbiegające od rzeczywistych. Jedynie w przypadku budynków w Glinniku (termin 2) i Żeszczynce, biorąc pod uwagę wszystkie współczynniki dopasowania, można mówić o stabilności rozwiązania metodą TS. Otrzymane wyniki świadczą o dużych problemach z jednoczesnym modelowaniem temperatury i wilgotności względnej powietrza z wykorzystaniem modeli TS.

W przypadku wykorzystywania stochastycznych równań różniczkowych zakłada się, że wielkość losowego błędzenia procesu jest mała w stosunku do głównego trendu wynikającego z zależności deterministycznych. Dlatego w przeprowadzonych symulacjach, mających na celu zbadanie wpływu wielkości losowych zaburzeń na jakość otrzymywanych oszacowań parametrów mikroklimatu przyjąłem, że chwilowe zaburzenie pomiaru temperatury wahało się w zakresie od  $1^{\circ}\text{C}$  do  $3^{\circ}\text{C}$ , natomiast dla wilgotności względnej powietrza przyjęto zaburzenie na poziomie 1 p.p., 5 p.p. i 10 p.p., w odniesieniu do maksymalnego nasycenia powietrza, przy oszacowanej temperaturze pomieszczenia. Ze względu na fakt, że w bilansie wilgotnościowym rozważana jest wilgotność absolutna masowa, zaburzenie odpowiednio przeliczałem.

Do prezentacji wyników przyjąłem trzy poziomy zaburzeń: niski ( $1^{\circ}\text{C}$  i 1 p.p. wilgotności względnej), średni ( $2^{\circ}\text{C}$  i 5 p.p.) oraz wysoki ( $3^{\circ}\text{C}$  i 10 p.p.). Na wykresie 5

przedstawiłem przykładowe wyniki symulacji, otrzymane dla temperatury powietrza wewnętrznego, przy różnych poziomach zaburzeń dla jednego przykładowego budynku w okresie zimowym (Ossowa, 20-26.01.2012).

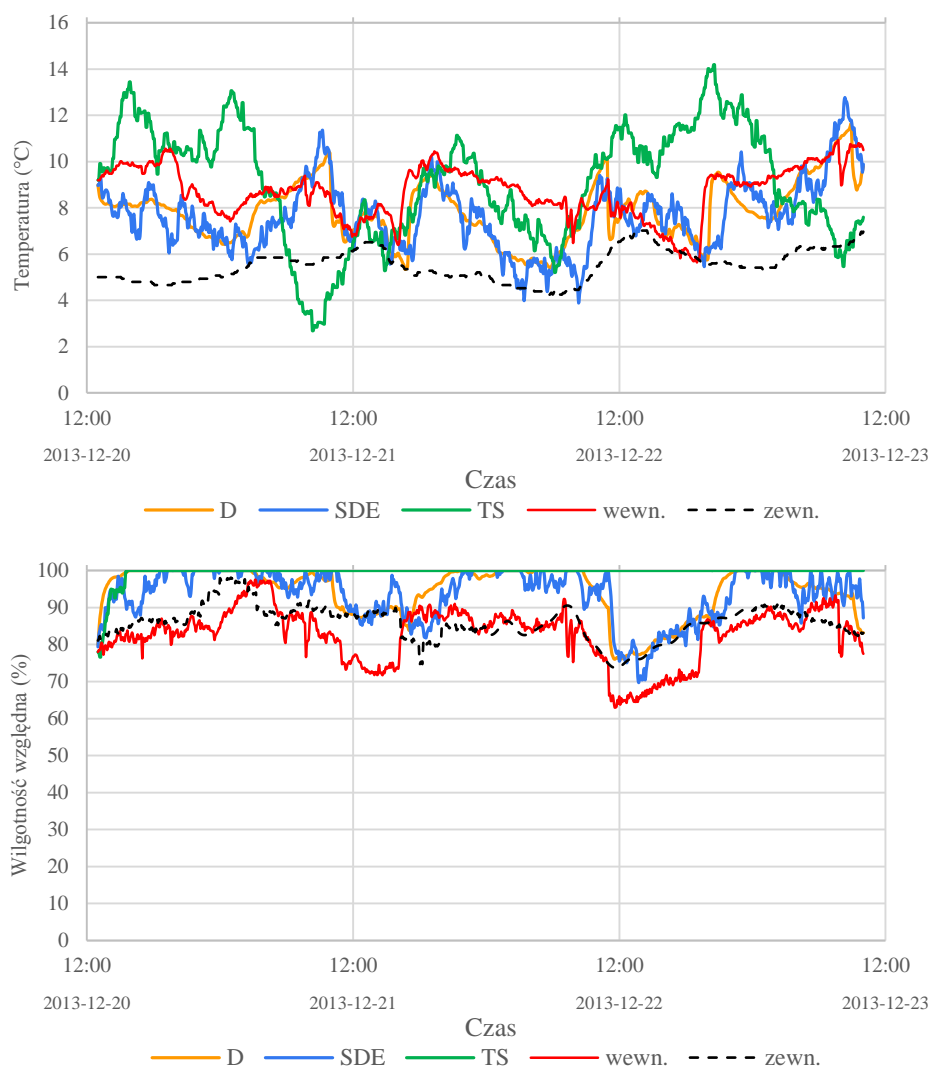


Rys. 5. Porównanie zmian temperatury w hali zwierząt otrzymanych za pomocą modelu SDE przy różnym poziomie zaburzeń losowych (przykład dla Ossowy, termin 2)

W przypadku modelu TS przy większych wartościach losowych zaburzeń coraz bardziej uwypukla się znaczenie dobrego oszacowania współczynników regresyjnych występujących w modelu. Więcej wtedy jest sytuacji, gdy oszacowane wartości znacząco odbiegają od rzeczywistych wartości pomiarowych. Dotyczy to szczególnie budynków zlokalizowanych w miejscowościach Ciemno (okres 1), Ossowa (okres 1) i Turów. Dla najwyższego przyjętego poziomu zaburzeń (3°C i 10 p.p. wilgotności względnej) wskaźniki oszacowania wskazują na znaczące wahania w porównaniu z tymi, otrzymanymi dla modelu wykorzystującego stochastyczne równania różniczkowe. Wśród otrzymanych przebiegów zmian parametrów mikroklimatu można znaleźć takie, które lepiej przybliżają pomiary rzeczywiste, jak również takie, które całkowicie są od nich odmienne.

Biorąc pod uwagę modelowanie temperatury oraz wilgotności względnej powietrza, lepsze wyniki uzyskałem dla temperatury, jednak przypomnieć należy, że za pomocą przyjętego modelu (wzór 4) opisywana jest wilgotność absolutna masowa, a nie względna. W przypadku temperatury, biorąc pod uwagę błąd *RMSE* i obciążenie *Bias*, model TS zachowuje się stabilnie w przypadku budynków w miejscowościach: Ciemno (termin 2), Glinnik (termin 1 i 2), Komarów, Olszowiec, Przegaliny, Żerocin i Żulice. Dla wilgotności względnej, o zachowaniu stabilności można powiedzieć w przypadku danych z Glinnika (termin 1 i 2), Przegalin i Żulic. Niestety współczynnik korelacji *r* nie zawsze odzwierciedla podobny kształt krzywych opisujących rzeczywiste pomiary.

