

## **AUTOREFERAT**

---

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH,  
DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH  
ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ

---

**dr inż. Daniel Zaborski**

---

KATEDRA NAUK O ZWIERZĘTACH PRZEŻUWAJĄCYCH  
WYDZIAŁ BIOTECHNOLOGII I HODOWLI ZWIERZĄT  
ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE  
ul. Klemensa Janickiego 29, 71-270 Szczecin  
e-mail: daniel.zaborski@zut.edu.pl

---

Szczecin 2020

## Spis treści

I. DANE OSOBOWE .....	3
II. POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE .....	3
III. DOTYCHCZASOWE ZATRUDNIENIE W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH .....	3
IV. OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE WYNIKAJĄCE Z ART. 219 UST. 1 PKT. 2b USTAWY PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (Dz. U. 2018.0.1668 - USTAWA Z DNIA 20 LIPCA 2018 r.).....	3
A. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO .....	4
B. PUBLIKACJE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO .....	4
C. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA .....	5
Wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia badań.....	5
Cel i zakres prac badawczych .....	17
Omówienie wyników prac wskazanych jako szczególne osiągnięcie naukowe .....	18
Podsumowanie .....	28
Bibliografia.....	29
V. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ .....	37
VI. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ .....	38
VII. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH .....	39
Opis pozostałego dorobku naukowo-badawczego.....	40
A. Przed uzyskaniem stopnia doktora .....	40
B. Po uzyskaniu stopnia doktora.....	41
Podsumowanie dorobku naukowego .....	53

## I. DANE OSOBOWE

---

<b>Imię i nazwisko:</b>	Daniel Zaborski
<b>Miejsce pracy:</b>	Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie ul. Klemensa Janickiego 32, 71-270 Szczecin
<b>Dane kontaktowe:</b>	Katedra Nauk o Zwierzętach Przeżuwających Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie ul. Klemensa Janickiego 29, 71-270 Szczecin

---

## II. POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

---

<b>27.10.2010</b>	doktor nauk rolniczych, dyscyplina: zootechnika, specjalność: biostatystyka; Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, temat rozprawy: „Detekcja porodów u krów mlecznych za pomocą klasyfikatora neuronowego”, promotor: prof. dr hab. Wilhelm Grzesiak
<b>22.06.2006</b>	magister inżynier, kierunek studiów: biotechnologia; Akademia Rolnicza w Szczecinie, Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, temat pracy: „Tworzenie komputerowej bazy danych sekwencji żyta ( <i>Secale cereale</i> L.)”, promotor: prof. dr hab. Piotr Masojć

---

## III. DOTYCHCZASOWE ZATRUDNIENIE W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

---

<b>01.10.2012- obecnie</b>	Katedra Nauk o Zwierzętach Przeżuwających, Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie stanowisko: adiunkt w wymiarze pełnego etatu
<b>01.10.2011- 30.09.2012</b>	Katedra Nauk o Zwierzętach Przeżuwających, Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie stanowisko: adiunkt w wymiarze ½ etatu

---

## IV. OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE WYNIKAJĄCE Z ART. 219 UST. 1 PKT. 2b USTAWY PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (Dz. U. 2018.0.1668 - USTAWA Z DNIA 20 LIPCA 2018 r.)

A. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

„Detekcja dystocji u krów mlecznych za pomocą wybranych metod *data mining*”

B. PUBLIKACJE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Tabela 1. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Lp.	Publikacja	%	IF <sup>a</sup>	MNiSW <sup>b</sup>
H1	<b>Zaborski D.</b> , Grzesiak W., Wojcik J. 2020. The use of a rule-based module as a decision support system for dystocia detection in dairy cows. <i>Indian Journal of Animal Research</i> 54: 128-130. Mój wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji przeprowadzenia badań, przygotowaniu danych do analiz statystycznych, przeprowadzaniu analiz statystycznych, doborze piśmiennictwa, napisaniu manuskryptu oraz przeprowadzeniu procesu edytorskiego (autor korespondencyjny).	70	0,395	15
H2	<b>Zaborski D.</b> , Proskura W. S., Grzesiak W., Różańska-Zawieja J., Sobek Z. 2019. The comparison between random forest and boosted trees for dystocia detection in dairy cows. <i>Computers and Electronics in Agriculture</i> 163: 104856. Mój wkład w powstanie pracy polegał na: przygotowaniu danych do analiz statystycznych, przeprowadzaniu analiz statystycznych, doborze piśmiennictwa, napisaniu manuskryptu oraz przeprowadzeniu procesu edytorskiego (autor korespondencyjny).	60	3,858	40
H3	<b>Zaborski D.</b> , Proskura W.S., Grzesiak W. 2018. The use of data mining methods for dystocia detection in Polish Holstein-Friesian Black-and-White cattle. <i>Asian-Australasian Journal of Animal Sciences</i> 31: 1700-1713. Mój wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji przeprowadzenia badań, przygotowaniu danych do analiz statystycznych, przeprowadzaniu analiz statystycznych, doborze piśmiennictwa, napisaniu manuskryptu oraz przeprowadzeniu procesu edytorskiego (autor korespondencyjny).	70	1,227	25
H4	<b>Zaborski D.</b> , Proskura W.S., Grzesiak W., Szatkowska I., Jedrzejczak-Silicka M. 2017. Use of random forest for dystocia detection in dairy cattle. <i>Landbauforschung</i> 67: 147-153. Mój wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji przeprowadzenia badań, przygotowaniu danych do analiz statystycznych, przeprowadzaniu analiz statystycznych, doborze piśmiennictwa, napisaniu manuskryptu oraz przeprowadzeniu procesu edytorskiego (autor korespondencyjny).	60	0,500	20
H5	<b>Zaborski D.</b> , Proskura W.S., Grzesiak W. 2017. Comparison between data mining methods to assess calving difficulty in cattle. <i>Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias</i> 30: 196-208. Mój wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji przeprowadzenia badań, przygotowaniu danych do analiz statystycznych, przeprowadzaniu analiz statystycznych, doborze piśmiennictwa,	70	0,516	15

	napisaniu manuskryptu oraz przeprowadzeniu procesu edytorskiego (autor korespondencyjny).			
H6	<b>Zaborski D.,</b> Grzesiak W., Pilarczyk R. 2016. Detection of difficult calvings in the Polish Holstein-Friesian Black-and-White heifers. <i>Journal of Applied Animal Research</i> 44: 42-53. Mój wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji przeprowadzenia badań, przygotowaniu danych do analiz statystycznych, przeprowadzaniu analiz statystycznych, doborze piśmiennictwa, napisaniu manuskryptu oraz przeprowadzeniu procesu edytorskiego (autor korespondencyjny).	70	0,426	15
<b>Razem</b>		<b>6,922</b>	<b>130</b>	

<sup>a</sup>Wartości wskaźnika *Impact Factor* publikacji podano według listy *Journal Citation Reports* (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (dla publikacji z roku 2020, dla których IF nie został obliczony podano ostatni aktualny).

<sup>b</sup>Punktacja została przyznana na podstawie przepisów wprowadzających ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, które określają wykaz czasopism naukowych ogłoszonych komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 25 stycznia 2017 r., jako wykaz czasopism naukowych obowiązujący podczas ewaluacji za lata 2017 - 2018 (w przypadku publikacji wydanych w latach 2019 - 2020, przydzielono punkty za rok 2018).

Sumaryczny *Impact Factor* publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego według listy *Journal Citation Reports* (JCR) = **6,922**.

Suma punktów za publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego według wykazu czasopism naukowych MNiSW = **130**.

Kopie publikacji wchodzących w skład szczególnego osiągnięcia naukowego stanowią załącznik 5. Oświadczenia współautorów wyżej wymienionych prac wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu stanowi załącznik 6.

## C. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA

### Wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia badań

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego stanowi sześć oryginalnych artykułów, opublikowanych w latach 2016 – 2020, dotyczących predykcji trudności porodów krów mlecznych z wykorzystaniem wybranych metod zgłębiania danych pod wspólnym tytułem: „Detekcja dystocji u krów mlecznych za pomocą wybranych metod *data mining*”. Przeprowadzone badania miały na celu zweryfikowanie przydatności różnych rodzajów sztucznych sieci neuronowych (ANN; ang. *artificial neural*

*networks*), wielozmiennej regresji adaptacyjnej z użyciem funkcji sklepanych (MARS; ang. *multivariate adaptive regression splines*), naiwnego klasyfikatora Bayesa (NBC; ang. *naive Bayes classifier*), maszyn wektorów nośnych (SVM; ang. *support vector machines*), drzew decyzyjnych (ang. *decision trees*), ogólnej analizy dyskryminacyjnej (GDA; ang. *general discriminant analysis*), uogólnionego modelu liniowego (GLZ; ang. *generalized linear model*) oraz regresji logistycznej (LR; ang. *logistic regression*) do predykcji trudności wycieleń krów oraz ustalenie najważniejszych predyktorów (czynników) wystąpienia trudnego porodu.

Występowanie dystocji uwarunkowane jest wieloczynnikowo. Czynniki te można pogrupować w bezpośrednie, pośrednie i ostateczne (kluczowe). Przyczyny bezpośrednie wynikają z pośrednich, a te z kolei z ostatecznych. Czynniki bezpośrednie obejmują: dysproporcję maczyno-płodową, nieprawidłową postawę płodu, bezwład macicy, wąskość sromu i szyjki macicy oraz skręt macicy. Do przyczyn pośrednich należą: długość ciąży, zbyt duży płód, wąskość dróg rodnych, hipokalcemia, hipomagnezemia oraz stres porodowy, zaś do przyczyn ostatecznych: płęć cielęcia, ciąża mnoga, wady płodu, rasa buhaja i krowy, kolejna laktacja, trudności przy poprzednim porodzie, wiek i sezon wycielenia, sposób żywienia, aktywność fizyczna, występowanie chorób, wielkość stada, lokalizacja geograficzna i interakcje między tymi czynnikami (Mee, 2008a). Chociaż każdy rodzaj dystocji może występować zarówno u pierwiastek, jak i wieloródek, to dominujący typ i czynniki ryzyka różnią się między tymi grupami. U pierwiastek najważniejszymi przyczynami są kolejno: dysproporcja maczyno-płodowa, nieprawidłowa postawa płodu oraz wąskość sromu. U wieloródek zaś - nieprawidłowa postawa płodu, dysproporcja maczyno-płodowa, ciąża mnoga, bezwład macicy, skręt macicy oraz wąskość szyjki macicy (Mee, 2004). Ponieważ w badaniach własnych jako predyktory wykorzystywano zazwyczaj czynniki ostateczne, w dalszej części rozdziału zostanie przedstawiony pokrótce ich wpływ na występowanie trudnego porodu.

Płęć cielęcia odgrywa istotną rolę przy występowaniu dystocji u bydła. Zazwyczaj buhajki wykazują większe prawdopodobieństwo trudności porodowych niż jałówki (nawet 25% wyższe szanse wystąpienia dystocji), głównie z powodu wyższej urodzeniowej masy ciała (około 1 – 3 kg), większych wymiarów ciała oraz dłuższej ciąży (Mee, 2008a; Olson i in., 2009; Fitzgerald i in., 2015). W ostatnich badaniach autorstwa Resum i in. (2017) nad bydłem mieszańcowym w Indiach wykazano częstość dystocji na poziomie 0,6% u jałówek i 1,6% u buhajków. Znacznie wyższą wartość (włączając w to wszystkie formy pomocy porodowej) odnotowano u bydła

holsztyńskiego w USA (24,2% u jałówek i 33,1% u buhajków) (Johanson i in., 2011). Także w Iranie (Atashi i in., 2012) trudność porodów krów holsztyńskich rodzących buhajki (12,5% przypadków dystocji) była większa niż rodzących jałówki (8,8%). Podobne różnice odnotowano w Maroku (Boujenane, 2017), gdzie urodzenie buhajka wiązało się z około 20% wyższym ryzykiem trudnego wycielenia niż jałówki (średnia ocena trudności porodu wynosząca 1,4 u buhajków i 1,3 u jałówek). Wielu innych autorów (Olson i in., 2009; Blöttner i in., 2011; Mee i in., 2014) potwierdziło wpływ płci cielęcia na trudność wycielenia. Z kolei w przypadku ciąży mnogich wykazano, że wystąpienie ciąży bliźniaczej u krów rasy holsztyńskiej wiązało się z 10 razy wyższym ryzykiem trudności porodowych niż w przypadku ciąży pojedynczych (Correa i in., 1993). Podobny trend odnotowano u krów rasy jersey. Jak podają Ettema i Santos (2004) wycielenia bliźniacze cechowały się średnią oceną trudności porodu na poziomie 2,2 punktu, zaś pojedyncze – 1,6 punktu na skali czterostopniowej.

Do wad płodu zalicza się m. in. różne rodzaje potworności (wynicowiec, okaleczel bezłędźwiowy, potworki podwójne, cyklopia). Przyczyną potworności są nieprawidłowości rozwojowe komórki jajowej, zarodka lub płodu. Większość anomalii występuje już we wczesnym stadium różnicowania komórkowego, kiedy zarodek podlega znacznemu wpływowi czynników genetycznych i matczynych. Często są wady dziedziczone w sposób autosomalny recesywny. Częstość występowania potworności u bydła szacowana jest na około 0,5%. Powszechne są w tym wypadku nieprawidłowości w budowie mięśni, szkieletu oraz układu nerwowego. Przy ich występowaniu poród najczęściej odbywa się poprzez cesarskie cięcie ze względu na ograniczoną przydatność fetotomii. Należy jednak podkreślić, że nie wszystkie potworności skutkują dystocją. Natomiast problemy porodowe mogą wynikać z faktu, że potworki mają trudności z przejściem przez kanał rodny w wyniku ich zmienionego kształtu lub względnych rozmiarów (Purohit i in., 2012).

Kolejnym ważnym czynnikiem jest rasa, zwłaszcza w kontekście tzw. holsztynizacji, czyli wzrostu udziału genów rasy holsztyńskiej pochodzenia północnoamerykańskiego. Bydło holsztyńskie z Ameryki Północnej podlegało intensywnej selekcji w kierunku wydajności mleka. Wpływ buhajów rasy holsztyńsko-fryzyjskiej na częstość występowania dystocji został odnotowany m. in. w Izraelu, ale wyniki badań prowadzonych w Irlandii także wskazują na różnice w długości ciąży, masie urodzeniowej cieląt, trudności porodów oraz częstości martwych urodzeń między odmianami bydła rasy holsztyńsko-fryzyjskiej z półkuli północnej i południowej (Mee,

2008a). Wykazano także różnice międzyrasowe w trudności porodów. Krzyżówki z bydłem ras mięsnych lub o użytkowości dwukierunkowej (w szczególności europejskie rasy kontynentalne) zwykle kojarzone są z wyższym ryzykiem dystocji. Chów bydła holsztyńskiego w czystości rasy związany jest z wyższym prawdopodobieństwem wystąpienia trudnych wycieleń niż krzyżowanie z innymi rasami mlecznymi. Wykazano np., iż krowy rasy holsztyńskiej inseminowane nasieniem buhajów rasy norweskiej czerwonej miały istotnie niższe ryzyko dystocji oraz martwych urodzeń niż w przypadku nasienia buhajów rasy holsztyńskiej (Buckley i Dillon, 2004). Podobne wyniki dotyczą buhajów rasy szwajcarskiej brunatnej i skandynawskiej czerwonej. Na ryzyko wystąpienia trudności porodowych wpływa też chów wsobny. Wykazano, że 1% wzrost inbredu u jałówek rasy holsztyńskiej w USA związany był z 0,3 – 0,4% wzrostem ryzyka dystocji (Adamec i in., 2006).

Jeżeli chodzi o wiek wycielenia i kolejną laktację, to wiadomym jest, że największa różnica trudności porodu występuje między pierwiastkami a wieloródkami (Hiew i in., 2016; Johanson i in., 2011; Kaya i in., 2015; Norman i in., 2010). Ocena występowania dystocji w Irlandii w roku 2014 wykazała, że 6,1% jałówek i 5,4% krów mlecznych kojarzonych z buhajami ras mięsnych miało trudny poród (Martin-Collado i in., 2017). Degano and Vicario (2007) odnotowali częstość występowania dystocji we włoskiej populacji bydła simentalskiego na poziomie 3,9 – 9,6% u pierwiastek i 1,6 – 4,3% u wieloródek. Korelacja genetyczna między występowaniem dystocji przy pierwszym i kolejnych porodach była wysoka, zarówno dla efektu bezpośredniego ( $r=0,97$ ), jak i matczynego ( $r=0,78$ ), wskazując, że cecha ta u pierwiastek i wieloródek warunkowana jest w większości przez te same geny. W pracy autorstwa de Maturana i in., (2007), częstość występowania dystocji u pierwiastek rasy holsztyńskiej w Hiszpanii także była wyższa (3,1%) niż u krów cielących się po raz drugi (1,7%) lub trzeci i kolejny (1,9%). Natomiast Atashi i in. (2012) zaobserwowali istotną różnicę w częstości występowania dystocji u pierwiastek (1,4%) i wieloródek (1,2%) rasy holsztyńskiej w Iranie. Przyjmuje się, że optymalny wiek pierwszego wycielenia pod kątem łatwości porodu wynosi około 22 – 27 miesięcy (średnio około 24 miesiące). Niższy wiek (poniżej optimum) skutkuje u jałówek występowaniem dystocji głównie w wyniku niedostatecznych wymiarów miednicy i, w mniejszym stopniu, zbyt dużych wymiarów płodu (Mee i in., 2014). Zbyt późny wiek pierwszego wycielenia także prowadzić może do wystąpienia dystocji ze względu na nadmierne odkładanie tkanki tłuszczowej w okolicy obręczy miedniczej (Raboisson i in., 2013). W efekcie, istnieje krzywoliniowa zależność między trudnością porodu a wiekiem pierwszego wycielenia (Kamal i in., 2014). Na koniec należy zaznaczyć, że niektórzy



autorzy nie wykazali istotnego wpływu kolejnej ciąży (Boujenane, 2017; Kumar i in., 2017) lub wieku wycielenia (Bazzi, 2010; Yıldıız i in., 2011) na występowanie dystocji.

Kolejnym ważnym czynnikiem jest trudność poprzedniego porodu (Arthur i in., 2000). Stwierdzono, że u krów, które doświadczyły wcześniej dystocji istniała 1,6 razy większa szansa udzielenia pomocy porodowej przy kolejnym wycieleniu (Mee i in., 2011). Ponadto, u zwierząt takich ryzyko dystocji było prawie trzy razy większe. Także Fenlon i in. (2017) odnotowali istotnie wyższe prawdopodobieństwo wystąpienia trudności porodowych w przypadku udzielenia pomocy porodowej lub wystąpienia dystocji przy poprzednim wycieleniu. Dodatkowo, autorzy ci zaobserwowali istotną interakcję między kondycją a trudnością poprzedniego porodu.

Jeżeli chodzi o sezon wycielenia, w naszej lokalizacji geograficznej, przypadki dystocji występują częściej w okresie jesienno-zimowym niż wiosenno-letnim, ze względu na łatwiejszy dostęp do pastwiska latem, większą aktywność fizyczną zwierząt w tym okresie i dłuższe dni. Z kolei odnotowywana wyższa częstość występowania dystocji jesienią i zimą spowodowana jest m. in. bardziej dokładnym doglądaniem zwierząt przez hodowcę. Podobne różnice sezonowe obserwowane są także w innych strefach klimatycznych, np. częstość występowania trudnych wycieleń u krów mlecznych regionu Jammu w Indiach była wyższa w okresie zimowym (październik – luty) niż deszczowym (lipiec – wrzesień) i letnim (marzec – czerwiec) (Resum i in., 2017). U krów rasy holsztyńskiej w Iranie dystocja występowała częściej w okresie zimowym i wiosennym w porównaniu z okresem jesiennym i letnim (Atashi i in., 2012). Natomiast u bydła mieszańcowego w Turcji, trudniejsze wycielenia występowały latem w porównaniu z pozostałymi porami roku, co autorzy tłumaczyli negatywnym wpływem stresu cieplnego na przebieg wycieleń (Gurcan i in., 2014). Na koniec należy wspomnieć, że nie zawsze odnotowywano istotny wpływ sezonu wycielenia na występowanie dystocji (Olson i in., 2009; Johanson i in., 2011; Boujenane, 2017).

