

**dr hab. Krzysztof Słoniewski**  
Polska Federacja Hodowców Bydła i Producentów Mleka

## Recenzja

rozprawy doktorskiej zatytułowanej „Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do wczesnego diagnozowania krów zagrożonych subkliniczną ketozą”, wykonanej przez Panią mgr Edytę Bauer, na Wydziale Hodowli i Biologii Zwierząt Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, pod kierunkiem Pana dr hab. Wojciecha Jagusiaka (promotor) oraz Pani dr Agnieszki Otwinowskiej-Mindur (promotor pomocniczy).

### Uwagi formalne

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska składa się z następujących rozdziałów: „Abstrakt”, „Wstęp”, „Hipoteza badawcza”, „Materiały i metody”, „Wyniki”, „Omówienie wyników”, „Stwierdzenia i wnioski” oraz „Przegląd literatury”. Przyjęty podział pracy odpowiada jej celowi i jest typowy dla rozpraw tego rodzaju. Z obowiązku recenzenckiego pozwalam sobie zwrócić uwagę, że streszczenie w języku polskim powinno mieć także tytuł w tym języku, zamiast słowa „Abstrakt”, będącego anglicyzmem. Rozdział „Omówienie wyników” zawiera *de facto* dyskusję wyników uzyskanych przez Autorkę, dokonaną na tle informacji pochodzących z piśmiennictwa dotyczącego zbliżonej tematyki. Odpowiedniejszy byłby zatem dla niego tytuł „Dyskusja wyników”. Rozdział „Przegląd literatury” zawiera wykaz pozycji piśmiennictwa, cytowanych w pracy. Stosowny byłby dla niego taki właśnie tytuł – „Wykaz piśmiennictwa”.

Praca liczy 72 strony. Zamieszczono w niej 17 tabel oraz 11 rycin i wykresów. Tabele i wykresy są przejrzyste i właściwie opisane. Wykaz piśmiennictwa obejmuje 73 pozycje. Cytowane publikacje świadczą o dobrej orientacji Autorki w piśmiennictwie powiązanim z tematyką rozprawy. Cytując pozycje piśmiennictwa Autorka nie wszędzie zachowuje konwencję nakazującą wymienianie cytowanych prac w kolejności chronologicznej. Przykładem może być cytowanie „[Górska i in., 1997; Rosenblat, 1965]” umieszczone na stronie 17. Wypada także wskazać, że czasami Autorka ucieka się do cytowania pośredniego, co nie jest praktyką godną polecenia. Przykładem niech będzie cytowanie zawarte na 17 stronie rozprawy: „(...) serii prac naukowych autorstwa m.in. Andersona, Hopfielda, Rumelharta i Sejnowskiego [Amit, 1989; Grzesiak i in., 2006; Jędrus i in., 2008; Korbicz i in., 1994]”. Pozwalam sobie także sugerować Autorce, aby unikała umieszczania w jednym cytowaniu odsyłaczy do bardzo wielu prac. Przykładem może być cytowanie umieszczone na stronie 11, zawierające odsyłacze do ośmiu prac. Z obowiązku recenzenckiego muszę także wskazać, że nie udało mi się w tekście pracy znaleźć odsyłacza do pracy van der Drifta i wsp. (2012), zamieszczonej w wykazie piśmiennictwa jako pozycja 64.

Rozprawa napisana jest językiem stosownym dla prac naukowych, z zachowaniem właściwej terminologii dziedzinowej. Błędy terminologiczne (np. „zaleganie łożyska” zamiast „zatrzymanie łożyska”) są nieliczne i po części mają charakter błędów edytorskich (np. „Radial basic functions” zamiast „Radial basis functions” lub “feedforword” zamiast “feedforward”). Pozwalam sobie ponadto zasugerować, aby Autorka konsekwentnie trzymała się konwencji nakazującej pisanie o przeprowadzonych badaniach w czasie przeszłym, co nie zawsze ma miejsce w tekście rozprawy (np. pierwsze zadanie w podrozdziale 3.2 Metody).