Porównawcze przebiegi zmian zarówno dla temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, wyznaczone wszystkimi trzema modelami matematycznymi, przedstawiłem na rysunku 6. Oszacowania uzyskane zostały dla pierwszego z rozważanych budynków (Ciemno, termin badań 1). Dla modeli stochastycznych zastosowałem niewielkie zaburzenia (rzędu 1°C i 1 p.p. RH na pomiar). Na wykresach przedstawiono też, dla porównania, rzeczywiste pomierzone wartości parametrów mikroklimatu, zarówno dla powietrza wewnątrz hali zwierząt i na zewnątrz budynku. Dla modeli uwzględniających losowe zaburzenia, dla lepszej czytelności wykresów, zaprezentowałem po jednym przykładowym przebiegu zmian parametrów mikroklimatu.



Rys. 6. Pomierzone i oszacowane wartości parametrów mikroklimatu dla budynku w miejscowości Ciemno (termin 1)

W tabeli 4-2 zestawiałem uzyskane wartości miar oceny modeli SDE i TS przy różnych poziomach losowych zaburzeń uzyskanych z 10-krotnego powtórzenia symulacji dla tego samego budynku. Można w niej zaobserwować zdecydowanie słabsze odtwarzanie

rzeczywistego przebiegu procesu przez model TS, co uwypukla się jeszcze bardziej przy zwiększającym się poziomie zaburzeń.

Tabela 4-2. Ocena wpływu poziomu zaburzeń w modelach TS i SDE na szacowanie temperatury i wilgotności względnej powietrza w hali zwierząt w budynku w miejscowości Ciemno (termin 1)

Parametr	Zaburzenie (°C i p.p.RH)	Model SDE			Model TS		
		RMSE (°C)	Bias (°C)	r (-)	RMSE (°C)	Bias (°C)	r (-)
Temperatura	1,0 i 1	1,4-2,1	-1--0,5	0,44-0,6	1,7-3,5	-1,1-1,7	-0,19-0,01
	2,0 i 5	1,6-2	-1,2--0,8	0,23-0,47	3,5-18,5	-6,1-14,1	0,15-0,35
	3,0 i 10	2-2,3	-1,1--0,6	0,22-0,43	4,6-27,4	-18,3-25,9	-0,29-0,21
Parametr	Zaburzenie (°C i p.p.RH)	RMSE (p.p.)	Bias (p.p.)	r (-)	RMSE (p.p.)	Bias (p.p.)	r (-)
Wilgotność względna	1,0 i 1	11,3-12,6	9,9-11,2	0,43-0,7	17,5-18,9	8,2-14,3	-0,28-0,06
	2,0 i 5	11-12,8	8-10,9	0,38-0,67	17,2-22,9	6,7-16,5	-0,35-0,15
	3,0 i 10	12-14,3	7,9-10,3	0,09-0,47	18-57	-51,1-16,3	-0,31-0,39

#### 4.7. Podsumowanie i wnioski

Podstawą kształtowania mikroklimatu w budynku inwentarskim są modele deterministyczne opisujące fizyczne zależności występujące pomiędzy poszczególnymi elementami wchodzącymi w skład systemu. Złe oszacowania podstawowych elementów składowych całego systemu wpływają na złe oceny wartości parametrów mikroklimatu. Widać to na przykładzie uzyskanych danych pomiarowych. Dla niektórych przypadków łatwo zauważyć np. stałe zaniżanie temperatury powietrza w hali dla zwierząt. Dodatkowo można zaobserwować duże oddziaływania klimatu zewnętrznego na mikroklimat w pomieszczeniu. Jak wskazują pomiary, zmiany parametrów mikroklimatu nie są aż tak bardzo powiązane ze zmianami warunków zewnętrznych. Wskazuje to na nieuwzględnienie pewnych składowych bilansu cieplnego w budynku.

Oprócz modelu deterministycznego, uwzględniającego zależności oparte na ogólnie znanych prawach fizycznych, zaprezentowałem także podejście stochastyczne, które umożliwia wprowadzenie do analizy dodatkowych czynników, które wynikają z losowego charakteru modelowanego procesu, jak również oddają pewien poziom niepewności pomiarów oraz innych zaburzeń losowych.

Przeprowadzona analiza wykorzystania opisanych modeli zmian mikroklimatu pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

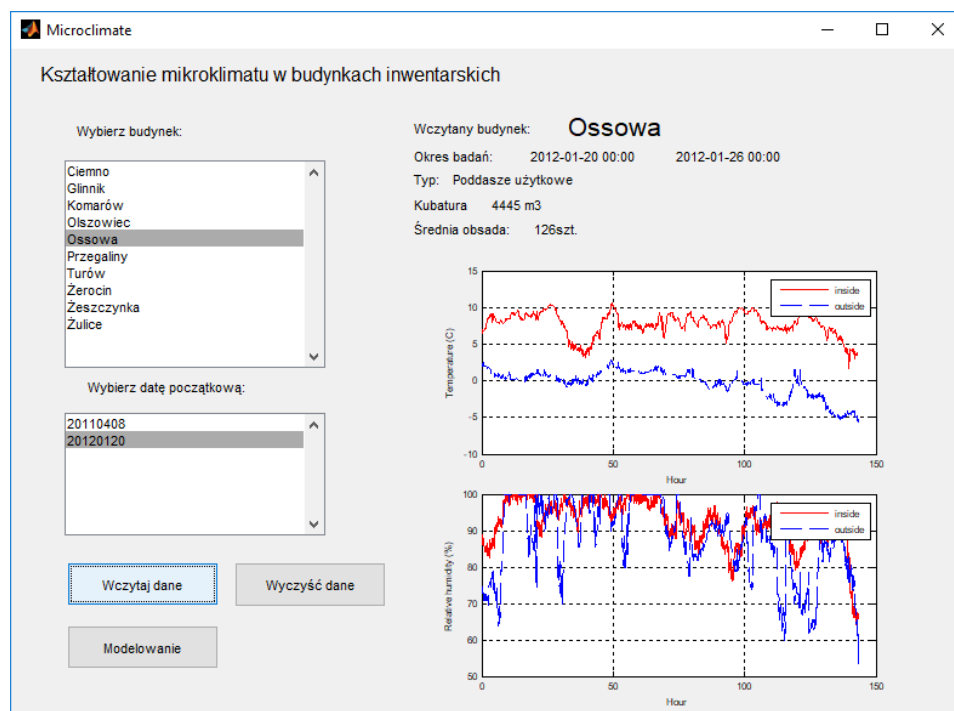
1. Przedstawione modele mogą być bardzo przydatne przy weryfikacji kształtowania mikroklimatu w budynkach inwentarskich, zarówno ze względu na wymiarowanie budynków, jak również prognozowanie zmian mikroklimatu. Modele te pozwalają na oddanie dynamicznego charakteru zachodzących zmian warunków w pomieszczeniach dla zwierząt.