Także żywienie może istotnie oddziaływać na ryzyko wystąpienia trudnych wycieleń. Wykazano, że odpowiednia ilość składników mineralnych i witamin w okresie zasuszenia ma duże znaczenie przy zapobieganiu trudnym porodom. Aczkolwiek, zbyt wysoka podaż witaminy D w tym okresie może być przyczyną dystocji, podobnie jak zbyt niska wapnia (Correa i in. 1990). W okresie zasuszenia, zawartość suchej masy w dawce pokarmowej powinna wynosić około 2% masy ciała, zaś wapnia i fosforu odpowiednio 0,6% i 0,4% suchej masy (Jaśkowski, 1999). Rodzaj diety może oddziaływać na ryzyko dystocji także w sposób pośredni. Krowy żywione paszami

treściwymi mają mniejszą objętość żwacza w porównaniu ze zwierzętami przebywającymi na pastwisku i, w konsekwencji, mogą mieć większą przestrzeń w jamie brzusznej, w której znajduje się niestabilna ciężarna macica, podatna na skręt. Należy jednak zaznaczyć, że niektóre badania z udziałem pierwiastek i wieloródek ras mlecznych nie wykazały znaczącego wpływu żywienia w ostatnim miesiącu ciąży na masę urodzeniową cielęcia lub ryzyko dystocji (Mee, 2008a). Natomiast znaczne niedożywienie w ostatnim trymestrze ciąży, skutkujące utratą kondycji w stopniu prowadzącym do redukcji masy łożyska i płodu oraz powierzchni miednicy może w rezultacie doprowadzić do wystąpienia dystocji lub martwego urodzenia ze względu na ryzyko bezwładu macicy i nieodpowiedniego rozluźnienia więzadeł miednicy. Podobnie zbyt intensywne żywienie prowadzące do wzrostu kondycji skutkuje zbyt dużymi wymiarami płodu i nadmiernym odkładaniem się tkanki tłuszczowej u pierwiastek, a w efekcie wystąpieniem dystocji oraz martwych urodzeń (Krocker i Cummins, 1979). W niektórych badaniach nie wykazano jednak istotnego wpływu stosowanej diety na trudność porodów [np. Amanlou i in. (2008)].

Jak już wspomniano, żywienie silnie związane jest z kondycją. Nadmierna lub zbyt niska kondycja przy wycieleniu stanowi istotny czynnik warunkujący trudność porodu (Schröder i Staufenbiel, 2006). Obecnie w Irlandii docelowa wartość kondycji przy wycieleniu powinna wynosić 2,75 – 3,00 punktu (w skali pięciostopniowej) dla jałówek cielących się przy masie ciała 540 – 570 kg lub 85 – 90% masy ciała dorosłej krowy w wieku 24 miesięcy. Taka kondycja związana jest z odpowiednim czasem trwania porodu i redukcją ryzyka wystąpienia martwych urodzeń (Lorenz i in., 2011). Przy masie ciała przy wycieleniu wynoszącej 520 – 600 kg i kondycji w przedziale 2,75 – 3,50 punktu nie odnotowano istotnych różnic w częstości występowania dystocji u pierwiastek holsztyńsko-fryzyjskich (Mee, 2008a). U jałówek tej rasy ze zbyt niską (poniżej 260 kg) lub zbyt wysoką (powyżej 360 kg) masą ciała przy kryciu ryzyko dystocji ulegało istotnemu zwiększeniu (Drew, 1986). Obecnie zalecana masa ciała przy kryciu jałówek holsztyńsko-fryzyjskich w Irlandii wynosi 325 – 350 kg lub 55 – 65% masy ciała dorosłej krowy w wieku 15 miesięcy (Mee, 2008a). Na koniec należy jednak wspomnieć, że nie wszyscy autorzy wykazali istotny wpływ kondycji na trudność porodu [np. Berry i in. (2007)].

Choroby także mogą wpływać na ryzyko dystocji. Chociaż nie wykazano bezpośredniego wpływu *mastitis* (Gröhn i in., 2003), to obecność gorączki mlecznej, zespołu stłuszczonej wątroby i innych mogą negatywnie oddziaływać na łatwość porodu (Bobe i in., 2004). Wystąpienie gorączki mlecznej wiązało się z siedmiokrotnie wyższą szansą interwencji lekarza weterynarii podczas

porodu (Curtis i in., 1985). Z kolei według Correa i in. (1993) ryzyko trudnego wycielenia z pomocą hodowcy lub lekarza weterynarii było około 2,5 razy większe niż w przypadku, gdy gorączka mleczna nie występowała. Podobnie w pracy Erb i in. (1985) stwierdzono, że krowy, które miały gorączkę mleczną charakteryzowały się ponad czterokrotnie większym prawdopodobieństwem trudnego wycielenia niż krowy bez gorączki, przy czym związek ten mógł wynikać z wystąpienia bezwładu macicy w wyniku hipokalcemii. Także Thompson i in. (1983) podali, że trudny poród, gorączka mleczna i zatrzymanie łożyska były wzajemnie ze sobą powiązane i występowały jako zespół schorzeń.

Na koniec wielkość stada może wpływać na trudność porodu m. in. poprzez charakterystykę personelu zatrudnionego przy obsłudze krów (małe gospodarstwa rodzinne vs. duże gospodarstwa z pracą najemną). Różnice między stadami mogą też wynikać z odmiennych umiejętności personelu przy radzeniu sobie z dużymi cielętami przy porodach, zwłaszcza u jałówek. Należy jednak zaznaczyć, że nie we wszystkich badaniach wykazano istotny wpływ wielkości stada na trudność porodów (Mee i in., 2011). Dokładniejsze omówienie przyczyn dystocji zawarto w pracy przeglądowej (1.2.4).

Obecnie częstość trudnych porodów w polskiej populacji bydła mlecznego szacowana jest na około 3,3% (rozkład poszczególnych kategorii przedstawia się następująco: poród samodzielny – 46,6%, poród łatwy – 49,1%, poród trudny – 2,9%, poród bardzo ciężki – 0,3%, poronienie – 1,1%, cesarskie cięcie – 0,1%) (PFHBiPM, 2019). Trudne porody u bydła wiążą się z wieloma niekorzystnymi skutkami: obniżeniem wydajności mleka, tłuszczu i białka, zmniejszeniem zawartości białka i tłuszczu oraz wyższą liczbą komórek somatycznych w mleku (Nogalski, 2004; Berry i in., 2007; Schuenemann i in., 2011; Atashi i in., 2012; Ercan i in., 2017; Kumar i in., 2017), wydłużeniem okresu międzyciążowego, międzywycieleniowego, okresu od wycielenia do pierwszego zabiegu i zacielenia, zmniejszeniem odsetka zacieleni przy pierwszej inseminacji, zwiększeniem liczby zabiegów przypadających na zacielenie (Dematawewa i Berger, 1997; McHugh i in., 2011; Ribeiro i in., 2013; Martin-Collado i in., 2017; Rutten i in., 2017), zwiększeniem ryzyka wystąpienia schorzeń takich jak: zatrzymanie łożyska, *metritis*, gorączka mleczna, infekcja dróg rodnych, cysty jajnikowe, lewostronne przemieszczenie trawieńca (Atashi i in., 2012; Kaya i in., 2015; Aziz i Mohammed, 2016; Bayram i in., 2016; Hiew i in., 2016). Mogą też być przyczyną ubycia krów ze stada w wyniku padnięcia lub brakowania oraz powodem martwych urodzeń i padnięć cieląt (Nogalski, 2004; Tenhagen i in., 2007; Azizzadeh i in., 2012;

Barrier i in., 2012, 2013; Mane i Bhangre, 2015; Kovács i in., 2017; Rutten i in., 2017), jak również powtórnego wystąpienia trudności przy następnym porodzie oraz ogólnego pogorszenia dobrostanu zwierząt, stanowiąc tym samym jedno z najbardziej bolesnych przypadłości (Mee i in., 2011; Miedema i in., 2011; Martin-Collado i in., 2017; Salimi i in., 2017). Wszystkie te niekorzystne konsekwencje rzutują na wymierne straty ekonomiczne, które w Stanach Zjednoczonych oszacowano przeciętnie na około 28 dolarów na jałówkę i około 10 dolarów na krowę (Dematawewa i Berger, 1997; Fiedlerová i in., 2008; Piwczyński i in., 2013; Purfield i in., 2014). Jednak całkowite koszty bardzo trudnego wycielenia mogą wynosić nawet 500 euro lub 780 dolarów na przypadek (Mee, 2008b; Mee i in., 2011). Toteż uzasadnione wydaje się podjęcie prób wykorzystania metod zgłębiania danych do wcześniejszego wskazywania osobników z potencjalnymi trudnościami przy wycieleniu, zwłaszcza na podstawie stosunkowo łatwo dostępnych z dokumentacji gospodarstwa informacji (np. z bazy danych programu do zarządzania stadem). Metody *data mining* są już dość powszechnie stosowane w zootechnice, ale stosunkowo niewiele jest prac dotyczących wykorzystania metod statystycznych do przewidywania trudności wycieleń (Morrison i in., 1985a, 1985b; Basarab i in., 1993; Johnson i in., 1988; Arthur i in., 2000; Piwczyński i in., 2013; Fenlon i in., 2017), zwłaszcza u bydła mlecznego.

We wcześniejszych pracach stosowano przede wszystkim modele regresji wielorakiej lub analizy dyskryminacyjnej przy przewidywaniu zjawiska dystocji (Morrison i in., 1985a, 1985b; Basarab i in., 1993; Johnson i in., 1988; Arthur i in., 2000). Morrison i in. (1985a, 1985b) wykorzystali wyżej wymienione rodzaje modeli do predykcji trudności wycieleń u bydła mięsnego. Uwzględniono w nich następujące predyktory: wiek wycielenia, masę ciała krowy, wysokość, szerokość i powierzchnię miednicy przy kryciu i wycieleniu oraz długość ciąży. Trudność porodów opisywana była na skali dwustopniowej (łatwy vs. trudny). Cytowani autorzy wykorzystali także zmienne dotyczące cielęcia, ale taki model nie mógł być użyty do predykcji, ze względu na fakt, że wartości tych zmiennych dostępne były już po wycieleniu (urodzeniowa masa ciała cielęcia, głębokość klatki piersiowej, długość ciała, wysokość itd.). Stąd też modele te utworzono tylko w celu określenia istotnych czynników wpływających na wystąpienie trudnego porodu. Do najważniejszych predyktorów dystocji w modelu analizy dyskryminacyjnej należały wiek wycielenia oraz wysokość miednicy przy wycieleniu. Z kolei najważniejsze czynniki ustalone na podstawie modelu regresji wielorakiej obejmowały szerokość miednicy przy kryciu oraz wysokość miednicy przy wycieleniu. W swej kolejnej pracy Morrison i in. (1985b) wykorzystali do

przewidywania dystocji model analizy dyskryminacyjnej obejmujący tylko dwa predyktory (powierzchnię miednicy i wiek wycielenia) oraz zweryfikowali jego zdolności predykcyjne na niezależnym zbiorze testowym. Uzyskana czułość (odsetek poprawnie zaklasyfikowanych wycieleń trudnych) wynosiła 57,1%, specyficzność (odsetek poprawnie zaklasyfikowanych wycieleń łatwych) równa była 90,5%, zaś trafność (proporcja poprawnie zaklasyfikowanych wycieleń z obu wyróżnionych kategorii) wynosiła 84,4%. Wartości prawdopodobieństw *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych i prawdziwie negatywnych, świadczące o wiarygodności przewidywań, wynosiły odpowiednio 57,1% oraz 90,5%. Podobnie jak poprzednicy, Johnson i in. (1988) wykorzystali regresję wieloraką oraz analizę dyskryminacyjną przy przewidywaniu trudności wycieleń jałówek rasy hereford. W modelach regresyjnych najistotniejszą zmienną okazała się urodzeniowa masa ciała cielęcia. Na drugim miejscu pod względem ważności znalazła się powierzchnia miednicy jałówki przy wycieleniu. Do najważniejszych zmiennych dostępnych przy kryciu, które zostały uwzględnione w modelu regresji wielorakiej należały stosunek masy ciała do wysokości mierzonej w wieku ośmiu miesięcy, powierzchnia miednicy oraz szerokość w kulszach. Cytowani autorzy zastosowali też cztery różne modele analizy dyskryminacyjnej uwzględniające różne zestawy predyktorów. Wykorzystano przy tym pięć kategorii trudności porodu. Spośród wszystkich analizowanych zmiennych (w liczbie 49) najważniejszymi okazały się urodzeniowa masa ciała cielęcia, długość ciąży (odsetek poprawnie zaklasyfikowanych przypadków z uwzględnieniem tylko tych dwóch zmiennych wynosił 46,7%), masa ciała jałówki w wieku sześciu oraz ośmiu miesięcy, stosunek masy ciała jałówki do wysokości w wieku ośmiu miesięcy oraz szerokość miednicy jałówki przy kryciu. Model taki poprawnie klasyfikował 60,2% porodów. Także zmniejszenie liczby kategorii trudności porodu z pięciu do dwóch (bez pomocy i z pomocą) skutkowało poprawą jakości modelu (odsetek poprawnych klasyfikacji wzrósł do 85,5%). Z kolei model uwzględniający zmienne dostępne przy kryciu i wycieleniu poprawnie klasyfikował 50,0% oraz 70,4% wszystkich porodów odpowiednio w systemie pięcio- i dwuklasowym, zaś model oparty tylko na zmiennych dostępnych przy kryciu poprawnie przydzielał do kategorii 50,0% oraz 66,7% porodów odpowiednio w systemie pięcio- i dwuklasowym. Na koniec należy podkreślić, że modele wykorzystywane w cytowanej pracy były testowane na tym samym zbiorze, na którym zostały utworzone, co oczywiście generuje zbyt optymistyczne prognozy.

Także Basarab i in. (1993) zastosowali model analizy dyskryminacyjnej do predykcji dystocji u jałówek ras mięsnych. Stworzyli dwie grupy modeli uwzględniających różne rodzaje predyktorów: dostępne przy kryciu oraz przy potwierdzeniu ciąży (wiek jałówki, masa ciała, kondycja, wysokość, szerokość i powierzchnia miednicy, wysokość w krzyżu i w kłębie oraz indeksy będące stosunkami wyżej wymienionych pomiarów). Uwzględniono też szacowaną średnią urodzeniową masę ciała cielęcia. Czułość, specyficzność i trafność na zbiorze testowym dla modeli obejmujących zmienne dostępne przy kryciu wynosiły odpowiednio: 24,6 – 30,6%, 82,6 – 83,7% oraz 78,5 – 79,0%. Wartości prawdopodobieństw *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych i prawdziwie negatywnych równe były odpowiednio 52,0 – 76,9% oraz 85,5 – 90,4%. Z kolei modele uwzględniające zmienne dostępne przy potwierdzeniu ciąży poprawnie klasyfikowały 67,7 – 90,7% wycieleń jałówek (czułość: 5,3 – 25,0%, specyficzność: 73,4 – 96,7%, prawdopodobieństwo *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych: 59,3 – 80,0%, prawdziwie negatywnych: 89,3 – 89,9%).

Arthur i in. (2000) również zastosowali modele regresji wielorakiej oraz analizy dyskryminacyjnej przy przewidywaniu dystocji u jałówek rasy angus (dwie klasy trudności porodu: łatwe vs. trudne). Spośród uwzględnionych predyktorów, najważniejszy okazał się stosunek urodzeniowej masy ciała cielęcia do masy ciała jałówki przy wycieleniu. Autorzy analizowali dwie grupy modeli, obejmujące różne zestawy predyktorów (zmienne dostępne przy wycielenu oraz kojarzeniu). Czułość, specyficzność i trafność na zbiorze testowym wynosiły odpowiednio 0 – 40,0%, 85,6 – 90,1% i 80,5 – 81,2% dla pierwszej grupy modeli oraz 0 – 8,3%, 80,2 – 100,0% i 72,6 – 90,3% dla drugiej. Prawdopodobieństwa *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych oraz prawdziwie negatywnych równe były odpowiednio 0 – 23,1% i 88,3 – 93,0% (pierwsza grupa) oraz 3,8% lub brak możliwości wyliczenia i 88,0 – 90,8% (druga grupa). Należy podkreślić, że autorzy powyższych prac wykorzystywali często stosunkowo trudne do uzyskania w rutynowy sposób (choć dość silnie dyskryminujące) predyktory (jak wymiary miednicy lub dodatkowe indeksy morfometryczne). Ponadto, badania te dotyczyły zasadniczo ras mięsnych.

W dostępnym piśmiennictwie stosunkowo mało jest prac nad zastosowaniem innych (poza omówionymi wyżej modelami regresji i analizy dyskryminacyjnej) metod statystycznych do predykcji trudności porodów. Piwczyński i in. (2013) wykorzystali drzewa decyzyjne do przewidywania dystocji i martwych urodzeń u bydła mlecznego. Autorzy ci zastosowali drzewa

klasyfikacyjne i regresyjne (CART; ang. *classification and regression trees*) oraz drzewa CHAID (automatyczny detektor interakcji za pomocą testu chi-kwadrat; ang. *chi-squared automatic interaction detector*). Uwzględniono przy tym cztery kategorie trudności porodu. Do najważniejszych predyktorów dystocji należały: kolejna laktacja, masa urodzeniowa cielęcia, długość ciąży oraz system utrzymania. Cytowani autorzy w swojej pracy bardziej skupili się na analizie potencjalnych predyktorów dystocji niż na zdolnościach predykcyjnych analizowanych modeli, toteż informacja na temat wskaźników jakości była stosunkowo mało obszerna [trafność wynosząca 61,5%; pole powierzchni pod krzywą charakterystyki roboczej odbiorcy (AUC; ang. *area under the curve*) równe 0,69 – 0,71].

W kolejnych badaniach nad predykcją dystocji Hiew i in. (2016) wykorzystali zarówno model LR, jak i GLZ do przewidywania trudności porodów u jałówek i krów rasy holsztyńsko-fryzyjskiej w oparciu o serię zmiennych dla jałówki lub krowy (szerokość, wysokość i powierzchnia miednicy, obwód klatki piersiowej, wysokość w kłębie, szerokość w kulszach, stosunek powierzchni miednicy do obwodu klatki piersiowej), cielęcia (obwód racicy kończyny przedniej, obwód klatki piersiowej i płeć cielęcia) oraz jałówki lub krowy i cielęcia jednocześnie (stosunek obwodu racicy cielęcia do szerokości, wysokości i powierzchni miednicy matki). Czulość i specyficzność dla modelu regresji logistycznej wynosiły odpowiednio 56,0% oraz 89,0%. Wartość AUC równa była 0,81. Najważniejszym predyktorem dystocji uwzględnionym w modelu regresji logistycznej była powierzchnia miednicy. W przypadku zastosowania jednocześnie zmiennych dostępnych dla jałówki lub krowy i cielęcia, stosunek obwodu racicy kończyny przedniej cielęcia do powierzchni miednicy matki okazał się najważniejszym predyktorem dystocji (AUC = 0,78). Czulość i specyficzność takiego modelu równe były odpowiednio 50,0% oraz 93,0%. W cytowanej pracy nie podano jednak dodatkowych wskaźników jakości modeli (jak chociażby trafność, czy prawdopodobieństwa *a posteriori*), nie omówiono szerzej zdolności predykcyjnych modelu GLZ, ani nie wykorzystywano odrębnego zbioru testowego.

Bardziej kompleksową analizę możliwości przewidywania dystocji u bydła mlecznego przeprowadzili Fenlon i in. (2017). Wykorzystali oni cztery różne rodzaje modeli (GLZ, CART, las losowy oraz ANN). Rozpatrywano trzy kategorie trudności porodu (bez pomocy człowieka, niewielka pomoc oraz dystocja). Dodatkowo, w celu umożliwienia porównania uzyskanych wyników z rezultatami innych autorów, Fenlon i in. (2017) zastosowali system dwuklasowy

(wycielenia łatwe vs. trudne). Cytowani autorzy analizowali początkowo dość obszerny zbiór potencjalnych predyktorów (około 120 zmiennych). Do najważniejszych z nich zaliczono: kondycję przy wycieleniu, kolejną laktację, szacowany wpływ efektu bezpośredniego i matczynego na trudność porodu, rasę buhaja – ojca cielęcia, udział genów rasy holsztyńskiej, ciążę bliźniacze oraz pomoc przy poprzednim porodzie. Czułość analizowanych modeli na zbiorze testowym wahała się od 0% do 2,7%, przy specyficzności wynoszącej 98,8 – 100,0%. Ogólna trafność klasyfikacji mieściła się w przedziale 93,1 – 94,2%. Wartości prawdopodobieństw *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych oraz prawdziwie negatywnych były równe odpowiednio 0 – 100,0% oraz 94,2 – 94,3%.