2. Na podstawie uzyskanych wyników dla modelu deterministycznego można wnioskować, że zastosowany uproszczony model wymaga dopracowania i uwzględnienia dodatkowych elementów, jak np. akumulacja ciepła przez przegrody.
3. Wykorzystanie narzędzi komputerowych pozwala na efektywne wspomaganie analizy zmian mikroklimatu w budynkach.
4. Modele wykorzystujące równania różniczkowe (D i SDE) są stabilne numerycznie. Optymalnym czasem pomiędzy kolejnymi punktami, w których wyznaczane są wartości parametrów okazuje się 120s.
5. Wprowadzenie zaburzeń losowych za pomocą stochastycznych równań różniczkowych (SDE) nie powodowało odbiegania wyników od modelu deterministycznego. Zwiększanie poziomu zaburzeń powodowało jedynie większe wahania otrzymanych wartości mikroklimatu dookoła głównego trendu. Z tego powodu zaburzenia nie mogą być zbyt duże.
6. Dla niektórych budynków model TS nie pozwolił na poprawne odtworzenie zmian parametrów mikroklimatu i wtedy użyteczność prognozy była jedynie na krótkim odcinku czasowym. Stosowanie modelu TS jest użyteczne w przypadku właściwego odzwierciedlenia zachodzących procesów przez model deterministyczny.
7. Najlepsze dopasowanie modelu TS uzyskiwałem dla modeli ARIMAX(1,0,0) lub ARIMAX(2,0,0).
8. Modele stochastyczne nie poprawią jakości modelu deterministycznego, jeśli jest on źle określony. Podstawą poprawnego modelowania mikroklimatu jest zatem wiarygodny model deterministyczny.
9. Lepsze dopasowanie modeli do danych rzeczywistych uzyskałem w przypadku szacowania temperatury, niż w przypadku wilgotności powietrza wewnątrz budynku.
10. Wśród miar oceny dopasowania modeli wyróżnione zostały 3 grupy o podobnym charakterze. Pierwszą grupę stanowią: maksymalny błąd absolutny  $AE_m$ , średni błąd absolutny  $MAE$ , średni błąd kwadratowy  $MSE$  oraz średni błąd  $RMSE$ , które informują o średniej odległości oszacowania od wartości zaobserwowanej. W skład drugiej grupy wchodzi współczynniki korelacji  $r$  i determinacji  $R^2$  opisujące wzajemne zachowanie obserwowanej i oszacowanej wartości. Do trzeciej grupy należy zaliczyć obciążenie *Bias*.

#### 4.8. Omówienie praktycznej przydatności wyników osiągnięcia naukowego

Zaproponowane przeze mnie narzędzia mogą posłużyć do analizy zmian mikroklimatu w hali zwierząt. Mogą one być wykorzystane zarówno na etapie wymiarowania budynku, ustalania właściwości termoizolacyjnych przegród zewnętrznych budynku, jaki i określania właściwej obsady zwierząt. Innym aspektem jest wykorzystanie wskazanych modeli matematycznych deterministycznych i stochastycznych do prognozowania warunków w hali dla zwierząt przy zapowiadanych gwałtownych zmian pogody. Dzięki określeniu kierunku prognozowanych zmian możliwe jest wcześniejsze zapobieganie wystąpienia niekorzystnych dla zwierząt warunków poprzez sterowanie ilością powietrza wentylacyjnego. Modele stochastyczne umożliwiły wprowadzenie elementów losowych oddających możliwość występowania zaburzeń pogodowych.

Dodatkowo opracowałem aplikację komputerową, która może posłużyć do symulacji mikroklimatu przy zadanych parametrach klimatu zewnętrznego, obsady zwierząt, wymiarów budynku oraz wielkości otworów nawiewnych i wywiewnych. Na rysunku 7 zaprezentowałem wygląd głównego okna aplikacji, natomiast na rysunku 8 przedstawiłem okno służące do wyboru modelu do symulacji mikroklimatu w budynku dla zwierząt. Program ma budowę modułową i poprzez definicje odpowiednich funkcji istnieje możliwość modyfikacji równań bilansu cieplnego i wilgotnościowego, jak również adaptacja dla innych gatunków zwierząt.



Rys. 7. Główne okno aplikacji kształtowania mikroklimatu



Rys. 8. Formularz wyboru modeli wyznaczania parametrów mikroklimatu

#### 4.9. Literatura źródłowa

- Albińska, E. (2014). Przemysłowy chów zwierząt ma znaczący wpływ na klimat, *Chrońmy klimat*, Online: <http://www.chronmyklimat.pl/wideo/zielona-gospodarka/przemyslowy-chow-zwierzat-ma-znaczący-wplyw-na-klimat>. Dostęp 10.10.2018.
- ASHRAE Handbook Fundamentals (2013). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Ashrae.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden-Day, San Francisco, CA.
- Burda K. (2018). Mięso jest dla Ziemi gorsze niż samochody i dymiące fabryki. *Newsweek*. Online: <https://www.newsweek.pl/wiedza/nauka/mieso-jest-dla-ziemi-gorsze-niz-samochody-i-dymiace-fabryki/g5mqxlj>. Dostęp 10.10.2018.
- CIGR (1984). *Climatization of animal houses*. Commission Internationale du Génie Rural. Report of Working Group. Scottaspress Publishers Limited, Aberdeen.
- CIGR (1992). *Climatization of animal houses*. Commission Internationale du Génie Rural. 2<sup>nd</sup> Report of Working Group. Centre for Climatization of Animal Houses, State Univeristy of Ghent.
- CIGR (1999). *Handbook of Agricultural Engineering. Animal Production & Aquacultural Engineering*. Edited by CIGR – The International Commission of Agricultural Engineering.
- CIGR (2002). *Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels*. Commission Internationale du Génie Rural. 4<sup>th</sup> Report of Working Group. Research Centre Bygholm, Horsens (Denmark).
- CIGR (2014). *The design of dairy cow and replacement heifer housing*. Report of the CIGR Section II Working Group No. 14. Cattle Housing.
- Daskalov, P. I. (1997). Prediction of Temperature and Humidity in a Naturally Ventilated Pig Building, *J. Agric. Engng Res*, 68, 329-339.
- Dumont, E. (2016). Impact of the treatment of NH<sub>3</sub> emissions from pig farms on greenhouse gas emissions. Quantitative assessment from the literature data. *New Biotechnology*, 46: 31-37.
- Fiedorowicz, G., Mazur, K. (2011a). Mikroklimat pomieszczeń w oborach wolnostanowiskowych w okresie wiosenno-letnim. Cz. I. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1(19), 123-134.
- Fiedorowicz, G., Mazur, K. (2011b). Mikroklimat pomieszczeń w oborach wolnostanowiskowych w okresie jesienno-zimowym. Cz. II. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3(19), 111-120.



- Głuski, T. (2005b). *System kształtowania mikroklimatu w budynkach dla bydła*. Rozprawy Naukowe. Wydawnictwo AR w Lublinie.
- Głuski, T. (2013). Kierunki rozwoju nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjno-funkcjonalnych budynków inwentarskich na przykładzie budynków dla bydła mlecznego. (w) Halicka A. (red.) *Budownictwo na obszarach wiejskich: nauka, praktyka, perspektywy*, Lublin, Politechnika Lubelska, 161-172, 978-83-63569-30-3.
- Gürdil, G. A. K. (2009). Numerical simulation of natural ventilation rates in laying hen houses. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8(4), 624-629.
- Instytut Zootechniki w Krakowie (1977). *Karty informacyjne do założeń technicznych produkcji zwierzęcej*. Nr karty 1.01.04.
- Kavolelis, B., Bleizgys, R., Cesna, J. (2010). Emission of water vapour in uninsulated cowshed. *Ann. Anim. Sci.*, 10(1), 57-65.
- Klemm, P. (red.) (2005) *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli*, Arkady, Warszawa.
- Kloeden, P. E., Platen, E. (1992). *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*, Springer.
- Lashof, D.A., Ahuja, D. R. (1990). Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming, *Nature*, 344, 529-531.
- Leip, A. (2010). Quantitative quality assessment of the greenhouse gas inventory for agriculture in Europe, *Climate Change*, 103, 245-261.
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, S., Sutton, M. A., de Vries, W., Weiss, F., Westhoek, H. (2015). Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10, 115004.
- Modongo, O., Kulshreshtha, S. N. (2018). Economics of mitigating greenhouse gas emissions from beef production in western Canada, *Agricultural Systems*, 162: 229-238.
- Myczko A. (1996). Nowoczesne rozwiązania techniczne i technologiczne w budownictwie inwentarskim. ODR Ostrołęka. S.124
- Øksendal, B. (2003). *Stochastic Differential Equations. An Introduction with Applications*. Fifth Edition, Corrected Printing, Springer-Verlag Heidelberg New York.
- Panagakis, P., Axaopoulos, P. (2004). Comparison of two modeling methods for the prediction of degree-hours and heat-stress likelihood in swine building. *Transactions of the ASAE*, 47(2), 585-590.
- Panagakis P., Axaopoulos, P. (2008). Comparing fogging strategies for pig rearing using simulations to determine apparent heat-stress indices. *Biosystems Engineering*, 99, 112-118.
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M. J. W., Aarnink, A. J. A. (2008). *Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature Review*. Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December. PN-76/B-03420 (1976). *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego*. PN-82/B-02403 (1982). *Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*. PN-EN ISO 6946 (1999). *Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*. PN-EN ISO 13370 (2001). *Właściwości cieplne budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metody obliczania*. PN-EN ISO 13786 (2001). *Właściwości cieplne komponentów budowlanych. Dynamiczne charakterystyki cieplne. Metody obliczania*.
- Raczek, A., Wachowicz, E. (2014). Model procesu wymiany ciepła i masy w powietrz wewnątrz szklarni, *Inżynieria Rolnicza*, 1(149): 185-195.
- Radoń, J. (2004). Model obliczeniowy i analiza dynamicznego kształtowania się mikroklimatu budynków rolniczych na przykładzie brojlerni. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, ser. *Monografie*, 410 (299), 150.
- Radoń, J. (2005). Prognozowanie kształtowania się mikroklimatu budynków inwentarskich – możliwości i ograniczenia. *Inżynieria Rolnicza*, 7(67) 245-253.
- Romaniuk, W., Karbowy, A. (2008). Kształtowanie warunków środowiskowych w nowoczesnych obiektach inwentarskich. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4, 93-108.
- Rutkowski, K. (2008). Analiza energetyczna wybranych typów szklarni. *Inżynieria Rolnicza*, 9(107), 249-255.

- 
- Stankiewicz, A. (2009). O optymalnym sterowaniu temperaturą i stężeniem dwutlenku węgla w szklarni. *Inżynieria Rolnicza*, 8(117), s. 189-198.
- Samer, M., Loebstin, C., Fiedler, M., Ammon, C., Berg, W., Sanftleben, P., Brunsch, R. (2011). Heat balance and tracer gas technique for air flow rates measurement and gaseous emissions quantification in naturally ventilated livestock buildings. *Energy and Buildings*, 43, 3711-3728.
- Schauberger, G., Piringer, M., Petz, E. (2000). *Steady-state balance model to calculate the indoor climate of livestock buildings, demonstrated for finishing pigs*. International Journal of Biometeorology, 43(4), 154-162.
- Van Kampen, N. G. (1990). *Procesy stochastyczne w fizyce i chemii*. PWN. Warszawa.
- Wachowicz, E. (2013). Automatyka w sterowaniu mikroklimatem w wybranych obiektach rolniczych (w) Hołownicki R., Kuboń M.(red), *Współczesna inżynieria rolnicza – osiągnięcia i nowe wyzwania*, Tom III. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków.
- Wolski, L. (1988). *Mikroklimat w budynkach inwentarskich*. PWN. Warszawa.
- Zhang, G., Strøm, J.S., Li, B., Rom, H.B., Morsing, S., Dahl, P., Wang, C. (2005). Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. *Biosystems Engineering*, 92(3), 355-364.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### 5.1. Przebieg pracy naukowo-badawczej przed uzyskaniem stopnia doktora

Od początku kariery naukowej moje zainteresowania koncentrowały się na zastosowaniu nabytej wiedzy matematycznej, statystycznej oraz informatycznej w badaniach zagadnień związanych z modelowaniem, analizą oraz komputerowymi symulacjami procesów zachodzących w przyrodzie oraz w rolnictwie, w tym w dziedzinie inżynierii rolniczej.

W pierwszych latach pracy naukowej, w wyniku nawiązanej współpracy z prof. dr hab. Januszem Nowakiem z Katedry Eksploatacji Maszyn i Zarządzania w Inżynierii Rolniczej oraz dr Wojciechem Przystupą, podjąłem badania nad modelowaniem procesów zachodzących w paszach i tlenowego rozkładu kiszonek. Kiszonka jest materiałem stabilnym jedynie w warunkach beztlenowych, natomiast po otwarciu silosu zaczynają się w niej rozwijać mikroorganizmy powodujący rozkład kiszonek, co powoduje zazwyczaj wzrost temperatury, dwutlenku węgla, wody oraz pojawienie się pleśni. Podatność kiszonek na rozkład w warunkach tlenowych jest różny w zależności od jej rodzaju. W badaniach uwzględniono zmiany koncentracji kwasu mlekowego, kwasu octowego, drożdży oraz temperatury i współczynnika pH. Zachodzące procesy rozpatrywaliśmy zarówno w odniesieniu do małych luźnych porcji kiszonek, jak i z uwzględnieniem przestrzenno-czasowych zmian stężenia tlenu i temperatury w przyrodzie kiszonkowej w wyniku infiltracji po otwarciu silosu. W modelach matematycznych wykorzystałem układy równań różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych, które rozwiązywałem za pomocą numerycznych metod Rungego-Kutty rzędu czwartego. Otrzymaliśmy wyniki zgodne jakościowo z danymi eksperymentalnymi. Wyniki badań zostały przedstawione w publikacjach naukowych (zał. 5 II.D.1, II.D.5 i II.D.25), a także prezentowane na konferencjach naukowych z dziedziny inżynierii rolniczej i rolnictwa zrównoważonego w postaci wygłoszonych osobiście referatów i posterów (zał. 5 II.K.1, II.K.3, II.K.4, III.B.8).

We współpracy z dr hab. Mirosławą Wesołowską-Janczarek, prof. AR w Lublinie, prowadziłem badania związane z estymacją dynamiki owocowania różnych odmian malin za pomocą wielomianowych modeli krzywych wzrostu. W następstwie badań z tej tematyki opublikowaliśmy pracę związaną ze sposobem wyznaczania uogólnionej macierzy odwrotnej (zał. 5. II.D.26), a problemy związane z tą tematyką zaprezentowane zostały na konferencjach naukowych z zakresu biometrii i wykorzystania metod matematycznych w rolnictwie (zał. 5 II.K.2, II.K.5, III.B.6).

---

Około roku 2004 moje zainteresowanie wzbudziła problematyka nauczania na odległość (e-learning) w procesie dydaktycznym. Jego efektem było wdrożenie katedralnego serwisu informacyjnego Katedry Zastosowań Matematyki i Informatyki (zał. 5. III.Q.3), w ramach którego funkcjonuje do chwili obecnej platforma zdalnego nauczania pod nazwą Centrum Edukacji Wirtualnej (zał. 5. III.I.4). Opracowane kursy e-learningowe przygotowane do realizowanych przeze mnie przedmiotów i zaobserwowane efekty ich wykorzystywania we wspomaganiu procesu dydaktycznego posłużyły jako materiał do analiz w kolejnych latach pracy. Kursy prowadzone były głównie na kierunku technika rolnicza i leśna specjalności technika komputerowa w inżynierii rolniczej. Brałem też udział w konferencjach i warsztatach poświęconych tej tematyce prowadzonych przez wykładowców z różnych uniwersytetów europejskich (zał. 5 III.B.7, III.B.9, III.Q.12g).