Spośród bardziej popularnych metod *data mining* należy wymienić: ANN, metodę MARS, NBC, SVM, drzewa decyzyjne oraz GDA i LR. ANN jest systemem przetwarzania informacji wzorowanym na układach biologicznych, takich jak tkanka nerwowa lub mózg (Adamczyk i in., 2005; Fernández i in., 2007; Samarasinghe, 2007; Hassan i in., 2009; Gandhi i in., 2010). ANN stanowią propozycję odmiennego podejścia niż tradycyjne metody statystyczne, w których konieczne jest określenie algorytmu i zapisanie go w postaci programu. ANN stopniowo uczą się na podstawie dostarczonego zbioru danych celem uchwycenia liniowych i nieliniowych zależności między zmiennymi tak, aby umożliwić wiarygodne przewidywanie nowych przypadków, przy czym są stosunkowo odporne na braki i błędy w danych. Przede wszystkim zaś mają zdolność równoległego przetwarzania danych (Heald i in., 2000; Lamontagne i Marchand, 2006; Craninx i in., 2008; Edriss i in., 2008; Njubi i in., 2010; Sun i in., 2010; Gianola i in., 2011).

MARS jest metodą regresji nieparametrycznej (Friedman, 1991), która aproksymuje złożoną zależność nieliniową za pomocą serii funkcji bazowych określonych na różnych przedziałach zmiennych niezależnych (predyktorów) (Celik i in., 2017; Aksoy i in., 2018a,b; Aytekin i in., 2018; Celik i in., 2018). Przy stosowaniu tej metody nie czyni się więc żadnych założeń odnośnie analizowanej zależności funkcyjnej pomiędzy zmiennymi (Balshi i in., 2009; Akin i in., 2020). Ponadto MARS daje duże możliwości dopasowania funkcji wielu zmiennych. NBC jest bardzo prostą, a jednocześnie efektywną w praktyce metodą klasyfikacji. Podstawę jego działania stanowi twierdzenie Bayesa. Dodatkowym uproszczeniem jest założenie o warunkowej niezależności predyktorów. W zastosowaniach praktycznych to założenie jest często niespełnione; jednak okazuje się, że fakt ten nie ma znacząco ujemnego wpływu na jakość i dokładność klasyfikacji (Wu i Kumar, 2010). Metoda SVM należy do jednej z najczęściej wykorzystywanych



technik uczenia nadzorowanego w regresji i klasyfikacji. SVM wykorzystuje transformację oryginalnych danych z przestrzeni o niewielkiej liczbie wymiarów (gdzie przypadki nie są liniowo separowalne) do przestrzeni wielowymiarowej i rozdziela przypadki należące do wyróżnionych klas za pomocą hiperpłaszczyzny (Chen i Siu, 2020; Meng i in., 2020).

Drzewo decyzyjne stanowi zbiór węzłów połączonych ze sobą za pomocą gałęzi. Procedura tworzenia drzewa rozpoczyna się od korzenia (zawierającego wszystkie przypadki uczące) i kończy na węzłach zewnętrznych (liściach) obejmujących zbiory przypadków jak najbardziej jednorodnych pod względem ich przynależności klasowej (Chen i in., 2017). W każdej iteracji algorytmu budowy drzewa, wybierany jest najlepszy podział danego węzła (rodzica) na węzły potomne (dzieci) oparty na selekcji odpowiedniej zmiennej i kryterium podziału (Xia i in., 2017). Do najczęściej wykorzystywanych algorytmów budowy drzew decyzyjnych należą CART, CHAID oraz QUEST (ang. *quick, unbiased, efficient statistical trees*). Do rodzin klasyfikatorów zalicza się las losowy (RF; ang. *random forest*) oraz drzewa wzmacniane (BT; ang. *boosted trees*). Obie metody oparte są na wykorzystaniu wielu pojedynczych drzew decyzyjnych (Koronacki i Ćwik, 2005; Brillante i in., 2015). Z kolei GDA polega na zastosowaniu ogólnego modelu liniowego do zagadnienia analizy funkcji dyskryminacyjnej, zaś LR oraz GLZ stanowią jedne z bardziej tradycyjnych metod klasyfikacyjnych (Thirunavukkarasu i Kathiravan, 2006; Gaddis i in., 2016).

### **Cel i zakres prac badawczych**

Biorąc pod uwagę liczne niekorzystne konsekwencje dystocji, a także możliwość zastosowania metod zgłębiania danych do wcześniejszej detekcji krów z potencjalnymi problemami przy porodzie, postanowiono zweryfikować ich przydatność w tego typu zagadnieniach. Przyjęto **hipotezę, że wykorzystanie opisanych modeli *data mining* uwzględniających wyżej wymienione predyktory pozwoli na wcześniejsze wskazywanie osobników z potencjalnymi problemami przy wycieleniu.** W celu weryfikacji powyższej hipotezy przeprowadzono badania, których **głównym celem była ocena zdolności predykcyjnych modeli *data mining* przy przewidywaniu dystocji u bydła mlecznego oraz wskazanie najważniejszych predyktorów trudnego wycielenia.** Powyższy cel ogólny zrealizowano poprzez następujące cele szczegółowe:

- ocenę zdolności predykcyjnych poszczególnych modeli przy przewidywaniu dystocji na podstawie bardziej złożonego zbioru danych, obejmującego również wybrane genotypy (**H6**);
- ocenę zdolności predykcyjnych poszczególnych modeli na zredukowanym zbiorze danych, obejmującym zmienne w miarę łatwe do uzyskania z dokumentacji hodowlanej (**H2 – H5**);
- implementację wcześniej otrzymanych reguł w postaci prostego programu komputerowego mogącego wspomagać proces decyzyjny w gospodarstwie (**H1**);
- wskazanie najważniejszych predyktorów dystocji (**H2 – H6**).

### **Omówienie wyników prac wskazanych jako szczególne osiągnięcie naukowe**

W pierwszej kolejności (**H6**) do przewidywania dystocji u jałówek rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej wykorzystano modele CART, SVM oraz GLZ. Należy podkreślić, że predykcja dystocji u jałówek ma szczególne znaczenie, ponieważ nie posiadają one własnej historii przebiegu wycieleń. W omawianej pracy wyróżniono tylko dwie kategorie trudności porodu (łatwy vs. trudny) uzyskane w wyniku przekodowania oryginalnej skali czterostopniowej, wykorzystywanej w gospodarstwie. Czułość, specyficzność i trafność na niezależnym zbiorze testowym wynosiły odpowiednio 70,0%, 94,7% i 90,9% (CART) oraz 50,0%, 99,1% i 91,7% (SVM i GLZ). Można więc uznać, że wszystkie modele były dość skuteczne w przewidywaniu dystocji, aczkolwiek model CART był w tym względzie najbardziej efektywny. Uzyskana w badaniach własnych trafność dla modelu CART była wyższa niż w pracy Piwczyńskiego i in. (2013), w której wynosiła ona 61,5%. Z kolei czułość dla modeli CART oraz GLZ w badaniach własnych była znacznie wyższa niż podana przez Fenlon i in. (2017) (odpowiednio 0% i 2,7%). Specyficzność i ogólna trafność kształtowały się na podobnym poziomie jak w pracy cytowanych autorów (odpowiednio 100% i 98,8% oraz 94,1% i 93,1%). Przy przewidywaniu dystocji ważna jest też wiarygodność predykcji, mówiąca o tym, jaka część porodów zaliczonych przez model do danej klasy rzeczywiście do tej klasy należała (Morrison i in., 1985a, 1985b; Basarab i in., 1993; Arthur i in., 2000; Fenlon i in., 2017). Świadczą o tym prawdopodobieństwa *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych i prawdziwie negatywnych, które były równe odpowiednio 70,0% i 94,6% (CART) oraz 90,9% i 91,7% (SVM i GLZ). Wartości te można uznać za stosunkowo wysokie. Pierwsze prawdopodobieństwo było znacznie wyższe niż uzyskane przez Fenlon i in. (2017) (odpowiednio 0% i 12,5%), drugie zaś

kształtowało się na podobnym poziomie (94,1% w obydwu przypadkach). Z kolei wartości AUC pod krzywą charakterystyki roboczej odbiorcy (ROC; ang. *receiver operating characteristic curve*) wynosiły 0,83, 0,75 oraz 0,84 odpowiednio dla CART, SVM oraz GLZ. Krzywe ROC służą do dodatkowej oceny zdolności predykcyjnych modeli przy różnych wartościach progowych. Wykorzystuje się je przede wszystkim przy binarnych systemach klasyfikacji (dwie klasy zmiennej prognozowanej) (Fawcett, 2004). Krzywa ROC kreślona jest w prostokątnym układzie współrzędnych, gdzie na osi rzędnych odkładana jest czułość, a na osi odciętych - odsetek odpowiedzi fałszywie pozytywnych (tzw. fałszywych alarmów, tj. proporcja błędnie wskazanych porodów łatwych) (Harańczyk, 2010). Jeżeli krzywa przebiega przez punkt (0,1), (pole powierzchni pod krzywą równe jedności) oznacza to doskonałą klasyfikację, czyli klasyfikator daje same odpowiedzi prawdziwie pozytywne, a całkowicie unika fałszywie pozytywnych, natomiast przekątna biegnąca od punktu (0,0) do (1,1) (pole powierzchni pod krzywą równe 0,5) odpowiada całkowicie losowemu przypisywaniu porodów do klas i w efekcie oznacza nieprzydatność testowanego modelu (Fawcett, 2004). Wartość AUC otrzymana w badaniach własnych dla CART była wyższa niż uzyskana przez Piwczyńskiego i in. (2013) (0,69). Wartości AUC dla CART i GLZ w badaniach własnych były także wyższe niż podawane przez Fenlon i in. (2017) (odpowiednio 0,55 oraz 0,79). Warto przy tym zwrócić uwagę na ważny fakt. Mianowicie błędne klasyfikacje dokonywane przez model nie są równocenne. Niepoprawne zaklasyfikowanie porodu łatwego jako trudnego u cielącej się jałówki lub krowy wiąże się z dużo mniej poważnymi konsekwencjami (dodatkowy czas, praca i ewentualnie koszty ze strony hodowcy związane z koniecznością zbędnego nadzoru) niż sytuacja odwrotna, w której poród trudny zostaje zakwalifikowany przez model jako łatwy (ryzyko poważnych komplikacji występujących po stronie krowy lub cielęcia). Oczywiście należy mieć na uwadze, że model predykcyjny nie powinien też generować zbyt dużej liczby wspomnianych wyżej fałszywych alarmów, gdyż może to w sposób istotny negatywnie odbić się na sytuacji ekonomicznej gospodarstwa (dodatkowe koszty nieuzasadnionej pomocy porodowej). Podsumowując, w wyniku przeprowadzonych badań:

- podjęto jedną z pierwszych prób zastosowania SVM i GLZ do predykcji dystocji u jałówek ras mlecznych;
- potwierdzono dość wysokie zdolności predykcyjne analizowanych modeli przy przewidywaniu dystocji.

W dalszym toku badań postanowiono też porównać zdolności predykcyjne różnych rodzajów drzew decyzyjnych (CART, CHAID oraz QUEST) przy przewidywaniu dystocji u jałówek rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej (**H5**). Dodatkowo uzyskane wyniki predykcji odniesiono do rezultatów bardziej tradycyjnej metody statystycznej w postaci modelu GLZ. W tym przypadku zastosowano trójklasowy system oceny trudności wycieleń (porody łatwe, średnio trudne i trudne). Kategorie te otrzymano poprzez przekodowanie oryginalnej skali pięcio- lub sześciostopniowej. Odsetek poprawnie zaklasyfikowanych na zbiorze testowym porodów łatwych, średnio trudnych i trudnych za pomocą CART, CHAID, QUEST i GLZ wynosił odpowiednio: 35,1%, 18,9%, 19,8%, 43,2% (wycielenia łatwe), 68,7%, 73,9%, 81,7%, 41,7% (wycielenia średnio trudne) oraz 77,3%, 85,5%, 73,6%, 81,8% (wycielenia trudne). Ogólna trafność predykcji była równa odpowiednio: 60,4%, 59,5%, 58,6% oraz 55,4%. Można więc uznać, że powyższe modele szczególnie dobrze klasyfikowały porody należące do dwóch ostatnich kategorii. Zdolności predykcyjne GLZ nie odbiegały znacząco od jakości drzew decyzyjnych (większe różnice można zaobserwować jedynie w przypadku dwóch pierwszych kategorii). Warto przy tym wspomnieć, że drzewa decyzyjne mają dość przejrzystą strukturę, która ułatwia znacznie interpretację przez hodowcę reguł zaliczania przez model porodów do określonej kategorii (Piwczyński i in., 2012; Fenlon i in., 2017), w przeciwieństwie np. do ANN, które są często przedstawiane jako tzw. czarna skrzynka (Haykin, 2009; Celik i in., 2017). Trafność dla modeli CART i CHAID uzyskana w badaniach własnych była bardzo podobna do podanej przez Piwczyńskiego i in. (2013) (61,5%). Z kolei trafność uzyskana w badaniach własnych dla CART i GLZ była niższa niż otrzymana przez Fenlon i in. (2017) (75,2% w obydwu przypadkach). Jeszcze raz warto zaznaczyć, że w badaniach własnych podjęto próbę przewidywania dystocji u jałówek, które nie mają własnej historii przebiegu wycieleń, podczas gdy w obu powyższych cytowanych pracach analizowano krowy w różnych laktacjach. W badaniach własnych wykreślono dodatkowo tzw. wykresy zysku (ang. *gain charts*) dla poszczególnych kategorii porodu, które przedstawiają zależność między zyskiem (proporcja porodów z danej klasy spośród wszystkich należących do danej kategorii) a odsetkiem porodów przewidywanych przez model jako należących do tej kategorii w całym zbiorze danych [podobnie jak w przypadku krzywych ROC, przekątna przechodząca przez punkty (0,0) i (1,1) odpowiada modelowi losowemu, bez zdolności predykcyjnych, zaś krzywa obejmująca punkt (0,1) reprezentuje model idealny] (Ha i in., 2005; Burez i Van den Poel, 2009).

Kontynuacją badań nad wykorzystaniem drzew decyzyjnych do przewidywania trudności porodów było zweryfikowanie zdolności predykcyjnych RF, który, jak podano we wstępie, stanowi metodę *data mining* zaliczaną do rodzin klasyfikatorów (Breiman, 2001; Briec i in., 2015; Brillante i in., 2015; Selemetas i in., 2015; Brokamp i in., 2017; Hariharan i in., 2017). Tym razem (**H4**) uwzględniono zarówno wycielenia jałówek, jak i krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej. Podobnie jak w badaniach z udziałem CART, CHAID i QUEST, rozpatrywano trzy kategorie trudności porodu. Dodatkowo, celem umożliwienia porównania wyników z innymi pracami, zastosowano dwie klasy (łatwy/średnio trudny vs. trudny). Odsetek poprawnie zaklasyfikowanych porodów łatwych, średnio trudnych i trudnych oraz ogólna trafność na zbiorze testowym wycieleń jałówek wynosiły odpowiednio 39,6%, 57,4%, 83,6% oraz 60,1%, zaś analogiczne proporcje u krów: 69,4%, 67,6%, 0,0% oraz 66,0%. Na tej podstawie można wnioskować, że zastosowany model dość efektywnie klasyfikował porody średnio trudne i trudne u jałówek (nieco gorzej radził sobie z klasyfikacją wycieleń łatwych) oraz porody łatwe i średnio trudne u krów. Niestety, był on całkowicie niezdolny do poprawnego wskazania chociaż jednego przypadku trudnego porodu u krów, co mogło bezpośrednio wynikać z niskiej częstości dystocji w analizowanym zbiorze danych (około 3,5%). Tak niska częstość jednej z klas zmiennej prognozowanej sprawia, że zadanie poprawnej klasyfikacji staje się bardzo trudne, w zasadzie dla większości klasyfikatorów. Tylko nieco lepszy wynik (2,7% poprawnie wskazanych porodów trudnych) otrzymali Fenlon i in. (2017), przy ogólnej trafności na poziomie 75,7%. Należy jednak zaznaczyć, że cytowani autorzy rozpatrywali początkowo znacznie bardziej obszerny zbiór predyktorów (około 120 zmiennych). W przypadku tylko dwóch klas, trafność dla jałówek w badaniach własnych wzrosła do 81,3% (przy czułości i specyficzności równej odpowiednio 70,9% oraz 86,3%), zaś dla krów do 96,5% (przy czułości i specyficzności wynoszącej odpowiednio 0% oraz 100,0%). Podobne analizy przeprowadzone przez Fenlon i in. (2017) pozwoliły uzyskać trafność na poziomie 94,2%. Porównanie zdolności predykcyjnych modelu RF oraz drzew CART, CHAID i QUEST opisanych w pracy (**H5**) wykazało, iż pierwszy z nich cechował się większą proporcją poprawnie zaklasyfikowanych porodów łatwych, zaś nieco gorzej wypadał przy przewidywaniu wycieleń średnio trudnych. Odsetek poprawnie wskazanych porodów trudnych u jałówek oraz ogólna trafność były zbliżone do wyników uzyskanych dla pojedynczych drzew. Dodatkowym elementem pracy było ponowne wykreślenie wspomnianych wyżej wykresów zysku w celu bardziej szczegółowej ewaluacji zastosowanych modeli.

Końcowym etapem badań nad oceną zdolności predykcyjnych drzew decyzyjnych (**H2**) było porównanie RF i BT na zbiorach danych z różną proporcją łatwych i trudnych wycieleń jałówek i krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czarno- oraz czerwono-białej przy użyciu dwóch różnych systemów klasyfikacji trudności przy wycieleniu (oryginał pięć klas lub przekodowane dwie klasy). Przygotowano sekwencję dziesięciu zbiorów danych różniących się proporcją trudnych i łatwych wycieleń (1:1, 1:2, 1:5, 1:10 oraz oryginalny, tj. 1:16 dla jałówek oraz 1:36 dla krów). Ponadto, do weryfikacji zdolności predykcyjnych analizowanych modeli zastosowano dwa różne schematy testowania: pierwszy, w którym modele RF i BT uczone na zbiorach z różną proporcją łatwych i trudnych wycieleń były weryfikowane na zbiorze testowym z oryginalną proporcją tych rekordów (np. model uczone na zbiorze 1:1 weryfikowany na zbiorze testowym 1:16) oraz drugi, w którym modele uczone na zbiorach z różną proporcją łatwych i trudnych wycieleń były weryfikowane na zbiorach testowych z taką samą proporcją wycieleń (np. model uczone na zbiorze 1:1 weryfikowany na zbiorze testowym 1:1). W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że czułość RF na zbiorze testowym z oryginalną proporcją łatwych i trudnych wycieleń (system dwuklasowy) znacząco spadała wraz z rosnącym udziałem łatwych wycieleń w zbiorze danych uczących (od 52,1% dla jałówek i 47,1% dla krów do 0% w obydwu przypadkach). W przeciwieństwie do czułości, specyficzność i trafność RF istotnie wzrastała (od odpowiednio 57,0% i 56,7% u jałówek oraz 72,7% i 72,0% u krów do odpowiednio 100,0% i 93,9% u jałówek oraz 100,0% i 97,2% u krów). Czułość, specyficzność i trafność uzyskane przez RF w badaniach własnych były bardzo zbliżone do wyników (odpowiednio 2,7%, 100,0% i 94,2%) podanych przez Fenlon i in. (2017). Wartości prawdopodobieństw *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych nie mogły być wyliczone w badaniach własnych dla niektórych zbiorów danych wycieleń jałówek, ponieważ czułość modeli RF spadała do zera. Podobna sytuacja wystąpiła w przypadku wycieleń krów. Wartości prawdopodobieństwa *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie negatywnych wykazywały trend podobny do specyficzności i trafności. Odmienne wyniki (wartości powyższych prawdopodobieństw równe odpowiednio 100,0% i 94,2%) otrzymali Fenlon i in. (2017). W przypadku wycieleń jałówek, czułość, specyficzność i trafność BT pozostawały na niemal niezmiennym poziomie (około 55,0%). Z kolei czułość przy detekcji trudnych porodów krów prawie nie ulegała zmianom (około 45,0%), zaś specyficzność wykazywała pewne wahania. Trafność, ogólnie rzecz biorąc, rosła istotnie wraz ze wzrastającym udziałem łatwych wycieleń. Wartości prawdopodobieństw *a posteriori*

odpowiedzi prawdziwie pozytywnych (około 7,0% i 5,0% odpowiednio dla jałówek i krów) oraz prawdziwie negatywnych (około 95,0% i 98,0% odpowiednio dla jałówek i krów) nie różniły się od siebie istotnie. W porównaniu do RF, BT charakteryzowały się większą zdolnością detekcji trudnych porodów (czułość) przy niższej specyficzności i trafności. Istotne różnice w zdolności predykcji między RF i BT wykazano na prawie wszystkich zbiorach danych. W przypadku modeli testowanych na zbiorach z proporcją łatwych i trudnych wycieleń zbliżoną do zbioru uczącego, zdolność predykcji była, ogólnie rzecz biorąc, podobna do odnotowanej na zbiorze testowym z oryginalną proporcją rekordów.