W swoich badaniach naukowych część uwagi skupiłem na symulacyjnych metodach bootstrapowych służących do wyznaczania przedziałowej oceny rozpatrywanych estymatorów. Metody te znalazły duże zastosowanie w różnych dziedzinach nauki w przypadku rozważania charakterystyk, które nie są zgodne z rozkładem normalnym, np. mają niesymetryczne rozkłady lub ich rozkład jest bliżej nieznanym. Do generowania bootstrapowych przedziałów ufności zastosowałem najprostszą metodę percentylową, a także bardziej zaawansowane uwzględniające obciążenie i tzw. współczynnik przyspieszenia. Omawiane badania symulacyjne użyłem do oceny wyników badań związanych z oceną zdolności konkurencyjnych pszenicy przy różnych rodzajach odchwaszczania (zał. 5. II.D.6). Referaty z tego zakresu prezentowałem na konferencjach naukowych (zał. 5. II.K.9, II.K.12), a część wyników zostało opublikowanych w materiałach konferencyjnych.

Wymienione metody zastosowałem także do danych uzyskanych w wyniku nawiązania współpracy naukowej z prof. dr hab. Stanisławem Pietruszewskim z Katedry Fizyki AR w Lublinie. Część prowadzonych przeze mnie badań dotyczyła oceny wpływu przedsiwnej stymulacji ziaren polem magnetycznym na proces kiełkowania określonych gatunków zbóż (pszenżyto „Presto”, pszenperz PPG 115 i ich mieszaniec) oraz na wybrane właściwości ich źdźbeł. Problem oceny i porównania wpływu różnych poziomów tej stymulacji, przez dobór odpowiednich metod statystycznych, wynikał bezpośrednio z zapotrzebowania praktyki eksperymentalnej. Badane cechy często charakteryzowały się brakiem zgodności z rozkładem normalnym, co jest często wymaganym założeniem w większości znanych metod statystycznych. Badania związane były z poszukiwaniem adekwatnych metod analizy pozwalających ocenić oddziaływanie stymulacji polem magnetycznym na właściwości roślin. Rezultatem tych badań są prace naukowe związane z oceną właściwości mechanicznych

źdźbeł zbóż (zał. 5. II.D.2, II.D.3), jak i przebiegu procesu kiełkowania (zał. 5. II.D.4). Rezultaty prowadzonych badań były prezentowane także na konferencjach naukowych związanych z inżynierią rolniczą w formie głoszonych referatów (zał. 5. II.K.8 i II.K.10) i posteru (zał.5. III.B.8). W wyniku badań stwierdzono istotny wpływ 30-sekundowej stymulacji nasion polem magnetycznym na wytrzymałość źdźbeł zbóż oraz szybkość procesu kiełkowania.

Z tą tematyką związana była również moja praca doktorska, którą obroniłem z wyróżnieniem w lutym 2006. W pracy przedstawiłem konstrukcję nowego, unormowanego wskaźnika podobieństwa rozkładów (WPR), który umożliwia określenie skali podobieństwa dla różnych par porównywanych rozkładów. Rozważania oparłem na badaniu wartości modułu sprężystości podłużnej źdźbeł. Podałem także metodę oceny przedziałowej wartości wskaźnika WPR dla populacji w oparciu o bootstrapowe przedziały ufności. Za pomocą symulacji komputerowych zbadałem w szczególności wpływ liczebności próby na wartości wprowadzonego wskaźnika oraz na długość i pokrycie przedziałów ufności, rozumiane jako empiryczny poziom ufności. Założenia pracy doktorskiej referowałem na konferencjach (zał. 5. II.K.7 i II.K.11). Za przygotowaną rozprawę doktorską otrzymałem nagrodę indywidualną III stopnia JM Rektora Akademii Rolniczej w Lublinie (zał. 5. II.J.1).

Zakres prowadzonych badań i ich wyników na bieżąco wygłaszałem także w formie referatów w ramach cotygodniowych seminariów naukowych Katedry Zastosowań Matematyki i Informatyki (zał.5. III.Q.9).

## **5.2. Przebieg pracy naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora**

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem część badań rozpoczętych we wcześniejszym okresie. Jednym z nich była ocena wykorzystania metod symulacyjnych do analizy wyników doświadczalnych, szczególnie w przypadku danych nie spełniających założeń o normalności rozkładu analizowanej cechy. W badaniach oceniałem m.in. poprawność bootstrapowych przedziałów ufności dla różnych statystyk, jak również wpływ liczebności prób na długości generowanych przedziałów. Takie badania przeprowadziłem m.in. dla średniej z próby (zał. 5. II.D.11), co umożliwiło weryfikację poprawności otrzymanych wyników symulacyjnych z dobrze zbadanymi wartościami analitycznymi. W porównaniach badałem wpływ liczebności prób oraz różnic między parametrami porównywanych rozkładu (średnia i odchylenie standardowe) na poprawność otrzymywanych przedziałów. Zaobserwowałem, że dla mało liczebnych prób ( $n < 30$ ) metoda percentylowa i z korektą obciążenia generowały zbyt krótkie przedziały, nie pokrywające

---

zakładanej wartości na przyjętym poziomie istotności. Wyniki badań związanych z wykorzystaniem metod bootstrapowych prezentowałem także na konferencjach naukowych (zał. 5. III.B.12 i III.B.24).

Tematykę związaną z wykorzystaniem pola elektromagnetycznego kontynuowałem prezentując wykorzystanie metody różnic skończonych w dziedzinie czasu (FDTD) do wykrywania obiektów znajdujących się wewnątrz innych struktur oraz określania ich własności dielektrycznych. Metoda ta została przedstawiona w publikacjach na przykładzie wykrywania struktury ułożenia warstw drogi (zał. 5. II.A.1) oraz w badaniach medycznych w zakresie wykrywania raka gruczołu piersiowego (zał. 5. II.A.2, II.A.3, II.A.14). Możliwości użytkowe tej metody prezentowałem także na konferencjach naukowych (zał. 5. II.K.19, II.K.21, II.K.22).

Za pomocą badań symulacyjnych prowadziłem również dalsze badania zmierzające do oceny wpływu wielkości zróżnicowania zmiennych towarzyszących (temperatura, opady, nasłonecznienie) na estymację parametrów w wielomianowych modelach krzywych wzrostu stosowanych do doświadczeń dotyczących owocowania malin. Porównywaliśmy wyniki otrzymywane za pomocą dwóch metod estymacji: iteracyjnej oraz Pothoffa-Roya. Lepsze rezultaty uzyskaliśmy dla metody iteracyjnej, która lepiej jakościowo i ilościowo oddaje charakter dynamiki owocowania. Wpływ na poprawność estymacji wartości współczynników miały stopnie zróżnicowania: wielkości plonu oraz wartości zmiennych towarzyszących w czasie. Wyniki badań zostały opublikowane jako artykuły naukowe (zał. 5. II.D.12 i II.D.13) oraz były prezentowane w postaci referatu (zał. 5. II.K.23) i posterów na konferencjach naukowych (zał. 5. III.D.13, III.D.14).