W przypadku systemu pięcioklasowego, RF testowane na zbiorze z oryginalną proporcją łatwych i trudnych wycieleń jałówek były w stanie przewidywać jedynie kategorię drugą w miarę dokładnie (około 100,0% poprawnie zaklasyfikowanych przypadków z wyjątkiem zbioru z proporcją 1:1). Klasa trzecia była przewidywana dostatecznie dobrze jedynie w przypadku modeli uczonych na zbiorze z proporcją 1:1 (86,6%). Trafność predykcji była praktycznie identyczna dla wszystkich zbiorów uczących (około 70,0%) z wyjątkiem pierwszego (proporcja 1:1). Modele RF najdokładniej przewidywały klasę pierwszą i drugą wycieleń krów (odpowiednio około 56,0% i 75,0% z wyjątkiem zbioru pierwszego z proporcją 1:1, gdzie wartości te wynosiły odpowiednio 28,7% oraz 20,3%). Odsetek poprawnie zaklasyfikowanych przypadków z klasy trzeciej kształtował się na poziomie poniżej 21,0%, zaś dla pozostałych kategorii porodów 0,0%. Trafność wynosiła około 67,0%. W systemie trójklasowym wykorzystywanym przez Fenlon i in. (2017) ogólna trafność dla RF na zbiorze testowym (75,7%) była nieznacznie wyższa niż w badaniach własnych. Z kolei modele BT klasyfikujące porody jałówek przewidywały klasę pierwszą i piątą najdokładniej (odpowiednio około 50,0% i 45,0%). Odsetek poprawnie zaklasyfikowanych przypadków z pozostałych klas był znacznie niższy. Trafność pozostawała na niemal niezmiennym poziomie (około 15,0%). Modele BT dokonujące predykcji trudności wycieleń krów przewidywały klasy pierwszą i drugą najdokładniej (odpowiednio około 48,0% i 55,0%). Trafność predykcji była znacznie wyższa niż u jałówek (około 50,0%). W przypadku modeli testowanych na zbiorach z proporcją łatwych i trudnych wycieleń zbliżoną do zbioru uczącego, jakość predykcji była, ogólnie rzecz biorąc, podobna do odnotowanej na zbiorze testowym z oryginalną proporcją rekordów (pewne różnice odnotowano w wartościach trafności dla jałówek i krów).

Porównanie systemu dwu- i pięcioklasowego przy detekcji dystocji u jałówek wykazało, iż pierwszy z nich dawał, generalnie, lepsze wyniki predykcji. Wyjątkiem był model RF uczony na

zbiorze z proporcją 1:1. Także modele BT dla krów przewidywały przypadki dystocji dokładniej oraz charakteryzowały się wyższą ogólną trafnością w systemie dwuklasowym. Modele RF dla krów cechowały się wyższą ogólną trafnością we wspomnianym wyżej systemie, ale ich zdolność do poprawnego wskazywania trudnych wycieleń na zbiorach 1:1 oraz 1:10 była niższa.

W ramach dalszych badań nad oceną zdolności predykcyjnych modeli *data mining* przy przewidywaniu dystocji u jałówek i krów ras mlecznych postanowiono porównać jednocześnie większą liczbę różnych modeli, w tym różne rodzaje ANN, oraz dwa różne systemy klasyfikacji trudności porodów (dwie lub trzy klasy) (**H3**). Przy dwóch kategoriach trudności porodu najwyższą czułość (85,5%), specyficzność (96,9%) oraz trafność (81,3%) na zbiorze testowym wycieleń jałówek stwierdzono odpowiednio w przypadku perceptronu wielowarstwowego z jedną warstwą ukrytą (MLP1; ang. *multilayer perceptron with one hidden layer*), NBC oraz GDA. Uzyskaną w badaniach własnych dla różnych rodzajów ANN czułość (78,2 - 85,5%) można uznać za stosunkową wysoką, zwłaszcza w porównaniu z wynikami Fenlon i in. (2017), gdzie była ona zerowa, co oznacza, że przygotowana przez cytowanych autorów sieć neuronowa nie była w stanie poprawnie zaklasyfikować nawet jednego trudnego porodu. Z kolei specyficzność (75,7 – 78,3%) i trafność (78,0 – 80,1%) były niższe niż w cytowanej pracy (odpowiednio 99,7% oraz 93,7%). Uzyskane w badaniach własnych czułość (69,1%) i specyficzność (86,7%) dla modelu LR były odpowiednio wyższe i niższe niż wartości (50,0 - 56,0% oraz 89,0 - 93,0%) podawane przez Hiew i in. (2016). Należy jednak podkreślić, że cytowani autorzy obliczyli oba wskaźniki na podstawie zbioru uczącego, a nie testowego, jak w badaniach własnych, w związku z czym wyniki te można uznać za zbyt optymistyczne. Największe wartości prawdopodobieństw *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych (81,6%) i prawdziwie negatywnych (91,6%) uzyskano w badaniach własnych odpowiednio dla NBC i MLP1. Pierwsze z nich było znacząco wyższe, drugie zaś nieznacznie niższe niż w publikacji autorstwa Fenlon i in. (2017). Najwyższą czułość (60,0%), specyficzność (100,0%) i trafność (96,5%) w badaniach własnych na zbiorze testowym wycieleń krów stwierdzono odpowiednio w przypadku perceptronu wielowarstwowego z dwoma warstwami ukrytymi (MLP2; ang. *multilayer perceptron with two hidden layers*) oraz NBC, GDA i LR (dwa ostatnie wskaźniki). Podobnie jak w przypadku zbioru danych wycieleń jałówek, czułość dla ANN (40,0 – 60,0%) była wyższa niż w pracy Fenlon i in. (2017), zaś specyficzność (62,4 – 66,8%) i ogólna trafność (61,6 – 66,0%) niższe. Uzyskana w badaniach własnych czułość dla modelu LR była zerowa, co oznacza, że model ten nie był w stanie poprawnie wskazać ani jednego trudnego



porodu. Specyficzność zaś równa była 100,0%. W tym kontekście wartości otrzymane przez Hiew i in. (2016) były bardziej korzystne, aczkolwiek należy mieć na uwadze wyżej podane zastrzeżenie. Największe wartości prawdopodobieństw *a posteriori* odpowiedzi prawdziwie pozytywnych (5,6%) i prawdziwie negatywnych (97,8%) w badaniach własnych uzyskano dla MLP2. Były one nieznacznie wyższe niż prezentowane przez Fenlon i in. (2017).

Przy trzech kategoriach trudności porodu, najwyższą proporcję poprawnie zaklasyfikowanych wycieleń łatwych (37,8%), średnio trudnych (80,0%) i trudnych (84,6%) na zbiorze testowym jałówek odnotowano odpowiednio dla GDA, NBC oraz MARS. Największą trafność, czyli odsetek poprawnie zaklasyfikowanych porodów ze wszystkich wyróżnionych klas (58,9%) uzyskano w przypadku metody MARS. Trafność w badaniach własnych uzyskana w systemie trójklasowym dla ANN (51,5 – 58,0%) była niższa niż w publikacji Fenlon i in. (2017) (74,6%). Najwyższą proporcję poprawnie zaklasyfikowanych wycieleń łatwych (68,9%) i średnio trudnych (87,8%) na zbiorze testowym krów odnotowano odpowiednio dla GDA oraz NBC. Niewielką proporcję trudnych porodów krów (6,7%) potrafił wskazać prawidłowo tylko model MARS, podczas gdy wszystkie pozostałe nie zaklasyfikowały poprawnie ani jednego przypadku. Największą trafność (64,9%) uzyskano dla MLP2 i sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF; ang. *radial basis function*). Z kolei trafność otrzymana w badaniach własnych dla ANN (63,4 – 64,9%) była niższa niż w pracy Fenlon i in. (2017). W systemie dwuklasowym wartości AUC na zbiorze testowym wycieleń jałówek wynosiły 0,86 - 0,87, zaś u krów były mniejsze, w przedziale 0,51 – 0,69. AUC uzyskane w badaniach własnych dla ANN (około 0,86) były wyższe niż w pracy Fenlon i in. (2017) (0,76) w przypadku wycieleń jałówek, ale niższe w przypadku porodów krów (0,51 - 0,69). Z kolei AUC obliczone w badaniach własnych dla LR (0,68 - 0,86) mieściły się w szerszym zakresie niż analogiczne wartości dla LR (0,78 - 0,81) otrzymane przez Hiew i in. (2016). Podsumowując, w wyniku przeprowadzonych badań:

- podjęto jedną z pierwszych prób zastosowania BT, MARS, NBC, QUEST do predykcji dystocji u jałówek i krów ras mlecznych;
- podjęto jedną z pierwszych prób zastosowania wykresów zysku do przedstawienia efektów przewidywania dystocji u bydła mlecznego;
- porównano po raz pierwszy zdolności predykcyjne BT i RF na różnych zbiorach danych, przy odmiennych sposobach testowania oraz przy dwóch różnych systemach klasyfikacji trudności porodowych;

- uzyskano dość dobre wyniki predykcji trudności wycieleń u jałówek.

Kolejnym celem szczegółowym była implementacja wcześniej otrzymanych reguł w postaci prostego programu komputerowego mogącego wspomagać proces decyzyjny w gospodarstwie (**H1**). Reguły ekstrahowano z trzech rodzajów drzew decyzyjnych (CART, CHAID i QUEST) przygotowanych w ramach wcześniejszych badań (**H5**). Do skonstruowania systemu regułowego oraz zaimplementowania go w postaci przyjaznego dla użytkownika programu wykorzystano język programowania CLIPS (ang. *C Language Integrated Production System*). Odsetek poprawnie zaklasyfikowanych na zbiorze testowym wycieleń łatwych, średnio trudnych i trudnych oraz ogólna trafność na podstawie reguł pozyskanych z trzech różnych typów drzew decyzyjnych wynosiły odpowiednio: 26,1%, 76,5%, 77,3% i 60,1% (jałówki) oraz 59,2%, 69,0%, 0,0% i 62,0% (krowy). Po wprowadzeniu wartości poszczególnych zmiennych (poprzez odpowiedź na proste pytania zadawane użytkownikowi – hodowcy – przez program) system zwraca najbardziej prawdopodobną kategorię wycielenia. Podsumowując, w wyniku przeprowadzonych badań:

- podjęto jedną z pierwszych prób implementacji reguł dotyczących przewidywania trudności porodu u krów mlecznych w postaci programu komputerowego, łatwego w obsłudze przez hodowcę, a w efekcie
- stworzono prosty system wspomagania decyzji dotyczących dystocji w gospodarstwie.

Kolejnym celem szczegółowym było wskazanie najważniejszych predyktorów dystocji. W omawianych badaniach wykorzystywano trzy podstawowe zbiory danych, różniące się zestawem zmiennych predykcyjnych oraz definicją zmiennej prognozowanej. Pierwszy z nich (**H6**) obejmował następujące zmienne: udział genów HF, długość ciąży jałówki, indeks kondycji (BCS; ang. *body condition score*), wiek wycielenia, genotypy receptora estrogeny alfa (*ERα-BgII*, *ERα-SnaBI*) oraz aromatazy cytochromu P450 (*CYP19-PvuII*), sezon wycielenia (jesiennie-zimowy i wiosennie-letni). Indeks kondycji wyliczany był w sposób zapewniający właściwą interpretację przez klasyfikator optymalnej wartości BCS przy wycieleniu, za którą przyjęto 3,50 punktu. W związku z tym, wartości wyższe odejmowano od 3,50; np. jeśli jałówka uzyskała 3,75 punktu, to BCS zapisywano jako 3,25 punktu, i odpowiednio 4,00 punktu jako 3,00; 4,25 jako 2,75 itd. Uwzględnione w badaniach własnych genotypy zostały wybrane na podstawie sugestii literaturowych (Vanselow i in., 2001; Hoffmann i Schuler, 2002; Kimmins i in., 2003; Fürbass i in., 2010). Należy jednak zaznaczyć, że oznaczanie genotypów w praktyce w celu przewidywania

dystocji mogłoby być kłopotliwe, dlatego w kolejnej fazie badań wykorzystano zmodyfikowany zestaw predyktorów, łatwiejszych do uzyskania w warunkach produkcyjnych, aczkolwiek wpływ genotypów okazał się nie być aż tak znaczący przy przewidywaniu dystocji zgodnie z wynikami pracy (**H6**). Spośród rozważanych predyktorów, najważniejszymi okazały się długość ciąży, BCS oraz wiek wycielenia.

Następny zbiór danych (wykorzystywany w badaniach **H1**, **H3** – **H5**) obejmował następujące predyktory: wiek wycielenia, średnią trudność porodu córek buhaja – ojca jałówki lub krowy, kategorię gospodarstwa, w którym utrzymywano zwierzęta, sezon wycielenia, płęć cielęcica, kolejną laktację, długość poprzedniego okresu międzywycieleniowego, średnią dzienną wydajność mleka za poprzednią laktację, trudność poprzedniego wycielenia oraz występowanie *mastitis* podczas poprzedniej laktacji (pięć ostatnich zmiennych dostępnych tylko dla krów). Spośród wymienionych wyżej zmiennych, średnia trudność porodu wyliczana była na podstawie oryginalnych ocen trudności porodu córek buhaja. W ten sposób próbowano uwzględnić w analizach wpływ ojca jałówki lub krowy na trudność porodu. Z kolei kategoria gospodarstwa ustalana była na podstawie średniej wydajności mleka w stadzie. Rozpatrywano też dwa sezony wycielenia – jesienno-zimowy i wiosenno-letni. W kolejnych badaniach wykorzystywano pewne modyfikacje powyższego zbioru danych. W pracy **H5** użyto rangi buhaja – ojca jałówki (ustalaną na podstawie średniej trudności wycieleń jego córek), zaś dwie kategorie gospodarstwa wyodrębniono za pomocą metody k-średnich (Larose, 2005). Najważniejszymi predyktorami na tym zbiorze danych okazały się: średnia trudność porodów córek buhaja (lub jego ranga, obliczona na tej podstawie), kategoria gospodarstwa i wiek wycielenia (w przypadku jałówek) oraz ranga buhaja, płęć cielęcica, wiek wycielenia, średnia dzienna wydajność mleka oraz trudność poprzedniego porodu (w przypadku krów), aczkolwiek należy zaznaczyć, że dokładne uszeregowanie predyktorów różniło się między modelami.

Wreszcie w pracy **H2** wykorzystano zbiór danych obejmujący tylko siedem predyktorów: wiek wycielenia, długość ciąży, sezon wycielenia (jesień, zima, wiosna, lato), płęć cielęcica, rasa buhaja – ojca cielęcica, trudność poprzedniego wycielenia, kolejna laktacja (ostatnie dwa dostępne tylko dla krów). W tym przypadku najważniejszymi predyktorami dystocji u jałówek były: wiek wycielenia, długość ciąży, sezon wycielenia oraz rasa ojca cielęcica (dokładna kolejność różniła się w zależności od modelu). Dla krów były to: trudność poprzedniego porodu, wiek wycielenia, długość ciąży i płęć cielęcica (dokładna kolejność różniła się w zależności od modelu). Bardziej

szczegółowe omówienie wpływu różnych czynników na dystocję przedstawiono we wstępie. Warto podkreślić, że cytowani wcześniej autorzy często wykorzystywali predyktory dość trudno dostępne w praktyce produkcyjnej podczas rutynowej rejestracji wyników użytkowości (np. różne pomiary morfometryczne oraz oparte na nich indeksy). W badaniach własnych starano się przede wszystkim stosować zmienne łatwe do uzyskania z dokumentacji gospodarstwa. Podsumowując, w wyniku przeprowadzonych badań:

- sprawdzono wpływ dodatkowych zmiennych (w postaci genotypów) na trudność porodu, uzyskując dość dobre wyniki predykcji dystocji u jałówek;
- przeanalizowano możliwość przewidywania dystocji w oparciu o dane łatwo dostępne z dokumentacji hodowlanej, wprowadzając też własne zmienne (np. ranga buhaja, czy kategoria gospodarstwa) i uzyskując w miarę dobre wyniki predykcji w przypadku jałówek i gorsze dla krów.

### **Podsumowanie**

Modele CART, SVM i GLZ (**H6**) cechowały się dość wysoką zdolnością predykcji trudnych porodów jałówek. Dla drzew decyzyjnych (**H5** i **H4**) uzyskano relatywnie wysoki odsetek poprawnie zaklasyfikowanych wycieleń jałówek oraz stosunkowo duży procent poprawnie przewidywanych łatwych i średnio trudnych wycieleń krów. Niestety, zastosowany model RF nie potrafił wykryć ani jednego przypadku dystocji u krów. Z kolei porównanie RF i BT (**H2**) wykazało większą zdolność tych drugich do poprawnego wskazywania trudnych wycieleń. Stwierdzono też, że różne rodzaje sztucznych sieci neuronowych, metoda MARS oraz NBC, a także bardziej tradycyjne metody statystyczne, jak GDA i LR są przydatne przy detekcji trudnych porodów u jałówek ras mlecznych (**H3**). Nieco gorsze wyniki otrzymano w przypadku detekcji dystocji u krów.

Warto przy tym zaznaczyć, że w badaniach własnych podjęto jedne z pierwszych prób zastosowania opisywanych modeli do przewidywania dystocji u bydła mlecznego. Potencjalne wykorzystanie metod opisanych w pierwszej publikacji (**H6**) w praktyce byłoby możliwe po ich ewentualnym zaimplementowaniu w postaci programu komputerowego (czego próbę podjęto w pracy **H1**) pod warunkiem genotypowania badanych zwierząt, co mogłoby stanowić pewną trudność z hodowlanego punktu widzenia. Z kolei metody oparte na drzewach decyzyjnych oraz

GLZ (**H5** i **H4**) można by wykorzystać jako narzędzie wspomaganie decyzji podejmowanych przez hodowcę w przypadku jałówek bez konieczności zbierania kłopotliwych danych. Jednak modele te nie nadawały się do przewidywania dystocji u krów. Wreszcie zastosowanie metod opisanych w publikacji **H3** w praktyce hodowlanej wymagałoby poprawy ich zdolności predykcyjnych. Niestety, żaden z modeli analizowanych w pracy **H2** nie był na tyle dobry, aby można go było zastosować w praktyce.

## Bibliografia

- Adamczyk, K., Molenda, K., Szarek, J. A. N., & Skrzyński, G. (2005). Prediction of bulls' slaughter value from growth data using artificial neural network. *Journal of Central European Agriculture*, 6(2), 133–142.
- Adamec, V., Cassell, B. G., Smith, E. P., & Pearson, R. E. (2006). Effects of inbreeding in the dam on dystocia and stillbirths in US Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 307–314.
- Akin, M., Eydurán, S. P., Eydurán, E., & Reed, B. M. (2020). Analysis of macro nutrient related growth responses using multivariate adaptive regression splines. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 140(3), 661–670. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01763-8>
- Aksoy, A., Ertürk, Y. E., Erdogan, S., Eydurán, E., & Tariq, M. M. (2018). Estimation of honey production in beekeeping enterprises from eastern part of Turkey through some data mining algorithms. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(6), 2199–2207.
- Aksoy, A., Ertürk, Y. E., Eydurán, E., & Tariq, M. M. (2018). Comparing predictive performances of MARS and CHAID algorithms for defining factors affecting final fattening live weight in cultural beef cattle enterprises. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(6), 2279–2286.
- Amanlou, H., Zahmatkesh, D., & Nikkhah, A. (2008). Wheat grain as a prepartal cereal choice to ease metabolic transition from gestation into lactation in Holstein cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 92(5), 605–613.
- Arthur, P. F., Archer, J. A., & Melville, G. J. (2000). Factors influencing dystocia and prediction of dystocia in Angus heifers selected for yearling growth rate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51(1), 147–154. <https://doi.org/10.1071/AR99070>
- Atashi, H., Abdolmohammadi, A., Dadpasand, M., & Asaadi, A. (2012). Prevalence, risk factors and consequent effect of dystocia in Holstein dairy cows in Iran. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(4), 447–451.
- Atashi, H., Abdolmohammadi, A. R., Asaadi, A., Akhlaghi, A., Dadpasand, M., & Jafari Ahangari, Y. (2012). Using an incomplete gamma function to quantify the effect of dystocia on the lactation performance of Holstein dairy cows in Iran. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2718–2722. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4954>
- Atashi, H., Zamiri, M. J., & Sayadnejad, M. B. (2012). The effect of maternal inbreeding on incidence of twinning, dystocia and stillbirth in Holstein cows of Iran. *Iranian Journal of Veterinary Research (IJVR)*, 13(2), 93–99.

- Aytekin, İ., Eydurhan, E., Karadas, K., Aksahan, R., & Keskin, İ. (2018). Prediction of fattening final live weight from some body measurements and fattening period in young bulls of crossbred and exotic breeds using MARS data mining algorithm. *Pakistan Journal of Zoology*, *50*(1), 189–195.
- Aziz, D. M., & Mohammed, S. H. (2016). Alteration of serum haptoglobin concentration in normal parturition and dystocia affected cows. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, *30*(1), 19–22.
- Azizzadeh, M., Shooroki, H. F., Kamalabadi, A. S., & Stevenson, M. A. (2012). Factors affecting calf mortality in Iranian Holstein dairy herds. *Preventive Veterinary Medicine*, *104*(3), 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.12.007>
- Balshi, M. S., McGuire, A. D., Duffy, P., Flannigan, M., Walsh, J., & Melillo, J. (2009). Assessing the response of area burned to changing climate in western boreal North America using a Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) approach. *Global Change Biology*, *15*(3), 578–600. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01679.x>
- Barrier, A. C., Haskell, M. J., Birch, S., Bagnall, A., Bell, D. J., Dickinson, J., Macrae, A. I., & Dwyer, C. M. (2012). The impact of dystocia on dairy calf health, welfare, performance and survival. *The Veterinary Journal*, *195*(1), 86–90.
- Barrier, A. C., Mason, C., Dwyer, C. M., Haskell, M. J., & Macrae, A. I. (2013). Stillbirth in dairy calves is influenced independently by dystocia and body shape. *The Veterinary Journal*, *197*(2), 220–223.
- Basarab, J. A., Rutter, L. M., & Day, P. A. (1993). The efficacy of predicting dystocia in yearling beef heifers: II. Using discriminant analysis. *Journal of Animal Science*, *71*(6), 1372–1380. <https://doi.org/10.2527/1993.7161372x>
- Bayram, B., Topal, M., & Aksakal, V. (2016). The effects of dystocia and stillbirth on subsequent lactation performance in Holstein dairy cows. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, *11*(3), 314–318.
- Bazzi, H. (2010). Evaluation of non-genetic factors affecting birth weight in Sistani cattle. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, *10*(23), 3095–3599.
- Berry, D. P., Lee, J. M., Macdonald, K. A., & Roche, J. R. (2007). Body condition score and body weight effects on dystocia and stillbirths and consequent effects on postcalving performance. *Journal of Dairy Science*, *90*(9), 4201–4211.
- Blöttner, S., Heins, B. J., Wensch-Dorendorf, M., Hansen, L. B., & Swalve, H. H. (2011). Brown Swiss x Holstein crossbreds compared with pure Holsteins for calving traits, body weight, backfat thickness, fertility, and body measurements. *Journal of Dairy Science*, *94*(2), 1058–1068. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3305>
- Bobe, G., Young, J. W., & Beitz, D. C. (2004). Invited review: Pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *87*(10), 3105–3124. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73446-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73446-3)
- Boujenane, I. (2017). Non-genetic factors affecting dystocia and its effects on milk production of Holstein dairy cows in Morocco. *Livestock Research for Rural Development*, *29*, 8.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, *45*(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

- Brieuc, M. S., Ono, K., Drinan, D. P., & Naish, K. A. (2015). Integration of Random Forest with population-based outlier analyses provides insight on the genomic basis and evolution of run timing in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Molecular Ecology*, *24*(11), 2729–2746.
- Brillante, L., Gaiotti, F., Lovat, L., Vincenzi, S., Giacosa, S., Torchio, F., Segade, S. R., Rolle, L., & Tomasi, D. (2015). Investigating the use of gradient boosting machine, random forest and their ensemble to predict skin flavonoid content from berry physical-mechanical characteristics in wine grapes. *Computers and Electronics in Agriculture*, *117*, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.07.017>
- Brokamp, C., Jandarov, R., Rao, M. B., LeMasters, G., & Ryan, P. (2017). Exposure assessment models for elemental components of particulate matter in an urban environment: A comparison of regression and random forest approaches. *Atmospheric Environment*, *151*, 1–11.
- Buckley, F., & Dillon, P. (2004). *Evaluation of Norwegian Red and Norwegian Red x Holstein–Friesian dairy cattle under Irish production circumstances. Research Report*. Moorepark Dairy Production Research Centre.
- Burez, J., & Van den Poel, D. (2009). Handling class imbalance in customer churn prediction. *Expert Systems with Applications*, *36*(3), 4626–4636.
- Celik, S., Eyduran, E., Karadas, K., & Tariq, M. M. (2017). Comparison of predictive performance of data mining algorithms in predicting body weight in Mengali rams of Pakistan. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *46*(11), 863–872.
- Celik, S., Eyduran, E., Tatliyer, A., Karadas, K., Kara, M. K., & Waheed, A. (2018). Comparing predictive performances of some nonlinear functions and multivariate adaptive regression splines (MARS) for describing the growth of Daera Din Panah (DDP) goat in Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, *50*(3), 1–4.
- Correa, M. T., Erb, H., & Scarlett, J. (1993). Path analysis for seven postpartum disorders of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *76*(5), 1305–1312.
- Correa, M. T., Curtis, C. R., Erb, H. N., Scarlett, J. M., & Smith, R. D. (1990). An ecological analysis of risk factors for postpartum disorders of Holstein-Friesian cows from thirty-two New York farms. *Journal of Dairy Science*, *73*(6), 1515–1524.
- Craninx, M., Fievez, V., Vlaeminck, B., & De Baets, B. (2008). Artificial neural network models of the rumen fermentation pattern in dairy cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, *60*(2), 226–238.
- Curtis, C. R., Erb, H. N., Sniffen, C. J., Smith, R. D., & Kronfeld, D. S. (1985). Path analysis of dry period nutrition, postpartum metabolic and reproductive disorders, and mastitis in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *68*(9), 2347–2360.
- de Maturana, E. L., Legarra, A., Varona, L., & Ugarte, E. (2007). Analysis of fertility and dystocia in Holsteins using recursive models to handle censored and categorical data. *Journal of Dairy Science*, *90*(4), 2012–2024. <https://doi.org/10.3168/jds.2005-442>
- Degano, L., & Vicario, D. (2007). Genetic parameters for calving ease in Italian Simmental cattle. *Italian Journal of Animal Science*, *6*(sup1), 117–119. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.117>
- Dematawewa, C. M. B., & Berger, P. J. (1997). Effect of dystocia on yield, fertility, and cow losses and an economic evaluation of dystocia scores for Holsteins. *Journal of Dairy Science*, *80*(4), 754–761.

- Drew, B. (1986). Factors affecting calving rates and dystokia in Friesian dairy heifers, the results of a large scale field trial. *Irish Grassland and Animal Production Journal*, 20, 98–104.
- Edriss, M. A., Hosseinnia, P., Edrisi, M., Rahmani, H. R., & Nilforooshan, M. A. (2008). Prediction of second parity milk performance of dairy cows from first parity information using artificial neural network and multiple linear regression methods. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 3(4), 222–229.
- Erb, H. N., Smith, R. D., Oltenacu, P. A., Guard, C. L., Hillman, R. B., Powers, P. A., Smith, M. C., & White, M. E. (1985). Path model of reproductive disorders and performance, milk fever, mastitis, milk yield, and culling in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 68(12), 3337–3349.
- Ercan, N., Yokuş, B., Gün, M., & Koçhan, A. (2017). Paraoxonase activity an indicator of complications at early stage of complicated pregnant cows. *Indian Journal of Animal Research*, 51(5), 927–931.
- Ettema, J. F., & Santos, J. E. P. (2004). Impact of age at calving on lactation, reproduction, health, and income in first-parity Holsteins on commercial farms. *Journal of Dairy Science*, 87(8), 2730–2742.
- Fawcett, T. (2004). ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers. *Machine Learning*, 31, 1–38.
- Fenlon, C., O’Grady, L., Mee, J. F., Butler, S. T., Doherty, M. L., & Dunnion, J. (2017). A comparison of 4 predictive models of calving assistance and difficulty in dairy heifers and cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9746–9758.
- Fernández, C., Soria, E., Sánchez-Seiquer, P., Gómez-Chova, L., Magdalena, R., Martín-Guerrero, J. D., Navarro, M. J., & Serrano, A. J. (2007). Weekly milk prediction on dairy goats using neural networks. *Neural Computing and Applications*, 16(4), 373–381. <https://doi.org/10.1007/s00521-006-0061-y>
- Fiedlerová, M., Reháč, D., Vacek, M., Volek, J., Fiedler, J., Simecek, P., Masata, O., & Jílek, F. (2008). Analysis of non-genetic factors affecting calving difficulty in the Czech Holstein population. *Czech Journal of Animal Science*, 53, 284–291.
- Fitzgerald, A. M., Ryan, D. P., & Berry, D. P. (2015). Factors associated with the differential in actual gestational age and gestational age predicted from transrectal ultrasonography in pregnant dairy cows. *Theriogenology*, 84(3), 358–364. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.03.023>
- Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. *The Annals of Statistics*, 19(1), 1–67.
- Fürbass, R., Tomek, W., & Vanselow, J. (2010). Upstream stimulating factors 1 and 2 enhance transcription from the placenta-specific promoter 1.1 of the bovine *CYP19* gene. *BMC Molecular Biology*, 11(1), 5.
- Gaddis, K. P., Cole, J. B., Clay, J. S., & Maltecca, C. (2016). Benchmarking dairy herd health status using routinely recorded herd summary data. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 1298–1314.
- Gandhi, R. S., Raja, T. V., Ruhil, A. P., & Kumar, A. (2010). Artificial neural network versus multiple regression analysis for prediction of lifetime milk production in Sahiwal cattle. *Journal of Applied Animal Research*, 38(2), 233–237.
- Gianola, D., Okut, H., Weigel, K. A., & Rosa, G. J. (2011). Predicting complex quantitative traits with Bayesian neural networks: A case study with Jersey cows and wheat. *BMC Genetics*, 12(1), 87.
- Gröhn, Y. T., Rajala-Schultz, P. J., Allore, H. G., DeLorenzo, M. A., Hertl, J. A., & Galligan, D. T. (2003). Optimizing replacement of dairy cows: Modeling the effects of diseases. *Preventive Veterinary Medicine*, 61(1), 27–43. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(03\)00158-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(03)00158-2)



- Gurcan, I. S., Ozen, D., Yamaç, A., & Gullu, O. (2014). Investigation of effect of year and season factors on calving difficulty, using Poisson regression model in Simmental x South Anatolian red crossbred cattle. *Ankara Üniv Vet Fak Derg*, 61, 55–58.
- Ha, K., Cho, S., & MacLachlan, D. (2005). Response models based on bagging neural networks. *Journal of Interactive Marketing*, 19(1), 17–30.
- Harańczyk, G. (2010). *Krzywe ROC, czyli ocena jakości klasyfikatora i poszukiwanie optymalnego punktu odcięcia*. StatSoft Polska, Kraków.
- Hariharan, S., Tirodkar, S., Porwal, A., Bhattacharya, A., & Joly, A. (2017). Random forest-based prospectivity modelling of greenfield terrains using sparse deposit data: An example from the Tanami region, Western Australia. *Natural Resources Research*, 26(4), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9335-6>
- Hassan, K. J., Samarasinghe, S., & Lopez-Benavides, M. G. (2009). Use of neural networks to detect minor and major pathogens that cause bovine mastitis. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1493–1499.
- Haykin, S. S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines* (3. ed.). Prentice Hall.
- Heald, C. W., Kim, T., Sischo, W. M., Cooper, J. B., & Wolfgang, D. R. (2000). A computerized mastitis decision aid using farm-based records: An artificial neural network approach. *Journal of Dairy Science*, 83(4), 711–720. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74933-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74933-2)
- Hiew, M. W., Megahed, A. A., Townsend, J. R., Singleton, W. L., & Constable, P. D. (2016). Clinical utility of calf front hoof circumference and maternal intrapelvic area in predicting dystocia in 103 late gestation Holstein-Friesian heifers and cows. *Theriogenology*, 85(3), 384–395.
- Hoffmann, B., & Schuler, G. (2002). The bovine placenta; a source and target of steroid hormones: Observations during the second half of gestation. *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1–2), 309–320.
- Jaśkowski, J. (1999). Selected issues of the cattle reproduction. W: *Mikolajczak D (ed), Modern Breeding of Cattle*. Margol, Bydgoszcz.
- Johanson, J. M., Berger, P. J., Tsuruta, S., & Misztal, I. (2011). A Bayesian threshold-linear model evaluation of perinatal mortality, dystocia, birth weight, and gestation length in a Holstein herd. *Journal of Dairy Science*, 94(1), 450–460. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2992>
- Johnson, S. K., Deutscher, G. H., & Parkhurst, A. (1988). Relationships of pelvic structure, body measurements, pelvic area and calving difficulty. *Journal of Animal Science*, 66, 1081–1088. <https://doi.org/10.2134/jas1988.6651081x>
- Kamal, M. M., Van Eetvelde, M., Depreester, E., Hostens, M., Vandaele, L., & Opsomer, G. (2014). Age at calving in heifers and level of milk production during gestation in cows are associated with the birth size of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 97(9), 5448–5458. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7898>
- Kaya, I., Uzmay, C., & Ayyilmaz, T. (2015). Effects of dystocia on milk production and reproduction in subsequent lactation in a Turkish Holstein herd. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39(1), 87–95. <https://doi.org/doi:10.3906/vet-1404-13>
- Kimmins, S., Lim, H. C., Parent, J., Fortier, M. A., & MacLaren, L. A. (2003). The effects of estrogen and progesterone on prostaglandins and integrin beta subunit expression in primary cultures of bovine endometrial cells. *Domestic Animal Endocrinology*, 25(2), 141–154.

- Koronacki, J., & Ćwik, J. (2005). *Statystyczne systemy uczące się*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Kovács, L., Kézér, F. L., Ruff, F., & Szenci, O. (2017). Rumination time and reticuloruminal temperature as possible predictors of dystocia in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *100*(2), 1568–1579.
- Kroker, G. A., & Cummins, L. J. (1979). The effect of nutritional restriction on Hereford heifers in late pregnancy. *Australian Veterinary Journal*, *55*(10), 467–474.
- Kumar, A., Singh, U., Alex, R., & Kumar, S. (2017). Risk factors associated with abnormal parturition and their effects on production and reproductive performance in Frieswal cattle of India. *Indian Journal of Animal Research*, *51*(2), 242–246. <https://doi.org/10.18805/ijar.10272>
- Lamontagne, L., & Marchand, M. (2006). *Advances in Artificial Intelligence*. Springer.
- Larose, D. T. (2005). *Discovering Knowledge in Data. An Introduction to Data Mining*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience.
- Lorenz, I., Mee, J. F., Early, B., & More, S. J. (2011). Calf health from birth to weaning. I. General aspects of disease prevention. *Irish Veterinary Journal*, *64*, 10.
- Mane, P. M., & Bhangre, R. D. (2015). Outcome of different regimes of treatment for uterine torsion in bovine at field level—A clinical study. *Indian Journal of Animal Research*, *49*(6), 819–822.
- Martin-Collado, D., Hely, F., Byrne, T. J., Evans, R., Cromie, A. R., & Amer, P. R. (2017). Farmer views on calving difficulty consequences on dairy and beef farms. *Animal*, *11*(2), 318–326. <https://doi.org/doi:10.1017/S1751731116001567>
- McHugh, N., Kearney, J. F., & Berry, D. P. (2011). The effect of dystocia on subsequent performance in dairy cows. *Moorepark Research Report 2011*, 15.
- Mee, J. F. (2008a). Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: A review. *The Veterinary Journal*, *176*(1), 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.032>
- Mee, J. F. (2008b). Managing the cow at calving time. *The AABP Proceedings*, *4*, 35–43.
- Mee, J. F., Berry, D. P., & Cromie, A. R. (2011). Risk factors for calving assistance and dystocia in pasture-based Holstein–Friesian heifers and cows in Ireland. *The Veterinary Journal*, *187*(2), 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2009.11.018>
- Mee, J. F. (2004). Managing the dairy cow at calving time. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, *20*(3), 521–546. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.001>
- Mee, J. F., Sánchez-Miguel, C., & Doherty, M. (2014). Influence of modifiable risk factors on the incidence of stillbirth/perinatal mortality in dairy cattle. *The Veterinary Journal*, *199*(1), 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.08.004>
- Miedema, H. M., Cockram, M. S., Dwyer, C. M., & Macrae, A. I. (2011). Behavioural predictors of the start of normal and dystocic calving in dairy cows and heifers. *Applied Animal Behaviour Science*, *132*(1), 14–19.
- Morrison, D. G., Humes, P. E., Keith, N. K., & Godke, R. A. (1985a). Discriminant analysis for predicting dystocia in beef cattle. I. Comparison with regression analysis. *Journal of Animal Science*, *60*(3), 608–616. <https://doi.org/10.2527/jas1985.603608x>