Wykorzystując wdrożoną przed doktoratem katedralną platformę zdalnego nauczania (zał. 5. III.I.4), prowadziłem badania związane z możliwościami stosowania systemów nauczania na odległość i metodyką prowadzenia takich zajęć ze studentami. Na podstawie kursów zdalnego nauczania, utworzonych dla studentów specjalności technika komputerowa w inżynierii rolniczej (kierunek technika rolnicza i leśna), analizowałem przydatność różnych narzędzi e-learningowych do przekazywania wiedzy studentom oraz oceny ich pracy i zaangażowania. Zbadałem zalety stosowania wspomagania nauczania tradycyjnego przez e-learning (metoda *blended-learning*), aktywizacji studentów oraz rozpoznawania ich cech indywidualnych za pomocą różnych modułów dostępnych na platformie *Moodle* takich jak: zadania czy testy. Wyniki analiz zostały opublikowane jako publikacje (zał. 5. II.D.7, II.D.8, II.D.10, II.D.28, II.D.29) i prezentowane na konferencjach naukowych (zał. 5. II.K.13 - II.K.17). Badałem również możliwość wykorzystania modułu *Kwestionariusz* do oceny i



---

ewaluacji prowadzonych przeze mnie zajęć (zał. 5. II.D.9, II.K.20). Efektem mojej działalności w tym zakresie było uzyskanie certyfikatu e-Nauczyciela w 2014 r. przyznanego przez Stowarzyszenie E-learningu Akademickiego (zał. 5. III.Q.1).

We współpracy z pracownikami Katedry Energetyki i Środków Transportu Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie prowadzę obecnie badania w zakresie analizy pracy silników urządzeń rolniczych w rzeczywistych warunkach transportowo-polowych w odniesieniu do norm europejskich i światowych. Celem badań jest porównanie wartości zużycia paliwa i emitowanych spalin przez silnik pojazdu użytkowego, na podstawie wartości otrzymywanych z systemu sterowania w odniesieniu do wskazań aparatury pomiarowej stanowiska hamowni silnikowej. Do badań wykorzystywany jest silnik będący odpowiednikiem jednostek stosowanych w pojazdach użytkowych drogowych i pozadrogowych, takich jak: ciągniki rolnicze i komunalne, ładowarki, maszyny samojezdne, maszyny i pojazdy budowlane, samochody ciężarowe. Badania prowadzone są dla silnika zamontowanego na stanowisku w hamowni silnikowej wyposażonej w hamulec elektrowirowy o mocy do 200 kW. Praca zespołu silnik-hamulec nadzorowana jest poprzez system sterujący ATMX2000, ATMX2011, umożliwiający zadawanie obciążeń (ręcznie i automatycznie), monitorowanie on-line parametrów pracy silnika i stanowiska oraz ich rejestrację i analizę off-line. Badania przeprowadzono w pełnym zakresie użytecznych prędkości obrotowych silnika, czyli od 1200 do 2400 obr·min<sup>-1</sup>. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że zarówno pomiar zużycia paliwa na stanowisku badawczym oraz z wykorzystaniem systemu sterowania silnikiem miały niższe wartości niż deklarowane przez producenta o około 6%. Wskazania komputera pokładowego miały tendencje do zawyżania wartości zużycia paliwa dla obciążeń poniżej 100 Nm, zwłaszcza przy rosnącej prędkości obrotowej. Nie stwierdziliśmy wpływu temperatury paliwa na wielkość różnic zużycia paliwa. Wyniki analiz zostały opublikowane jako artykuł naukowy (zał. 5. II.D.31) oraz były przedstawiane na konferencjach naukowych (zał. 5. III.B.16, III.B.21). Wyniki analizy wykorzystania mocy silników w maszynach rolniczych w warunkach polowych przedstawiałem na konferencji naukowej na przykładzie procesu przygotowania pryzm kiszonkowych z kukurydzy (zał. 5. III.B.17). Brałem także udział w badaniach związanych z problematyką ruchu miejskiego i pozamiejskiego, z których wyniki zostały opublikowane (zał. 5. II.D.30) i prezentowane jako referat (zał. 5. II.K.25) oraz postery na konferencjach naukowych (zał. 5. III.B.16, III.B.20).

Prowadzę również badania teoretyczne i symulacyjne związane z pojawianiem się i wykrywaniem obserwacji odstających, które niekiedy z znaczący sposób mogą zaburzać

---

wyciąganie właściwych wniosków z przeprowadzonych eksperymentów naukowych. Metody wykrywania nietypowych obserwacji w przypadku danych pochodzących z rozkładu logarytmiczno-normalnego przedstawiliśmy w publikacjach naukowych: dotyczące bezpieczeństwa ruchu drogowego (zał. 5. II.A.6) i związanej z wykorzystaniem kryterium Akaike (zał.5. II.D.20). Badania z zakresu poprawnej oceny wyników doświadczeń prowadziłem także w zakresie ustalania właściwej liczebności pobieranych prób z populacji. Dobór wielkości próby losowej powinien zapewnić właściwy wysoki poziom mocy testu statystycznego, co pokazaliśmy na przykładzie testu Manna-Whitneya. Wyniki w tym zakresie zostały opublikowane jako artykuł naukowy (zał. 5. II.D.24)

Pewną część mojej aktywności naukowej skierowana jest w stronę ekologii i wiąże się z oceną oddziaływania człowieka na środowisko naturalne. W tych badaniach uwzględniałem zarówno wpływ działalności typowo przemysłowej, jaką jest funkcjonowanie kopalni węgla kamiennego, jak i tej związanej z produkcją roślinno-zwierzęcą, na stan wód gruntowych i podziemnych. W tej drugiej grupie można wyróżnić rolę różnych metod upraw roślin, w tym nawożenia, sposobów koszenia oraz wypasania pastwisk. W badaniach oceniałem zmiany: stanu wód gruntowych, koncentracji azotu w glebie oraz składu roślinności na łąkach i liczebności różnych gatunków ptaków w regionie Poleskiego Parku Narodowego. Jako jedno z narzędzi stosowanych do oceny zachodzących zmian środowiska wykorzystałem oprogramowanie do analiz przestrzennych (GIS) oraz metodę interpolacyjną *kriging*, np. zbadałem możliwość jej użycia do analizy poziomu wody gruntowej (zał. 5. II.A.5). Na podstawie porównania wskaźników biologicznych i chemicznych jakości wody na obszarze Natura 2000 OSO Lasy Parczewskie, stwierdziliśmy jednoznacznie antropogeniczny charakter badanych cieków wodnych. Cieki z przepływem wody (kanały) charakteryzowały się umiarkowanym potencjałem ekologicznym (III klasa jakości), zaś cieki bezodpływowe (rowy) wyróżniały się złym potencjałem ekologicznym (V klasa jakości) (zał. 5. II.A.4). W przypadku oceny oddziaływania kopalni węgla kamiennego na pobliskie środowisko nie zaobserwowaliśmy występowania nieodwracalnych zmian w ekosystemie wodnym w wyniku odprowadzania wód kopalnianych. Większość parametrów wód kopalnianych, porównywanych od początku istnienia kopalni ze stanem obecnym, wykazuje dużą stabilność (zał. 5. II.A.9). Z kolei na podstawie 11-to letnich badań wykazaliśmy istotną rolę człowieka polegającą na możliwości tworzenia optymalnych warunków siedliskowych dla niektórych zagrożonych gatunków ptaków poprzez zarządzanie poziomem lustra wody powierzchniowej (zał. 5. II.A.7). Ocenialiśmy również wpływ intensywności użytkowania łąk na bioróżnorodność różnych gatunków roślin i zwierząt. Badaliśmy również charakter



i kierunki zachodzących zmian w badanych ekosystemach (zał. 5. II.A.8, II.A.12, II.A.13, II.D.23). Zbadane zależności pomiędzy różnymi czynnikami środowiskowymi i produkcyjnymi a zawartością azotu mineralnego w warstwie gleby na głębokości 60–90 cm wskazują, że największy wpływ na straty azotu wywierała obsada zwierząt gospodarskich oraz gatunki uprawianych roślin. Najsilniejsze związki zaobserwowaliśmy jesienią. Nie stwierdziliśmy większego oddziaływania warunków pogodowych oraz dawek N w nawozach mineralnych w wiosennym terminie pomiaru (zał. 5. II.D.22). Wyniki badań związanych z oddziaływaniem wspomnianych działalności człowieka na środowisko były także prezentowane na konferencjach naukowych (zał. 5. III.B.18, III.B.19, III.B.23, III.B.25, III.B.27).