- Morrison, D. G., Humes, P. E., Keith, N. K., & Godke, R. A. (1985b). Discriminant analysis for predicting dystocia in beef cattle. II. Derivation and validation of a prebreeding prediction model. *Journal of Animal Science*, *60*(3), 617. <https://doi.org/10.2527/jas1985.603617x>
- Njubi, D. M., Wakhungu, J. W., & Badamana, M. S. (2010). Use of test-day records to predict first lactation 305-day milk yield using artificial neural network in Kenyan Holstein–Friesian dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, *42*(4), 639–644. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9468-7>
- Nogalski, Z. (2004). Zootechniczne uwarunkowania jakości porodu jałówek i krów czarno-białych. *Rozpr. i Monogr. UWM Olsztyn*, *101*, 5–76.
- Norman, H. D., Hutchison, J. L., & Miller, R. H. (2010). Use of sexed semen and its effect on conception rate, calf sex, dystocia, and stillbirth of Holsteins in the United States. *Journal of Dairy Science*, *93*(8), 3880–3890. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2781>
- Olson, K. M., Cassell, B. G., McAllister, A. J., & Washburn, S. P. (2009). Dystocia, stillbirth, gestation length, and birth weight in Holstein, Jersey, and reciprocal crosses from a planned experiment. *Journal of Dairy Science*, *92*(12), 6167–6175. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2260>
- PFHBiPM. (2019). *Ocena i hodowla bydła mlecznego. Dane za rok 2019*. Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka, Warszawa.
- Piwczyński, D., Nogalski, Z., & Sitkowska, B. (2013). Statistical modeling of calving ease and stillbirths in dairy cattle using the classification tree technique. *Livestock Science*, *154*(1–3), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.02.013>
- Piwczyński, D., Sitkowska, B., & Wiśniewska, E. (2012). Application of classification trees and logistic regression to determine factors responsible for lamb mortality. *Small Ruminant Research*, *103*(2–3), 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.014>
- Purfield, D. C., Bradley, D. G., Kearney, J. F., & Berry, D. P. (2014). Genome-wide association study for calving traits in Holstein-Friesian dairy cattle. *Animal*, *8*(2), 224–235. <https://doi.org/10.1017/S175173111300195X>
- Purohit, G. N., Kumar, P., Solanki, K., Shekher, C., & Yadav, S. P. (2012). Perspectives of fetal dystocia in cattle and buffalo. *Veterinary Science Development*, *2*(1), e8–e8.
- Raboisson, D., Delor, F., Cahuzac, E., Gendre, C., Sans, P., & Allaire, G. (2013). Perinatal, neonatal, and rearing period mortality of dairy calves and replacement heifers in France. *Journal of Dairy Science*, *96*(5), 2913–2924. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6010>
- Resum, N. S., Kour, P., & Singh, H. (2017). Incidence of periparturient complications and calving pattern in cross bred dairy cows of Jammu region. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, *2*(1), 01–03.
- Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Bisinotto, R. S., Monteiro, A. P. A., Favoreto, M., Ayres, H., Marsola, R. S., Martinez, N., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2013). Prevalence of periparturient diseases and effects on fertility of seasonally calving grazing dairy cows supplemented with concentrates. *Journal of Dairy Science*, *96*(9), 5682–5697. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6335>

- Rutten, C. J., Kamphuis, C., Hogeveen, H., Huijps, K., Nielen, M., & Steeneveld, W. (2017). Sensor data on cow activity, rumination, and ear temperature improve prediction of the start of calving in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, *132*, 108–118.
- Salimi, M. H., Hossein-Zadeh, N. G., Shadparvar, A. A., & Eghbal, A. R. (2017). Genetic evaluation of dystocia and its relationship with productive and reproductive traits in Holstein cows. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *30*(2), 126.
- Samarasinghe, S. (2007). *Neural Networks for Applied Sciences and Engineering: From Fundamentals to Complex Pattern Recognition*. Auerbach.
- Schröder, U. J., & Staufenbiel, R. (2006). Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *Journal of Dairy Science*, *89*(1), 1–14.
- Schuenemann, G. M., Nieto, I., Bas, S., Galvão, K. N., & Workman, J. (2011). Assessment of calving progress and reference times for obstetric intervention during dystocia in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *94*(11), 5494–5501. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4436>
- Selemetas, N., Ducheyne, E., Phelan, P., O’Kiely, P., Hendrickx, G., & de Waal, T. (2015). Spatial analysis and risk mapping of *Fasciola hepatica* infection in dairy herds in Ireland. *Geospatial Health*, *9*(2), 281–291.
- Sun, Z., Samarasinghe, S., & Jago, J. (2010). Detection of mastitis and its stage of progression by automatic milking systems using artificial neural networks. *Journal of Dairy Research*, *77*(02), 168–175. <https://doi.org/10.1017/S0022029909990550>
- Tenhagen, B.-A., Helmbold, A., & Heuwieser, W. (2007). Effect of various degrees of dystocia in dairy cattle on calf viability, milk production, fertility and culling. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, *54*(2), 98–102.
- Thirunavukkarasu, M., & Kathiravan, G. (2006). Predicting the probability of conception in artificially inseminated bovines-A logistic regression analysis. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, *5*(6), 522–527. <https://doi.org/javaa.2006.522.527>
- Thompson, J. R., Pollak, E. J., & Pelissier, C. L. (1983). Interrelationships of parturition problems, production of subsequent lactation, reproduction, and age at first calving. *Journal of Dairy Science*, *66*(5), 1119–1127.
- Vanselow, J., Fürbass, R., Zsolnai, A., Kalbe, C., Said, H. M., & Schwerin, M. (2001). Expression of the aromatase cytochrome P450 encoding gene in cattle and sheep. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, *79*(1), 279–288.
- Wu, X., & Kumar, V. (2010). *The Top Ten Algorithms in Data Mining*. CRC Press.
- Yıldız, H., Saat, N., & Simsek, H. (2011). An investigation on body condition score, body weight, calf weight and hematological profile in crossbred dairy cows suffering from dystocia. *Pakistan Veterinary Journal*, *31*, 125–128.

## V. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

Po uzyskaniu stopnia doktora odbyłem trzy staże naukowe w uczelniach zagranicznych.

1. Pierwszy staż realizowany był w Katedrze Technologii Substancji Biologicznie Czynnych, Farmacji i Biotechnologii Instytutu Chemii i Technologii Chemicznych Politechniki Lwowskiej (*Lviv Polytechnic National University*) w okresie od 21.10.2019 do 04.11.2019. Podczas stażu zapoznawałem się z metodami predykcji aktywności biologicznej syntetyzowanych związków chemicznych oraz ustalania zależności strukturalno-funkcjonalnych; opracowywałem także wyniki badań dotyczących wpływu wybranych związków chemicznych na wzrost roślin owsa.
2. Drugi staż realizowany był w Katedrze Biotechnologii i Nauk o Zwierzętach, *College of Bioresources, National Ilan University* w terminie 22.12.2019 - 11.01.2020. Podczas tego stażu zapoznawałem się z metodami analizy wpływu wybranych dodatków paszowych na parametry fizjologiczne prosiąt i kurcząt brojlerów (w tym na poziomie proteomu), biotechnikami rozrodu zwierząt, a także zastosowaniem metod uczenia maszynowego (drzewa decyzyjne oraz SVM) do predykcji kulawizn u bydła (podczas wizyty w *Hsin-Chu Branch, Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Taiwan*).
3. Ostatni staż miał miejsce w Katedrze Genetyki i Hodowli Zwierząt Wydziału Agrobiologii i Nauk o Żywności Słowackiego Uniwersytetu Rolniczego w Nitrze w okresie 03.02.2020 - 28.02.2020 (poświadczenia w zał. 7). Podczas tego stażu pracowałem nad wykorzystaniem lasu losowego (RF) do klasyfikacji osobników należących do dwóch populacji bydła rasy pinzgauer (słowacka i austriacka) na podstawie polimorfizmów pojedynczego nukleotydu (SNP – ang. *single nucleotide polymorphism*) określonych z zastosowaniem mikromacierzy SNP. Celem prac było ustalenie za pomocą analizy ważności RF zestawu 100 najbardziej dyskryminujących markerów (spośród początkowych około 11 tys.). W analizie uwzględniono tylko autosomalne SNP bez braków danych wspólne dla obu populacji (słowackiej i austriackiej), których lokalizacja chromosomowa była znana. Ze zbioru danych usunięto wszystkie markery, dla których wskaźnik efektywności genotypowania był niższy niż 90% lub frekwencja allelu rzadszego była niższa niż 1%. Za minimalną wartość  $r^2$  przyjęto 30%. Do przeprowadzenia wstępnych obliczeń wykorzystano program R (*R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*). Przydatność markerów oceniania była na podstawie średniego spadku indeksu Giniego oraz średniego spadku trafności. Do zapobieżenia przeuczeniu wykorzystano zbiór walidacyjny. Wstępne wyniki pozwoliły stwierdzić, że zredukowany zestaw markerów, zidentyfikowanych za pomocą RF, pozwolił na klasyfikację badanych osobników wchodzących w skład zbioru testowego ze stuprocentową trafnością. Obecnie, w ramach dalszej współpracy, przygotowujemy jest rozszerzony zbiór danych, obejmujący dodatkowe populacje. Planowane jest też zastosowanie analizy składowych głównych (PCA; ang. *principal component analysis*). Wynikiem tych badań będzie wspólna publikacja na temat wykorzystania RF i PCA do identyfikacji najbardziej dyskryminujących markerów SNP. Drugim projektem, nad którym podjąłem pracę podczas mojego stażu w Słowackim Uniwersytecie Rolniczym w Nitrze było wykorzystanie ANN do przewidywania występowania *mastitis* u bydła mlecznego na początku danej laktacji na

podstawie wyników ostatnich próbnych udojów poprzedzającej laktacji. Obecnie analizy statystyczne zostały zakończone i przygotowany jest artykuł.

## VI. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ

Na mój dorobek dydaktyczny składa się prowadzenie zajęć z 15 przedmiotów w ramach pięciu realizowanych na Wydziale Biotechnologii i Hodowli Zwierząt ZUT w Szczecinie kierunków studiów: zootechnika, biotechnologia, kynologia (obecnie prowadzone) oraz biologia i bioinformatyka (realizacji zaprzestano). W roku akademickim 2019/2020 prowadziłem wykłady oraz ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu *Bioinformatics* w języku angielskim dla studentów drugiego stopnia kierunku *Biotechnology* (specjalność *Biotechnology in Animal Production and Environmental Protection* w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego). Jestem również autorem treści programowych sześciu przedmiotów: informatyka, bioinformatyka, podstawy grafiki komputerowej i multimediiów, tworzenie i zarządzanie serwisem internetowym, tworzenie grafiki prezentacyjnej i stron WWW, modelowanie systemów biologicznych oraz współautorem treści programowych przedmiotu podstawy informatyki użytkowej w rolnictwie - tworzenie stron WWW.

Zestawienie realizowanych kursów dydaktycznych zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Wykaz prowadzonych zajęć dydaktycznych

Lp.	Przedmiot	Kierunek	Forma zajęć	Rok/stopień
1	biometria	biotechnologia	A	I/1
2	statystyka matematyczna	zootechnika	L	I/1
3	komputerowa analiza danych	biotechnologia	L	I/2
4	metody statystyczne w biologii	biologia	A	I/2
5	informatyka	zootechnika biotechnologia kynologia biologia	W/L	I/1
6	bioinformatyka	biotechnologia biologia	W/L	I/2
7	biologiczne bazy danych	biotechnologia	L	III/1
8	zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w naukach biologicznych	bioinformatyka biotechnologia	W/L	II/1 III/1
9	wykorzystanie metod <i>data mining</i> w analizach biologicznych	bioinformatyka	L	III/1
10	zastosowanie informatyki w pracy hodowlanej	zootechnika	L	I/2
11	komputerowa analiza danych w technikach immunologicznych	bioinformatka	L	III/1

12	podstawy grafiki komputerowej i multimediiów	kynologia	W/L	I/1
13	tworzenie i zarządzanie serwisem internetowym	kynologia	W/L	I/1
14	tworzenie grafiki prezentacyjnej i stron WWW	kynologia	W/L	I/1
15	Bioinformatics	Biotechnology	W/L	I/2

A – audytoria, L – laboratoria, W - wykłady

Byłem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgra Emila Dzierzby [tytuł rozprawy: „Helminty przewodu pokarmowego a kondycja ptaków na przykładzie czernicy *Aythya fuligula* (Linnaeus, 1758) zimującej na terenie Pomorza Zachodniego”, promotor: prof. dr hab. Katarzyna M. Kavetska, Uchwała Rady WBiHZ o nadaniu stopnia doktora z dnia 24.09.2019]. Pod moją opieką naukową zrealizowane zostały także trzy prace inżynierskie.

W roku akademickim 2011/2012 (1.02.2012-24.02.2012) pełniłem opiekę nad stażem Abdula Kadera Hassana z *C & Q Bildungszentrum Haberhauffe GmbH* w ramach projektu „*Assistent/in fur Bioinformatik*“ (Europejski Fundusz Społeczny; numer projektu: 2011001758). Ponadto, w dniach 27-28.11.2019 wygłosiłem dwa wykłady z bioinformatyki pt. „*Biological sequence databases*” oraz „*Protein secondary structure prediction*” dla studentów oraz pracowników Instytutu Chemii i Technologii Chemicznych Politechniki Lwowskiej (*Lviv Polytechnic National University*) finansowane przez *Roshen Confectionery Corporation* (certyfikat w zał. 8). Wcześniej (30-31.10.2019) wygłosiłem wykład pt. „*The applications of selected statistical methods in biology and related sciences*” oraz przeprowadziłem seminarium z zakresu analizy statystycznej wyników badań biochemicznych dla studentów oraz pracowników Instytutu Chemii i Technologii Chemicznych Politechniki Lwowskiej w ramach mojego stażu na tejże uczelni. W dniach 25.12.2019 oraz 31.12.2019 wygłosiłem wykład (dwuczęściowy) pt. „*Scientific paper writing and conference presentation*” dla studentów Katedry Biotechnologii i Nauk o Zwierzętach *National Ilan University* w ramach mojego stażu. W dniu 13.02.2020 wygłosiłem wykład pt. „*The use of artificial neural networks in animal breeding*” dla doktorantów oraz pracowników Wydziału Agrobiologii i Nauk o Żywności Słowackiego Uniwersytetu Rolniczego w Nitrze, także w ramach miesięcznego stażu.

Do głównych aspektów mojej działalności organizacyjnej należą: członkostwo w radach programowych kierunków bioinformatyka (2011 - 2017) oraz kynologia (2016 - obecnie), członkostwo w Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w latach 2016 - 2017, funkcję Pełnomocnika Dziekana ds. informatyzacji (2011 - obecnie), sekretarza komitetu organizacyjnego LXXXIV Zjazdu Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego organizowanego przez szczecińskie koło PTZ w roku 2019, członkostwo w komitecie organizacyjnym Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „*Biotechnologia - problemy i wyzwania*”, ZUT, Szczecin 8.06.2018 oraz komitecie naukowym *II International Igdir Symposium, Igdir University, Igdir, Turcja, 9-11.10.2017*. Od 01.09.2019 jestem także członkiem komitetu redakcyjnego czasopisma *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica* (poświadczenie w zał. 8).

## VII. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

## Opis pozostałego dorobku naukowo-badawczego

Moja dotychczasowa działalność naukowo-badawcza, poza tematyką omówioną w cyklu publikacji składających się na osiągnięcie naukowe, dotyczyła przede wszystkim następujących zagadnień:

1. Zastosowania pozostałych metod zgłębiania danych do detekcji dystocji u bydła mlecznego;
2. Zastosowania modeli predykcyjnych w zootechnice, szczególnie do przewidywania *mastitis* i trudności zacielen;
3. Wykorzystania termografii w podczerwieni do pomiaru temperatury powierzchniowej ciała ludzi i zwierząt;
4. Analizy wpływu wybranych polimorfizmów na cechy użytkowe zwierząt, przede wszystkim bydła;
5. Analiz statystycznych wyników badań medycznych, szczególnie z dziedziny okulistyki.

### A. Przed uzyskaniem stopnia doktora

Pierwsze zagadnienie badawcze realizowane przed uzyskaniem stopnia doktora (**2.4, 1.3.9** oraz **1.3.8** - numeracja zgodna z wykazem osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny – zał. 4) dotyczyło przewidywania trudności zacielen krów mlecznych. Trudności z zacieleniem prowadzą do istotnych strat ekonomicznych, zwłaszcza przy coraz częstszym występowaniu tzw. cichych rui. W pracy zastosowano ANN, metodę MARS oraz funkcje klasyfikacyjne (CF - ang. *classification functions*). Jako predyktory wykorzystano dostępne z dokumentacji hodowlanej zmienne. Zmienną prognozowaną była trudność zacielenia (klasa „dobrze” – w przypadku zacielenia po pierwszym lub drugim zabiegu inseminacyjnym oraz „źle” – przy więcej niż dwóch zabiegach inseminacyjnych na zacielenie). W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano czułość (odsetek poprawnie zaklasyfikowanych zacielen trudnych) na zbiorze testowym na poziomie 63,0 – 88,0%, specyficzność (odsetek poprawnie zaklasyfikowanych zacielen łatwych) na poziomie 72,0 – 98,0%, zaś trafność wynoszącą około 70,0 – 88,0%. Do najważniejszych predyktorów determinujących klasę zacielenia należały: kondycja, długość okresu międzyciążowego i międzywycieleniowego.

Drugie zagadnienie podejmowane przed uzyskaniem stopnia doktora (**1.1.37** oraz **1.1.36**) dotyczyło weryfikacji statystycznej związku między polimorfizmem genu butyrofiliny a



użytkowością mleczną krów. Butyrofilina wchodzi w skład otoczek kuleczek tłuszczowych obecnych w mleku, których zadaniem jest stabilizacja kropli lipidowych. Gen kodujący butyrofilinę został wskazany jako potencjalnie wpływający na skład mleka. Mimo to w pierwszej z prac nie stwierdzono istotnych zależności między analizowanym polimorfizmem (*BTN/HaeIII*) a wydajnością lub składem mleka krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej oraz jersey. W drugiej zaś wykazano istotne różnice w wydajności mleka i białka oraz w zawartości tłuszczu w mleku w zależności od genotypu (*BTN/HaeIII* i *BTN/SchI*) u krów rasy jersey. Nie były one jednak wystarczająco duże do tego, aby uznać badane warianty jako markery genetyczne potencjalnie użyteczne w selekcji.

Ostatnie badania przed uzyskaniem stopnia doktora (**1.1.35**) realizowane były w ramach współpracy z Pomorskim Uniwersytetem Medycznym w Szczecinie. Obejmowały one analizę statystyczną pomiarów długości osiowej gałki ocznej u wcześniaków bez retinopatii wcześniaczej w zależności od urodzeniowej masy ciała oraz wieku ciążowego. Wykazano istotny wpływ stopnia wady refrakcji na długość osiową, a także korelacje między długością osiową a masą ciała oraz wiekiem ciążowym w przypadku jednej z grup badanych. Ogólnie stwierdzono, że długość osiowa gałki ocznej u wcześniaków z krótkowzrocznością była istotnie większa oraz że nadwzroczność korelowała z urodzeniową masą ciała.

## **B. Po uzyskaniu stopnia doktora**

Pierwszy obszar badawczy po uzyskaniu stopnia doktora dotyczył predykcji dystocji u bydła mlecznego za pomocą wybranych metod zgłębiania danych (**1.1.33** i **1.3.7**). O negatywnych konsekwencjach trudnych porodów pisano szczegółowo we wstępie. Zastosowane klasyfikatory neuronowe charakteryzowały się wysokim odsetkiem poprawnej klasyfikacji wycieleń krów na zbiorze testowym (czułość na poziomie 66,7 – 80,0% przy specyficzności i trafności wynoszącej odpowiednio 61,1 – 80,5% oraz 61,5 – 80,5%). Podobnie wysoka czułość, specyficzność i trafność została odnotowana w przypadku wycieleń jałówek (75,0 – 88,0%). Nieco gorsze wyniki detekcji uzyskano dla modeli CF, gdzie czułość była znacznie niższa (6,0%) niż specyficzność (99,0%). Korzystając z tego samego zbioru danych (bardziej obszernego, obejmującego też wymienione wyżej genotypy) postanowiono zweryfikować przydatność BT przy przewidywaniu dystocji u jałówek i krów ras mlecznych (**1.1.28**). Była to jednocześnie jedna z pierwszych prób zastosowania

tej metody do predykcji trudnych porodów u bydła. Czułość, specyficzność i trafność na zbiorze testowym wycieleń jałówek i krów wynosiły odpowiednio 75,0%, 92,0% i 89,4% oraz 75,0%, 77,3% i 77,1%. W dwóch pierwszych opisywanych pracach do najważniejszych predyktorów dystocji należały m. in. analizowane genotypy *CYP19-PvuII* i *ER $\alpha$ -BgII*, natomiast w ostatniej z nich genotypy ułożone były pod koniec szeregu ważności predyktorów.