W swoich badaniach naukowych podjąłem też tematykę związaną z dobrostanem zwierząt. Warunkuje on w bezpośredni sposób zdrowotność i produktywność zwierząt. W okresie 28.10.2010 – 27.01.2014 uczestniczyłem jako wykonawca w projekcie badawczym Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N313 447939 „System kształtowania mikroklimatu w budynkach dla bydła”. Projekt kierowany był przez dr hab. inż. Tadeusza Głuskiego, prof. nadzw. UP w Lublinie. Wyniki pomiarów wykonanych w ramach tego grantu posłużyły jako materiał weryfikacyjny metod użytych przy pisaniu monografii, wskazanej jako główne osiągnięcie naukowe tego postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Częściowe wyniki badań prezentowałem również na konferencjach naukowych (zał. 5. II.K.24, III.B.24).

We współpracy z Instytutem Hodowli Zwierząt i Ochrony Bioróżnorodności Uniwersytetu Przyrodniczego badałem także inny czynnik wpływający na poziom dobrostanu zwierząt, a mianowicie występowanie kulawizny u krów mlecznych. Schorzenie to jest obecnie jednym z trzech głównych czynników wywołujących straty ekonomiczne. Powoduje ono zmniejszenie pobrania paszy, obniżenie produktywności, a w konsekwencji ich przedwczesne brakowanie. Obserwacje prowadzone były w wolnostanowiskowej oborze rusztowej wyposażonej w automatyczny system pozyskiwania mleka (AMS – Automatic Milking System) na krowach rasy holsztyno-fryzyjskiej. Stwierdziliśmy istotny wpływ wieku krów oraz fazy laktacji na występowanie kulawizny w ocenianym stadzie. Schorzenia rogu racycy oraz skóry palców występowały głównie na kończynach tylnych (zał. 5. II.D.17). Ocenie poddaliśmy wpływ kulawizny u krów będących w pierwszej laktacji na częstotliwość podchodzenia zwierząt do robota udojowego oraz na wydajność udojową, a w konsekwencji na wielkość strat ekonomicznych. Redukcję produkcji mleka zaobserwowaliśmy głównie w trzeciej fazie laktacji u krów z wysokim stadium kulawizny (11% mniejsza wydajność

---

w porównaniu z krowami zdrowymi) (zał. 5. II.A.11). Badaliśmy również możliwości rozwoju gospodarstw w systemie rolnictwa zrównoważonego analizując dane z regionu Podkarpacia. Analiza potencjału produkcyjnego gospodarstw była wykonana ze względu na udział powierzchni paszowej w całkowitym areale gospodarstw. We wszystkich grupach gospodarstw stwierdziliśmy, że istnieje niewykorzystany potencjał rozwojowy (zał. 5. II.A.10).

Zakres prowadzonych badań i ich wyników na bieżąco wygłaszałem w formie referatów w ramach cotygodniowych seminariów naukowych Katedry Zastosowań Matematyki i Informatyki (zał. 5. III.Q.9). Swoimi umiejętnościami wykonywania analiz statystycznych wspomagam też innych pracowników naszej uczelni przy interpretacji uzyskanych wyników eksperymentalnych oraz planowaniu metodyki przeprowadzanych doświadczeń z zakresu inżynierii rolniczej (zał. 5. D.II.15, D.II.16, D.II.18, II.D.21). Obecnie wchodzę w skład różnych zespołów badawczych i współpracuję z przedstawicielami katedr takich jak: Katedra Energetyki i Środków Transportu, Katedra Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego, Instytut Hodowli Zwierząt i Ochrony Bioróżnorodności, Katedra Łąkarstwa i Kształtowania Krajobrazu, czy Katedra Zoologii, Ekologii Zwierząt i Łowiectwa. W prowadzonych badaniach wykorzystuję swoją wiedzę i umiejętności matematyczne, statystyczne oraz informatyczne, pozwalające stosować odpowiednie metody i narzędzia służące do opracowania danych, modelowania procesów przyrodniczych oraz analizy statystycznej. Główne obszary moich zainteresowań naukowych to:

- wykorzystanie metod matematycznych i statystycznych w zagadnieniach przyrodniczych,
- wykorzystanie metod numerycznych, symulacyjnych oraz metod sztucznej inteligencji w badaniach naukowych,
- narzędzia analiz przestrzennych w systemach GIS,
- modelowanie matematyczne procesów przyrodniczych oraz produkcyjnych wykorzystywanych w rolnictwie, głównie w dziedzinie inżynierii rolniczej.

### **5.3. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzatorskie**

Oprócz działalności naukowo-badawczej dużą uwagę zwracam na działalność dydaktyczną. W czasie swojej pracy na uczelni prowadziłem lub prowadzę zajęcia w formie wykładów, ćwiczeń audytoryjnych i laboratoryjnych na studiach I i II stopnia na takich

---

kierunkach jak: technika rolnicza i leśna, inżynieria rolnicza i leśna (w tym specjalność informatyka w inżynierii rolniczej), inżynieria bezpieczeństwa, edukacja techniczno-informatyczna, transport, bezpieczeństwo i higiena pracy, gospodarka przestrzenna. Wśród prowadzonych przeze mnie przedmiotów można wymienić m.in. takie jak: technologia informacyjna, Informatyka, Algorytmy i metody numeryczne, Bezpieczeństwo informacji, Algorytmy numeryczne w języku C++, Programowanie w języku Visual Basic .NET, Aplikacje internetowe w ASP.NET, Programowanie obiektowe, Sieci komputerowe, Pakiety oprogramowania użytkowego, Systemy informacyjne, Grafika komputerowa, Matematyczne wspomaganie decyzji, Instrumenty analiz przestrzennych (zał. 5. III.I). Treści programowe, przygotowane sylabusy, materiały dydaktyczne, w tym także w formie kursów e-learningowych stanowią mój autorski wkład do dydaktyki.

W ramach opieki naukowej nad studentami w latach 2007-2018 byłem promotorem 28 prac dyplomowych magisterskich i 21 prac dyplomowych inżynierskich, a także recenzentem 72 prac (42 magisterskich i 30 inżynierskich). Pełniłem także funkcję opiekuna pomocniczego w 2 zakończonych przewodach doktorskich w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie inżynieria rolnicza zrealizowanych na Wydziale Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (zał. 5. III.K).

Biorę czynny udział w działalności organizacyjnej Wydziału Inżynierii Produkcji oraz Katedry Zastosowań Matematyki i Informatyki. W latach 2010-2013 byłem członkiem, a następnie kierownikiem sekretariatu wydziałowej komisji rekrutacyjnej na Wydziale Inżynierii Produkcji UP w Lublinie. W latach 2010-2016 byłem członkiem rady programowej kierunku Edukacja techniczno-informatyczna, biorąc aktywny udział w opracowaniu planu studiów oraz efektów kształcenia. W latach 2011-2014 byłem kierownikiem ówczesnej Pracowni Informatyki wchodzącej w skład Katedry Zastosowań Matematyki i Informatyki. W roku akademickim 2014/2015 byłem przedstawicielem z ramienia Katedry w komisji do spraw preorientacji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Angażując się w działalność organizacyjną Katedry i Wydziału aktywnie uczestniczyłem także w przygotowaniu oraz obsłudze konferencji naukowych Międzynarodowe Colloquium Biometryczne oraz konferencji jubileuszowych Wydziału Inżynierii Produkcji (zał. 5. III.C). Uczestniczyłem także w opracowaniu dokumentacji dotyczącej wyposażenia pracowni komputerowych Katedry w ramach budowy Centrum Innowacyjno-Wdrożeniowe Nowych Technik i Technologii w Inżynierii Rolniczej, projektu realizowanego w ramach programu Operacyjnego Rozwoju Polski Wschodniej. Byłem także egzaminatorem z matematyki podczas rekrutacji na studia na Wydziale Inżynierii Produkcji i Wydziale Ogrodniczym

---

Uniwersytetu Przyrodniczego (lata 2000-2007), a także uczelnianym koordynatorem i egzaminatorem z informatyki w latach 2008-2009.

Jestem także współzałożycielem (w roku 2004) oraz obecnie administratorem systemu informacyjnego Katedry Zastosowań Matematyki i Informatyki (<http://kzmi.up.lublin.pl>), w którym można zapoznać się z działalnością naukowo-dydaktyczną katedry. W ramach tego systemu funkcjonuje katedralna platforma e-learningowa *Centrum Edukacji Wirtualnej KZMI*. Na platformie opracowane są kursy zawierające materiały do przedmiotów prowadzonych przez pracowników naszej Katedry. Moja działalność w zakresie wykorzystania narzędzi e-learningowych została uhonorowana certyfikatem E-Nauczyciela przyznany przez Stowarzyszenie E-Learningu Akademickiego w zakresie wykorzystywania technik i metod kształcenia na odległość (zał. 5. III.Q.1).

Jestem także założycielem, projektantem oraz administratorem strony internetowej czasopisma naukowego *Colloquium Biometricum* (<http://collbiom.up.lublin.pl>), które obecnie znajduje się na liście B MNiSW oraz ma przyznane 8 pkt (zał. 5. III.G).

Jestem również odpowiedzialny za prowadzenie szkoleń stanowiskowych BHP dla pracowników Katedry Zastosowań Matematyki i Informatyki.

W ramach zainteresowań i podnoszenia własnych kwalifikacji ukończyłem szkolenia (zał. 5. III.Q.11) w zakresie administracji i programowania serwera bazodanowego Microsoft SQL Server, programowania w języku Visual Basic .NET, programowania w języku Python oraz związanych z nauczaniem e-learningowym. Uzyskane umiejętności wykorzystywane są przy administracji systemami informatycznymi oraz nauczaniu przedmiotów wymagających informatycznej obsługi baz danych oraz projektowaniu systemów komputerowych wspomagających rozwiązywanie problemów z zakresu związanego z rolnictwem, w tym inżynierii rolniczej.

## 6. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego

Efektom prowadzonych przeze mnie badań naukowych jest, oprócz wskazanej jako główne osiągnięcie, 59 publikacji naukowych. Wśród tych prac, 13 opublikowano w czasopiśmie indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR), a ich sumaryczny współczynnik wpływu (Impact Factor) wynosi 9,575. Pozostałe publikacje to 24 artykułów w czasopiśmie znajdujących się na liście czasopism punktowanych przez MNiSW, 4 rozdziały w monografiach naukowych oraz 2 publikacje popularno-naukowe. Wyniki prowadzonych badań naukowych były przedstawiane również na 43 konferencjach krajowych i międzynarodowych w formie 25 referatów (zał. 5. II.K) i 20 posterów (zał. 5. III.B), jak również opublikowane jako abstrakty lub publikacje w materiałach konferencyjnych.

Sumaryczne zestawienie informacji na temat mojego dorobku naukowo-badawczego przedstawione jest w poniższych tabelach, w których podałem podsumowanie punktacji według kategorii publikacji (tabela 6.1), punktacji według czasopism posiadających współczynnik IF (tabela 6.2) oraz czasopism bez współczynnika IF (tabela 6.3).

**Tabela 6.1. Punktacja publikacji wg kategorii – zgodnie z datą publikacji**

<b>Kategoria</b>	<b>Liczba prac</b>	<b>Punkty MNiSW (sumarycznie)</b>	<b>Punkty IF (sumarycznie)</b>
Publikacje w czasopiśmie z IF (lista A)	13 (0/13)	194 (0/194)	9,575 (0/9,575)
Materiały konferencyjne indeksowane w Web of Science	1 (0/1)	10 (0/10)	-
Publikacje w czasopiśmie bez IF (lista B)	24 (5/19)	152 (20/132)	-
Monografia (osiągnięcie)	1 (0/1)	25 (0/1)	-
Rozdziały w monografiach	5 (2/3)	20 (8/12)	-
Materiały konferencyjne	13 (4/9)	-	-
Publikacja naukowo-popularne	2 (0/2)	0 (0/0)	-
<b>Razem</b>	<b>59</b> (11/46)	<b>401</b> (28/373)	<b>9,575</b> (0/9,575)

W nawiasie podałem podział na publikacje przed i po uzyskaniu stopnia doktora (stan na dzień 20.11.2018)

**Tabela 6.2. Punktacja publikacji w czasopismach z IF (lista A)**  
– zgodnie z datą publikacji

<b>Czasopismo</b>	<b>Liczba prac</b>	<b>Punkty MNiSW (sumarycznie)</b>	<b>Punkty IF (sumarycznie)</b>
<i>Eksploracja i niezawodność – maintenance and reliability</i>	1	25	1,383
<i>Agroecology and Sustainable Food Systems</i>	1	20	1,140
<i>Journal of Applied Animal Research</i>	1	15	0,826
<i>Polish Journal of Environmental Studies</i>	1	15	1,120
<i>Rocznik Ochrona Środowiska</i>	5	75	4,301
<i>Przemysł Chemiczny</i>	1	15	0,367
<i>Przegląd Elektrotechniczny</i>	3	29	0,438
<b>Razem</b>	<b>13</b>	<b>194</b>	<b>9,575</b>

**Tabela 6.3. Punktacja publikacji w czasopismach bez IF (lista B)**  
– zgodnie z datą publikacji

<b>Czasopismo</b>	<b>Liczba prac</b>	<b>Punkty MNiSW (sumarycznie)</b>
<i>Agricultural Engineering (Inżynieria rolnicza)</i>	10	51
<i>Colloquium Biometricum</i>	4	16
<i>Biometrical Letters</i>	2	24
<i>Annales UMCS E</i>	2	18
<i>Logistyka</i>	2	20
<i>Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu</i>	1	8
<i>Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego</i>	1	7
<i>Acta Scientiarum Polonorum, Technika Agraria</i>	1	4
<i>Episteme</i>	1	4
<b>Razem</b>	<b>24</b>	<b>152</b>

**Indeks Hirscha** według Web of Science: 2 (stan na dzień 20.11.2018)

**Liczba cytowań** według Web of Science: 9 (stan na dzień 20.11.2018)