Kontynuacją badań nad wykorzystaniem metod zgłębiania danych do przewidywania dystocji u bydła mlecznego była weryfikacja zdolności predykcyjnych różnych rodzajów drzew decyzyjnych (CART, CHAID oraz QUEST) na zredukowanym zbiorze danych, obejmującym w miarę łatwe do uzyskania z dokumentacji hodowlanej informacje. Była to jednocześnie jedna z pierwszych prób zastosowania drzew QUEST do przewidywania dystocji u bydła mlecznego. Uzyskane wyniki odniesiono też do rezultatów bardziej tradycyjnej metody w postaci modelu GLZ (1.3.4). Odsetek poprawnie zaklasyfikowanych porodów łatwych, średnio trudnych i trudnych u krów dla poszczególnych modeli (CART, CHAID, QUEST oraz GLZ) wynosił odpowiednio: 60,2%, 65,3%, 68,9%, 66,3% (wycielenia łatwe), 71,4%, 69,0%, 64,8%, 69,0% (wycielenia średnio trudne) oraz 0%, 0%, 0%, 0% (wycielenia trudne). Niestety, żaden z utworzonych modeli nie był w stanie poprawnie przewidywać dystocji u krów. Do najważniejszych predyktorów należały m. in.: opracowane w ramach badań własnych ranga buhaja – ojca krowy oraz kategoria gospodarstwa. Do detekcji dystocji u jałówek i krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej odmiany czerwono-białej użyto też metody k-najbliższych sąsiadów (2.2). Była to jedna z pierwszych prób zastosowania tego klasyfikatora w omawianym kontekście. Czułość, specyficzność i trafność na zbiorze testowym wycieleń jałówek i krów wynosiły odpowiednio 0,0%, 99,9%, 94,4% oraz 0,0%, 100,0%, 96,9%, co oznacza, że metoda okazała się niestety nieskuteczna przy wykrywaniu dystocji.

Kolejny obszar aktywności badawczej dotyczył wykorzystania metod *data mining* do przewidywania *mastitis* oraz trudności zacielen u krów mlecznych (drugi temat jako kontynuacja badań podjętych przed uzyskaniem stopnia doktora). *Mastitis* należy do najczęściej występujących i najbardziej kosztownych schorzeń u bydła mlecznego. Straty ekonomiczne z tego powodu zostały oszacowane na około 700 euro rocznie na krowę lub też dwa miliardy dolarów rocznie w skali kraju w USA. Toteż uzasadnionym wydawało się podjęcie prób wcześniejszego wskazywania osobników podatnych za pomocą wybranych metod statystycznych (1.1.18 i 1.1.16). Zastosowanie modeli BT, RF oraz GLZ pozwoliło uzyskać maksymalną czułość (odsetek poprawnie wskazanych

przypadków *mastitis*), specyficzność (odsetek poprawnie wskazanych przypadków zdrowych) i trafność (proporcja poprawnie zaklasyfikowanych przypadków z obu kategorii) na zbiorze testowym równe odpowiednio 72,1%, 39,7%, 55,9% (BT), 86,9%, 17,8%, 59,5% (RF) oraz 90,2%, 8,2%, 59,0% (GLZ). Z kolei wykorzystanie ANN do przewidywania występowania *mastitis* pozwoliło uzyskać odsetek poprawnie zaklasyfikowanych krów podatnych i odpornych na poziomie odpowiednio 57,8% - 63,3% oraz 60,3% - 66,6%. Trafność kształtowała się w przedziale 60,1 – 66,3%. Istotnym etapem omawianych badań było zweryfikowanie za pomocą metod *data mining* wpływu wybranych polimorfizmów na podatność na występowanie *mastitis*. Jednak uszeregowanie predyktorów pod względem ich ważności różniło się. W pierwszej z prac, wybrane genotypy (laktoferyna, TNF $\alpha$ , lizozym i defenzyny) charakteryzowały się względnie słabym wpływem na występowanie *mastitis*. W drugiej, najbardziej wpływowe predyktory obejmowały m. in. genotyp TNF $\alpha$  i defenzyn. Także genotyp laktoferyny miał relatywnie duży wpływ na podatność na zapalenie gruczołu mlekowego, podczas gdy lizozymu cechował się dużo słabszym oddziaływaniem. Uzyskane wyniki spowodowane były najprawdopodobniej poligenicznym charakterem analizowanej cechy i koniecznością uwzględnienia znacznie większej liczby genów.

Jak wyżej wspomniano, metody *data mining* wykorzystano także w badaniach własnych do przewidywania trudności zacielen u bydła mlecznego (**1.1.34** i **1.1.30**). Badania te były kontynuacją tematu podjętego jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora. Do predykcji trudności zacielenia zastosowano różne rodzaje ANN, metodę MARS, NBC, CART, CF oraz LR. Czułość (odsetek poprawnie wskazanych trudnych zacielen), specyficzność (odsetek poprawnie wskazanych zacielen łatwych) i trafność (proporcja poprawnie zaklasyfikowanych zacielen z obu grup) na zbiorze testowym wynosiły odpowiednio 72,0 – 87,3%, 79,3 – 90,0% oraz 78,7 – 90,0%. Spośród predyktorów determinujących klasę trudności zacielenia, długość okresu międzyciążowego, międzywycieleniowego oraz indeks kondycji były najważniejsze.

W ramach badań związanych z wykorzystaniem metod zgłębiania danych w zagadnieniach zootechnicznych dokonywano także predykcji kategorii przyrostów dziennych masy ciała bydła mięsnego (**1.1.24**), przyczyn brakowania krów mlecznych (**1.1.17**), dziennej wydajności mleka, tłuszczu i białka krów (**2.1**), masy ciała kóz (**1.1.13**) oraz wskaźników rozrodczych owiec (**1.1.9**). Analiza przyrostów dobowych masy ciała może być przydatna przy wyborze odpowiedniej strategii hodowlanej, planu produkcyjnego lub określeniu zapotrzebowania na paszę. Zastosowane klasyfikatory neuronowe oraz drzewa decyzyjne (CART) poprawnie zaklasyfikowały 74,1%

rekordów przyrostów dobowych masy ciała poniżej średniej oraz odpowiednio 73,9% i 60,9% rekordów przyrostów dobowych powyżej średniej. Istotnym aspektem opisywanej pracy było przeanalizowanie za pomocą metod *data mining* wpływu wybranych genotypów na wielkość przyrostów dziennych (warianty polimorficzne genu leptyny, miostatyny oraz białka prionowego). Stwierdzono, że do najważniejszych predyktorów należały rasa krowy oraz genotyp leptyny. Wybrane metody *data mining* (ANN, BT oraz CF) wykorzystano też do klasyfikacji przyczyn brakowania krów mlecznych w Polsce (1.1.17). Chociaż związek między cechami użytkowości a długowiecznością krów mlecznych jest już dość dobrze opisany, to stosunkowo niewiele było prac nad zależnością między wartościami rutynowo rejestrowanych w gospodarstwie cech a przyczynami brakowania, co stanowiło przesłankę do podjęcia badań w tym kierunku. Ogólnie, odsetek poprawnej klasyfikacji w przypadku wszystkich zastosowanych klasyfikatorów był stosunkowo niski (trafność wynosząca około 25,0 – 45,0%). Tylko BT wykazywały większą zdolność poprawnej klasyfikacji, ale jakość predykcji nie była znacząco lepsza niż w przypadku pozostałych metod. Świadczyć to może o tym, że wykorzystane w badaniach własnych predyktory charakteryzowały się ograniczonym wpływem na przyczyny brakowania. Trzecia z wyżej podanych publikacji (2.1) obejmowała wykorzystanie ANN do predykcji wybranych cech użytkowości mlecznej krów przy uwzględnieniu genotypu insulino-podobnego czynnika wzrostu 1 (IGF-1; ang. *insulin-like growth factor 1*). Współczynniki korelacji między wartościami obserwowanymi i przewidywanymi wydajności mleka, tłuszczu i białka wynosiły odpowiednio 0,54, 0,46 oraz 0,40. Najważniejsze predyktory obejmowały m. in. genotyp IGF-1. Wybrane metody *data mining* (CART, CHAID, ANN) zastosowano też do predykcji masy ciała kóz rasy beetal w Pakistanie na podstawie pomiarów morfometrycznych (1.1.13). Badania te realizowano w ramach współpracy z Iğdir University w Turcji. Otrzymane współczynniki korelacji między wartościami obserwowanymi i przewidywanymi masy ciała kóz wynosiły od 0,82 do 0,86. Do najważniejszych predyktorów należały: płeć, wysokość zadu oraz obwód głowy. Podobne analizy (także we współpracy z Iğdir University) dotyczyły predykcji wybranych wskaźników rozrodczych owiec rasy harnai za pomocą ANN, CART, CHAID oraz MARS (1.1.9). Ogólnie rzecz biorąc, otrzymane współczynniki korelacji były stosunkowo niskie (0,05 – 0,29), podobnie jak kryteria ważności poszczególnych predyktorów uwzględnionych w analizie. Wybrane metody statystyczne (analiza dyskryminacyjna) wykorzystano też do klasyfikacji gatunków nicieni na podstawie ich pomiarów morfometrycznych (1.1.3). Celem pracy było potwierdzenie przynależności badanych

osobników do odrębnych jednostek taksonomicznych (gatunków) oraz wskazanie zmiennych morfometrycznych, które w największym stopniu przyczyniały się do dyskryminacji grup. Opracowany model charakteryzował się wysokim odsetkiem poprawnej klasyfikacji zarówno samców, jak i samic nicieni. Uzyskane wyniki potwierdziły celowość wydzielenia *Quasiamidostomum fulicae* z rodzaju *Amidostomum*.

W obrębie omawianego obszaru badawczego, wykonywano też analizy statystyczne współczynnika inbredu koni oraz aktywności dobowej koników polskich za pomocą globalnego systemu pozycjonowania (GPS; ang. *global positioning system*) (1.3.1, 1.3.3 i 1.1.4). Nie były to jednak zagadnienia *stricto* związane z predykcją. Odpowiednio prowadzony chów wsobny stosowany jest w hodowli koni sportowych celem doskonalenia pożądaných cech poprzez kumulowanie genów wybitnych przodków. Tego typu trendy obserwowane są też w Polsce. Toteż uzasadnionym wydawało się podjęcie badań nad oceną stopnia inbredu. W efekcie wykazano istotne różnice współczynnika inbredu ogierów rasy polski koń szlachetny półkrwi oraz rasy holsztyńskiej, a także istotny wzrost wartości tegoż współczynnika dla pierwszej z analizowanych ras. W ramach dalszych badań nad stopniem inbredu przeanalizowano jego wartość u ogierów rasy holsztyńskiej przedstawionych do kwalifikacji do hodowli w Niemczech w latach 2003 – 2012. Stwierdzono istotne różnice w wartościach współczynnika inbredu z poszczególnych lat. Wreszcie przesłanką do podjęcia badań nad aktywnością dobową koników polskich była chęć zbadania wzorców przemieszczania się tych zwierząt w warunkach środowiskowych zbliżonych do naturalnych mając na uwadze stosunkowo niewielką liczbę prac z tego zakresu, zwłaszcza z wykorzystaniem systemu GPS. Badania te wykazały istotny wpływ pory dnia, siedliska oraz interakcji między rodzajem siedliska a sezonem, a także rodzajem siedliska a porą dnia na aktywność dobową koników polskich.

Kolejny obszar aktywności badawczej dotyczył zastosowania termografii w podczerwieni do pomiaru temperatury powierzchniowej ciała ludzi (1.1.23, 1.1.2) i zwierząt (1.3.2, 1.1.10, 1.1.7, 1.1.6, 1.1.1). Metoda termograficzna znajduje coraz szersze zastosowanie w zootechnice m. in. ze względu na wzrastającą dostępność urządzeń tego typu o wysokiej jakości. Temperatura powierzchniowa jest istotnym wskaźnikiem stanu fizjologicznego organizmu lub choroby. Na temperaturę tę wpływ ma m. in. występowanie *mastitis*. W celu umożliwienia jego wykrywania na podstawie pomiaru temperatury powierzchniowej konieczne jest wcześniejsze określenie oddziaływania różnych czynników fizjologicznych i środowiskowych. Toteż w omawianych

badaniach podjęto próbę przeanalizowania wpływu doju mechanicznego na temperaturę powierzchniową wymienia krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. Stwierdzono, że średnia wartość temperatury była istotnie wyższa przed dojem niż po nim, co oznacza, że temperatura ta powinna być mierzona zawsze w tym samym momencie. Przyczyną zmian temperatury powierzchniowej może być również reakcja organizmu na stres (1.1.1). Mając na uwadze ten fakt, sprawdzono, czy metoda termograficzna nadaje się do wykrywania zmian wywołanych stresem u kur niosek. Dodatkowo uwzględniono wpływ czynników genetycznych (linia) oraz żywieniowych (suplementacja probiotykiem). Wykazano, iż suplementacja nie wpływała istotnie na wartość temperatury powierzchniowej oka i pozostałej części głowy ptaków, natomiast występowały różnice w wartościach temperatury między oboma liniami. W efekcie potwierdzono użyteczność metody termograficznej jako narzędzia do pośredniej oceny reakcji stresowych u kur. Kolejne badania obejmowały wykorzystanie metody termograficznej do analizy dopasowania siodła koni wyścigowych. Bolesność grzbietu należy do powszechnych problemów zdrowotnych u koni sportowych. Jedną z przyczyn jego występowania jest niewłaściwe dopasowanie siodła. Z kolei pośredniej oceny dopasowania można dokonać za pomocą pomiaru temperatury powierzchniowej. W wyniku przeprowadzonych badań odnotowano istotne zależności między rozkładem temperatury grzbietu a wiekiem konia, intensywnością treningu oraz masą siodła wraz z jeźdźcem. W następnej pracy z zakresu analizy wpływu masy siodła oraz ciała jeźdźca na dopasowanie siodła stwierdzono istotne zależności między dwoma ostatnimi zmiennymi. Dla dwóch jeźdźców rozkład temperatury lewo- lub prawostronnej odbiegał znacząco od optymalnego, zaś dla trzech pozostałych wskazywał na niewłaściwe oparcie siodła w części środkowej. Dodatkowo wykazano różnice rozkładu temperatury pod przednią i tylną częścią siodła u poszczególnych jeźdźców. Badania te potwierdziły przydatność termografii w podczerwieni jako pośredniej metody oceny dopasowania siodła poprzez pomiar temperatury powierzchniowej odzwierciedlającej wielkość nacisku siodła. Termografię w podczerwieni zastosowano także do oceny wpływu treningu na funkcjonowanie organizmu konia (ewentualne przetrenowanie) poprzez pomiar temperatury powierzchniowej ciała. Ponadto, celem ustalenia przydatności tej metody w omawianym kontekście, określono też korelacje między temperaturą powierzchniową a wybranymi parametrami hematologicznymi i biochemicznymi, jako uznanymi wskaźnikami funkcjonowania organizmu konia. Wykazano istotny wzrost temperatury powierzchniowej wybranych obszarów ciała natychmiast po treningu, a także istotne korelacje między temperaturą

powierzchniową a analizowanymi parametrami hematologicznymi i biochemicznymi u często ujeżdżanych koni, a także u koni nigdy nieujeżdżanych. W efekcie potwierdzono przydatność termografii w podczerwieni jako pośredniej metody oceny funkcjonowania organizmu konia pod wpływem treningu.

Przedostatnia praca z zakresu termografii miała na celu analizę rozkładu temperatury powierzchniowej wybranych części ciała kobiet i mężczyzn w odpowiedzi na ogólną kriostymulację organizmu. Kriostymulacja całego ciała jest metodą stosowaną m. in. u sportowców w celu zwiększenia efektywności treningu i polega na bardzo szybkim schłodzeniu całego organizmu do niskiej temperatury (poniżej  $-100^{\circ}\text{C}$ ). Ekspozycja taka aktywuje odpowiednie mechanizmy termoregulacyjne. Nie wszystkie jednak szczegóły reakcji organizmu na efekt kriostymulacji zostały dotąd wyjaśnione. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że najniższe zmiany temperatury powierzchniowej odnotowano piątego dnia stosowania procedury (cała sesja obejmowała łącznie 10 zabiegów). Ponadto, najwyższe zmiany temperatury powierzchniowej ciała zaobserwowano u kobiet. Podsumowując, można stwierdzić, że zastosowany protokół kriostymulacji doprowadził do wykształcenia się reakcji adaptacyjnych organizmu, które mogą się różnić między płciami. Jednocześnie potwierdzono przydatność metody termograficznej do obrazowania tego typu reakcji. Metodę termograficzną zastosowano też w okulistyce do badania zmian temperatury powierzchniowej rogówki oka oraz oczodołu po operacji zaćmy (1.1.2). Operacje takie należą do najczęściej wykonywanych mikroinwazyjnych zabiegów okulistycznych na świecie, zaś fakoemulsyfikacja do najbardziej popularnych technik stosowanych w tym celu. Ponadto, we wcześniejszych pracach wykazano istotne zmiany temperatury oka po operacji zaćmy. Toteż postanowiono wykorzystać termografię w podczerwieni do analizy zmian temperatury powierzchniowej. Pomiaru dokonywano w centralnej części rogówki, na powierzchni oka oraz w oczodole jeden dzień, dwa tygodnie i cztery tygodnie po operacji, porównując ją z temperaturą wyjściową (przed operacją). Stwierdzono istotne różnice temperatury powierzchniowej oczodołu dwa tygodnie po operacji względem wartości przed operacją. Odnotowano też początkowy istotny spadek temperatury, a następnie jej wzrost do wartości wyjściowej. W rezultacie potwierdzono przydatność metody termograficznej do monitorowania temperatury oka przy operacji zaćmy, a także do oceny stanu powierzchni oka po zastosowaniu fakoemulsyfikacji.

Przedostatni obszar badawczy dotyczył weryfikacji statystycznej wpływu wybranych polimorfizmów oraz zmian ekspresji genów w różnych warunkach (**1.1.32, 1.1.31, 1.1.29, 1.1.27, 1.1.26, 1.1.15, 1.1.14, 1.1.12, 1.1.5**). Przesłanką do podjęcia badań był fakt, że identyfikacja polimorfizmów w obrębie kodujących, niekodujących i regulatorowych sekwencji genów w powiązaniu z poziomem cech użytkowych jest bardzo istotnym etapem selekcji wspomaganej markerami (MAS; ang. *marker-assisted selection*). W ramach opisywanych prac zweryfikowano wpływ wariantów polimorficznych genów *CYP19*, *CYP21* i *ER1* na cechy rozrodcze i produkcyjne krów rasy polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. Estrogeny odgrywają kluczową rolę w fizjologii procesów rozrodczych, wzroście komórek, ich różnicowaniu oraz rozwoju gruczołu mlekowego. Gen *CYP19* koduje aromatazę cytochromu P450, zaangażowaną w proces syntezy estrogenów, *CYP21* koduje 21-hydroksylazę steroidową kluczową dla syntezy aldosteronu i kortyzolu, zaś *ER1* koduje receptor estrogenu alfa. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono istotne różnice długości okresu międzyciążowego i międzywycieleniowego w poszczególnych laktacjach w zależności od genotypu *ER1* i *CYP19*. Nie wykazano jednak żadnych istotnych zależności między cechami użytkowości mlecznej a analizowanymi genotypami.

Następna faza badań (**1.1.29**) miała na celu określenie wpływu polimorfizmu insercyjno-delecyjnego w regionie promotorowym oraz intronie pierwszym genu *PRNP* na wyżej wspomniane cechy krów rasy jersey. Wcześniejsze prace nad tym genem najczęściej koncentrowały się na jego związkach z encefalopatią gąbczastą u bydła, podczas gdy jego lokalizacja chromosomowa może świadczyć o wpływie na cechy użytkowości mlecznej krów. Wykazano istotne różnice zawartości tłuszczu w mleku oraz wydajności mleka w poszczególnych laktacjach w zależności od genotypu. Kontynuacją badań z tego zakresu było przeanalizowanie wpływu polimorfizmu insercyjno-delecyjnego genu *SREBP-1* na cechy użytkowości mlecznej krów rasy jersey. Gen ten koduje białko wiążące elementy regulatorowe genów enzymów biorących udział w syntezie steroli. Jest ono ważnym czynnikiem transkrypcyjnym zaangażowanym w regulację metabolizmu tłuszczów. W badaniach własnych wykazano istotny związek tego polimorfizmu z zawartością tłuszczu i białka w mleku w kolejnych laktacjach. Ostatnia z prac na temat wpływu wybranych polimorfizmów na cechy użytkowe bydła (**1.1.5**) dotyczyła związku między polimorfizmem pojedynczego nukleotydu (SNP; ang. *single nucleotide polymorphism*) w genie *FADS2* a składem kwasów tłuszczowych mleka krów rasy jersey oraz polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej. Gen ten koduje desaturazę 2 kwasów tłuszczowych zaangażowaną w szlak metaboliczny lipidów i syntezę



wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. W badaniach własnych stwierdzono istotne zależności między genotypem *FADS2* a zawartością wybranych kwasów tłuszczowych w mleku krów rasy jersey oraz polskiej holsztyńsko-fryzyjskiej, co oznacza, że analizowany SNP mógłby być wykorzystany jako potencjalny marker składu kwasów tłuszczowych w mleku. Kolejnym gatunkiem (obok bydła), u którego analizowano oddziaływanie wariantów polimorficznych genów był gołąb skalny (1.1.27). Zweryfikowano wpływ polimorfizmu w genie *LDHA* na wyniki lotowe gołębi pocztowych. Gen ten koduje izoformę A dehydrogenazy mleczanowej, która odgrywa rolę w metabolizmie pirogronianu i mleczanu. Wcześniejsze badania wykazały, że rodzaj treningu wpływa na aktywność dehydrogenazy mleczanowej. W badaniach własnych tylko jeden z analizowanych SNP w sposób istotny oddziaływał na rejestrowane wyniki. Mimo to praca ta była jedną z pierwszych bardziej kompleksowych analiz związku między wynikami lotowymi gołębi pocztowych a ich zmiennością genetyczną. W konsekwencji zidentyfikowany polimorfizm mógłby być wykorzystany jako potencjalny marker genetyczny w MAS. Przeanalizowano także związek między SNP w genie keratyny a wynikami lotowymi gołębi pocztowych (1.1.15). Beta-keratyna jest głównym składnikiem piór ptaków. Analizowana mutacja punktowa w genie *F-KER* powoduje substytucję cysteiny przez glicynę w pozycji 83 białka, co może mieć wpływ na jego strukturę. W badaniach własnych wpływ polimorfizmu okazał się istotny tylko w przypadku lotów dalekodystansowych. Przeprowadzono także dodatkową analizę bioinformatyczną celem wyjaśnienia natury tej zależności, jednak uzyskane wyniki okazały się niejednoznaczne. Tym niemniej stwierdzono, że zamiana cysteiny we wspomnianej wyżej pozycji może potencjalnie wpływać na strukturę piór modyfikując ich właściwości biomechaniczne, a tym samym oddziaływać na wyniki lotowe gołębi. Podsumowując, opis mechanizmów molekularnych odpowiedzialnych za kształtowanie się określonych cech (produkcyjnych czy rozrodczych) oraz identyfikacja osobników o pożądanym genotypach może ułatwić prowadzenie procesu hodowlanego.

W ramach badań nad poziomem ekspresji genów w różnych warunkach (1.1.26) analizowano profil ekspresji genów zaangażowanych w proces maskulinizacji gonad kóz z zespołem bezrogich interseksów (PIS; ang. *polled intersex syndrome*) będących w różnym wieku. Przypadki odwrócenia płci u bezrogich kóz dostarczają istotnych informacji na temat procesu determinacji i różnicowania płci u ssaków. Chociaż podłoże molekularne PIS u kóz jest już dość szczegółowo opisane, nie wszystkie kwestie zostały dotychczas w pełni wyjaśnione. Ważny w tym

względnie jest m. in. udział genów *SOX9* i *PISRT1*, z których pierwszy koduje czynnik transkrypcyjny odgrywający kluczową rolę w procesie determinacji płci w fazie embrionalnej, drugi zaś ulega transkrypcji i poliadenylacji, ale nie translacji. W badaniach własnych profil ekspresji genów *SOX9* i *PISRT1* w gonadach osobników z odwróceniem płci, jak też u rogatych i bezrogich koziółków (grupa kontrolna) był podobny, natomiast w gonadach obojnaka nie zaobserwowano aktywności transkrypcyjnej tych genów. Wysoki poziom mRNA *PISRT1* został odnotowany w jądrach rogatego koziółka. Badania molekularne wykazały też, że wszystkie osobniki ze zmianami rozwojowymi układu rozrodczego były samicami *SRY(-)*. Ponadto zaobserwowano delecję PIS u kóz z grupy eksperymentalnej. Na następnym etapie badań postanowiono bardziej szczegółowo określić różnice w ekspresji genu *SOX9* w jądrach koziółków w zależności od wieku (1.1.14). Maksymalny poziom ekspresji zaobserwowano u osobników w wieku 10 miesięcy z normalnymi jądrami, podczas gdy ekspresja ta uległa istotnemu obniżeniu u koziółków w tym samym wieku z nieprawidłową budową jąder. Najniższy poziom ekspresji odnotowano w grupie piętnastomiesięcznych osobników. W efekcie wykazano, że wpływ delecji PIS na zespół odwróconej płci może być dużo większy niż dotychczas sądzono oraz że poziom ekspresji *SOX9* ulega istotnym zmianom podczas rozwoju osobników płci męskiej.

W ramach pozostałych prac z zakresu wykorzystania metod statystycznych w zagadnieniach zootechnicznych przeprowadzono analizę rozkładu spotów białkowych poprzez porównanie wyliczonych i teoretycznych wartości punktu izoelektrycznego i masy cząsteczkowej oraz przedstawienie tych zależności w sposób graficzny (1.1.11). Była to część badań proteomicznych nad składem surowicy krwi konia. Stwierdzono, że spośród 46 analizowanych produktów białkowych, 22 nie zostały wcześniej zidentyfikowane w surowicy bądź osoczu. Około 30% zidentyfikowanych białek było zaangażowanych w proces krzepnięcia lub należało do układu dopełniacza. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do przyszłych badań nad zmianami proteomu osocza krwi konia w różnych warunkach fizjologicznych lub patofizjologicznych.

Ostatni obszar badawczy obejmował analizy statystyczne wyników badań medycznych (1.3.5, 1.1.25, 1.1.22, 1.1.8), zwłaszcza w dziedzinie okulistyki (1.3.6, 1.1.21, 1.1.20). Prace te realizowano w ramach współpracy z Pomorskim Uniwersytetem Medycznym w Szczecinie i miały one na celu m. in. analizę wpływu czynników biochemicznych i fizjologicznych na parametry przepływu krwi w naczyniach pozagałkowych. Pierwsza z nich (1.3.6) dotyczyła zależności między stopniem zmętnienia soczewki oka a parametrami przepływu pozagałkowego krwi u

nastolatków z cukrzycą. Pacjenci z cukrzycą mieli obniżone niektóre parametry przepływu krwi w odgałęzieniach tętnicy ocznej. Odnotowano także istotne korelacje między parametrami biochemicznymi i przepływu krwi. W efekcie stwierdzono, że parametry glikemiczne i lipidowe mogą odgrywać istotną rolę w zwężaniu naczyń krwionośnych w endoteliopatii cukrzycowej. W ramach dalszych badań (1.1.21) analizowano wpływ wybranych parametrów lipidowych i naczyniowych na dynamikę pozagałkowego przepływu krwi u pacjentów z jaskrą. Stwierdzono, iż niewłaściwe wartości tych parametrów, a także zaobserwowane korelacje między nimi a wskaźnikami pozagałkowego przepływu krwi mogą wskazywać na ich rolę w zwężaniu naczyń krwionośnych w endoteliopatii jaskrowej. Ostatnia z prac (1.1.20) miała na celu ocenę wpływu wieku zdrowych ochotników na parametry pozagałkowego przepływu krwi za pomocą ultrasonografii dopplerowskiej w kolorze. Stwierdzono istotnie niższe prędkości przepływu w analizowanych tętnicach w najstarszej grupie wiekowej. Z kolei wartość współczynnika oporności istotnie wzrastała wraz z wiekiem badanych osób. W efekcie stwierdzono, iż ultrasonografia dopplerowska w kolorze ma znaczący potencjał przy ocenie zmian hemodynamicznych w krążeniu pozagałkowym wraz z wiekiem oraz że konieczne byłoby ustalenie norm laboratoryjnych dla poszczególnych grup wiekowych przy prowadzeniu dalszych badań nad przepływem krwi w chorobach oczu o podłożu naczyniowym.

Pozostałe analizy statystyczne wyników badań medycznych dotyczyły m.in. weryfikacji przydatności rejestracji dźwięków jelitowych do diagnozowania wybranych schorzeń jamy brzusznej za pomocą macierzy binarnych (1.3.5). Stwierdzono istotnie mniej dźwięków w przypadku niedrożności mechanicznej jelit oraz rozlanego zapalenia otrzewnej w porównaniu z grupą kontrolną, a także zależności między współrzędnymi macierzy a typem schorzenia badanych grup pacjentów, co świadczyło o potencjalnej możliwości zastosowania praktycznego wyżej wspomianej metody po jej dalszym udoskonaleniu. Analiza statystyczna wyników badań medycznych dotyczyła również zabiegów z zakresu medycyny estetycznej, które stają się coraz bardziej popularne w Polsce i na świecie. Konkretnie badano wskaźniki samooceny kobiet poddających się chirurgicznemu powiększaniu piersi (1.1.25). Wykazano, że znaczenie sukcesu zawodowego w hierarchii wartości oraz poziom samooceny pacjentek istotnie wzrastały po operacji. Różnice odnotowano także w oczekiwaniach co do skutków operacji oraz ocenie ich spełnienia. Ogólne zadowolenie z życia także istotnie wzrastało. W efekcie stwierdzono, iż dobrze przemyślana decyzja o poddaniu się operacji plastycznej pozytywnie wpływała przynajmniej na

część aspektów psychospołecznych i pozwalała spełnić większość oczekiwań w tym zakresie. U kobiet poddających się operacji powiększania biustu przeprowadzono też analizę związku między zadowoleniem z życia a poziomem neurotyzmu (1.1.8). Nie stwierdzono istotnych różnic w poziomie neurotyzmu przed i po operacji, aczkolwiek wzrost subiektywnego zadowolenia z życia był istotny. Wykazano też istotne korelacje między poziomem neurotyzmu a samooceną oraz zadowoleniem z życia. W efekcie uznano, iż interwencja chirurgiczna nie wpływa na konstytucjonalne cechy osobowości, natomiast neurotyzm może pełnić rolę modulatora zmian psychologicznych po operacji. Badania nad jakością życia dotyczyły też pacjentów z zaawansowaną niewydolnością żylną (1.1.22). Zaobserwowano istotne korelacje między intensywnością odczuwania bólu, obrzęku oraz stanu zapalnego a poziomem jakości życia w analizowanych dziedzinach. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że ogólna jakość życia u pacjentów z żylnym owrzodzeniem kończyn dolnych była zbliżona do tej, u innych osób z przewlekłą niewydolnością żylną, zaś obecność owrzodzeń żylnych wiązała się z obniżeniem jakości życia w domenie fizycznej.

Ostatnia z prac zawartych w zestawieniu dorobku naukowego miała na celu analizę statystyczną oddziaływania materiału hybrydowego zawierającego m. in. tlenek grafenu oraz nanosfery magnetytu w magnetycznym polu wirującym na aktywność metaboliczną komórek ssaków (1.1.19). W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że intensywność metabolizmu komórkowego uległa obniżeniu, co dodatkowo było potęgowane obecnością nanosfer oraz wirującego pola magnetycznego. Zaobserwowano też istotne zmiany w przepuszczalności błony komórkowej.

Podsumowując, w wyniku przeprowadzonych badań:

- wykazano przydatność zastosowanych metod *data mining* do przewidywania dystocji u bydła mlecznego;
- wykazano przydatność analizowanych metod *data mining* do przewidywania *mastitis* i trudności zacieleń u bydła mlecznego; potwierdzono też ich skuteczność w niektórych innych problemach klasyfikacyjnych i regresyjnych z zakresu zootechniki;
- potwierdzono przydatność metody termograficznej przy analizie czynników wpływających na temperaturę powierzchniową ciała ludzi i zwierząt;
- zweryfikowano hipotezy badawcze w badaniach medycznych, zwłaszcza w dziedzinie okulistyki.

## Podsumowanie dorobku naukowego

Mój dorobek naukowy obejmuje łącznie 108 pozycji bibliograficznych w tym: 57 publikacji naukowych, cztery rozdziały w monografiach naukowych oraz 47 doniesień i komunikatów prezentowanych na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Wśród publikacji naukowych, 47 artykułów zostało opublikowane w czasopismach z listy JCR (w tym sześć stanowi cykl wskazany, jako szczególne osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym), kolejnych osiem pozycji zostało opublikowanych w recenzowanych czasopismach z części B wykazu czasopism Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, zaś ostatnie dwie w recenzowanych czasopismach spoza wykazu (zestawienie publikacji przedstawiono w wykazie osiągnięć naukowych – zał. 4).

Biorąc pod uwagę wartości wskaźników bibliometrycznych przypisanych zgodnie z rokiem wydania poszczególnych publikacji, łączna wartość dorobku naukowego w przeliczeniu na punkty MNiSW wynosi 1121, w tym 905 punktów (bez osiągnięcia naukowego) zgromadzone po uzyskaniu stopnia doktora. Sumaryczny *Impact Factor* publikacji jest równy 45,145. Według bazy bibliograficznej *Web of Science Core Collection*, liczba cytowań wynosi 224 (bez autocytowań 193), zaś indeks Hirscha ma wartość 8. Natomiast, według bazy bibliograficznej *Scopus*, liczba cytowań wynosi 212 (bez autocytowań 186), zaś indeks Hirscha ma wartość 7 (stan dla obu baz danych na dzień 20.07.2020). Zestawienie dorobku naukowego według liczby pozycji bibliograficznych, wartości IF z uwzględnieniem punktów MNiSW, przed oraz po uzyskaniu stopnia doktora przedstawiono w poniższym zestawieniu tabelarycznym.

Tabela 3. Zestawienie publikacji

Rodzaj publikacji	Przed uzyskaniem stopnia doktora		Po uzyskaniu stopnia doktora				Ogółem	
	IF <sup>a</sup>	MNiSW <sup>b</sup>	Jednotematyczny cykl publikacji		Pozostałe publikacje		IF <sup>a</sup>	MNiSW <sup>b</sup>
			IF <sup>a</sup>	MNiSW <sup>b</sup>	IF <sup>a</sup>	MNiSW <sup>b</sup>		
Prace oryginalne w czasopismach z bazy JCR	2,533	53 [3]	6,922	130 [6]	32,248	772 [34]	41,703	955 [43]
Prace oryginalne w czasopismach spoza bazy JCR	-	4 [2]	-	-	-	53 [7]	-	57 [9]
Artykuły przeglądowe w czasopismach z bazy JCR	1,606	24 [1]	-	-	1,837	50 [3]	3,443	74 [4]
Artykuły przeglądowe w czasopismach	-	-	-	-	-	15 [1]	-	15 [1]

spoza bazy JCR								
Doniesienia i komunikaty	-	[5]	-	-	-	[42]	-	[47]
Rozdziały w monografiach	-	5 [1]	-	-	-	15 [3]	-	20 [4]
<b>Ogółem</b>	<b>4,139</b>	<b>86</b> <b>[12]</b>	<b>6,922</b>	<b>130</b> <b>[6]</b>	<b>34,085</b>	<b>905</b> <b>[90]</b>	<b>45,145</b>	<b>1121</b> <b>[108]</b>

<sup>a</sup>IF - *Impact Factor* według bazy *Journal Citation Reports* (JCR) zgodny z rokiem ukazania się pracy, dla prac z roku 2020 wykazano IF za rok 2019;

<sup>b</sup>MNiSW - liczba punktów według wykazu czasopism naukowych MNiSW zgodna z rokiem ukazania się pracy; dla prac z lat 2018 - 2020 wykazano liczbę punktów MNiSW za rok 2017; W nawiasach podano liczbę publikacji.

W kolejnej tabeli zestawiono dorobek naukowy według liczby publikacji wraz z charakterystyką czasopism, w których opublikowano wyżej wymienione prace.

Tabela 4. Czasopisma, w których opublikowano artykuły

Rodzaj publikacji	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Łącznie
<b>1. Oryginalne prace twórcze</b>	<b>5</b>	<b>47</b>	<b>52</b>
<b>a) w czasopismach znajdujących się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> (JCR)</b>	<b>3</b>	<b>40</b>	<b>43</b>
<i>Acta Veterinaria-Beograd</i>	-	1	1
<i>Acta Veterinaria Brno</i>	-	1	1
<i>Aesthetic Plastic Surgery</i>	-	1	1
<i>Animal</i>	-	1	1
<i>Animal Science Papers and Reports</i>	-	1	1
<i>Annals of Plastic Surgery</i>	-	1	1
<i>Applied Engineering in Agriculture</i>	-	1	1
<i>Archiv fur Tierzucht - Archives of Animal Breeding</i>	1	1	2
<i>Archives Animal Breeding</i>	-	2	2
<i>Arquivos Brasileiros de Oftalmologia</i>	-	1	1
<i>Asian-Australasian Journal of Animal Sciences</i>	-	1	1
<i>Aviation Space and Environmental Medicine</i>	-	1	1
<i>Bosnian Journal of Basic Medical Sciences</i>	-	1	1
<i>Computers and Electronics in Agriculture</i>	-	3	3
<i>Current Eye Research</i>	-	1	1
<i>Holistic Nursing Practice</i>	-	1	1
<i>Indian Journal of Animal Research</i>	-	3	3
<i>Indian Journal of Animal Sciences</i>	-	1	1
<i>Journal of Applied Animal Research</i>	-	2	2

<i>Journal of Biomaterials Applications</i>	-	1	1
<i>Journal of Equine Veterinary Science</i>	-	1	1
<i>Journal of Perinatal Medicine</i>	1	-	1
<i>Journal of Poultry Science</i>	-	1	1
<i>Journal of Veterinary Research</i>	-	1	1
<i>Landbauforschung</i>	-	2	2
<i>Pakistan Journal of Zoology</i>	-	2	2
<i>PLoS One</i>	-	2	1
<i>Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias</i>	-	1	1
<i>Small Ruminant Research</i>	-	1	1
<i>Tieraerztliche Umschau</i>	1	-	1
<i>Turkish Journal of Veterinary &amp; Animal Sciences</i>	-	1	1
<i>Veterinarni Medicina</i>	-	2	2
<b>b)w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> (JCR)</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<i>Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica</i>	-	3	4
<i>Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis Agricultura Alimentaria Piscaria et Zootechnica</i>	-	1	1
<i>Euroasian Journal of Hepato-Gastroenterology</i>	-	1	1
<i>Polish Journal of Radiology</i>	-	1	1
<i>Pridneprovsky Research Journal</i>	1	-	1
<i>Roczniki Naukowe PTZ</i>	1	-	1
<b>2. Prace przeglądowe</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>a)w czasopismach znajdujących się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> (JCR)</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<i>Turkish Journal of Veterinary &amp; Animal Sciences</i>	-	1	1
<i>International Ophthalmology</i>	-	1	1
<i>Medycyna Weterynaryjna</i>	-	1	1
<i>Reproduction in Domestic Animals</i>	1	-	1
<b>b)w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> (JCR)</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Annals of Parasitology</i>	-	1	1
<b>3. Inne publikacje</b>	<b>6</b>	<b>45</b>	<b>51</b>
a) doniesienia i komunikaty	5	42	47
b) rozdziały w monografiach	1	3	4
<b>Razem</b>	<b>12</b>	<b>96</b>	<b>108</b>

Dotychczas recenzowałem 29 publikacji naukowych, z czego 27 w czasopismach naukowych wyszczególnionych w JCR tj. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* (1), *The Journal of Animal and Plant Sciences* (7), *Pakistan Journal of Zoology* (12), *Preventive Veterinary Medicine* (1), *Journal of Dairy Science* (1), *Revista Brasileira de Zootecnia* (1), *Journal of Agricultural Science and Technology* (1), *Neural Computing and Applications* (1), *Journal of Dairy Research* (1), *Reproduction in Domestic Animals* (1). Prowadzona działalność naukowa i organizacyjna pozwoliła mi na dwukrotne uzyskanie nagród JM Rektora Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (nagroda indywidualna pierwszego stopnia za osiągnięcia naukowe w roku 2014 oraz zespołowa drugiego stopnia za osiągnięcia dydaktyczne w roku 2016). Ponadto w roku 2016 zostałem uhonorowany medalem *Amicus Scientiae et Veritatis* Szczecińskiego Towarzystwa Naukowego.

Szczecin, 20.07.2020

.....  
Zaborski

Daniel Zaborski