## Uwagi ogólne

We wprowadzeniu Autorka słusznie wskazuje na duże znaczenie zaburzeń metabolicznych, a w szczególności ketozy, dla produktywności i dobrostanu krów mlecznych, a w rezultacie także dla ekonomiki tego kierunku produkcji zwierzęcej. Podkreśla w tym kontekście znaczenie, jakie ma dostęp do efektywnych i tanich metod diagnozowania ketozy w warunkach produkcyjnych. Jest to szczególnie istotne, bo zaburzenie to występuje szczególnie często w formie subklinicznej. Diagnozowanie ketozy w oparciu o parametry próbek mleka, pobieranego od krów, jest już obecnie oferowane w wielu krajach, w tym także w Polsce. Odpowiednie metody zasadzają się na równaniach regresji logistycznej, w których jako predyktory występują różne cechy próbek mleka, w tym głównie zawartość ciał ketonowych. Dokładność (czułość i specyficzność) odpowiednich testów są jednak nadal dalekie od ideału. Podjęta przez Autorkę próba znalezienia metody obliczeniowej, która pozwoliłaby uzyskać dokładniejsze przewidywania, zasługuje więc ze wszelkich miar na uznanie. Zastosowanie do tego celu sztucznych sieci neuronowych wydaje się uzasadnione potwierdzoną wielokrotnie zdolnością takich sieci do klasyfikowania obserwacji opisywanych wielu zmiennymi. Warto zwrócić uwagę na fakt, że w dostępnym piśmiennictwie znajdują się informacje o wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych do przewidywania lub detekcji ketozy. Wystarczy wspomnieć o publikacjach Gardnera i współpracowników z 1999 roku ("Prediction of health of dairy cattle from breath samples using neural network with parametric model of dynamic response of array of semiconducting gas sensors") oraz z 2000 roku ("An electronic nose system to diagnose illness diagnosing the presence of sub-clinical or clinical ketosis from the breath of dairy cows", pracę Ehreta i wsp. z 2015 ("Use of genomic and metabolic information as well as milk performance records for prediction of subclinical ketosis risk via artificial neural networks") albo doniesienie konferencyjne Ushikubo i wsp. z 2017 roku ("The early detection of subclinical ketosis in dairy cows using machine learning methods"). Podobne badania nie były jednak dotychczas prowadzone w Polsce, a w każdym razie nie opublikowano ich wyników.

Reasumując, podjęte badania należy uznać za uzasadnione, a weryfikacja postawionej przez Autorkę hipotezy, że „metoda identyfikowania krów zagrożonych ketozą oparta na sztucznych sieciach neuronowych może charakteryzować się wysoką czułością i specyficznością” ma nie tylko znaczenie poznawcze, ale także praktyczne.

## Uwagi szczegółowe

Dla ułatwienia Autorce udzielenia odpowiednich wyjaśnień, pozwoliłem sobie wyróżnić czerwonym kolorem czcionki te fragmenty tekstu recenzji, które zawierają moje pytania lub wątpliwości.

**Tytuł rozprawy** jest właściwie dobrany i ściśle odzwierciedla jej treść.

**Wstęp** dzieli się na dwie części. Pierwsza zawiera przegląd piśmiennictwa odnoszącego się do przyczyn, objawów i konsekwencji ketozy, a także jej występowania w populacjach krów mlecznych. Autorka omawia ponadto metody diagnozowania ketozy stosowane w warunkach produkcyjnych. **Dyskusyjna wydaje się w odniesieniu do ketozy teza Autorki, że „w stadach wysokowydajnych zachorowalność jest wyższa”. Nie jest ona poparta żadnymi cytowaniami, a wyniki uzyskane w Polsce w ramach tak zwanej „usługi ketozowej” wręcz przeczą takiemu stwierdzeniu.**

Z obowiązku recenzenta pozwalam sobie także zauważyć, że słuszne skądinąd stwierdzenie „Ketoza pokarmowa, (...) może wystąpić w każdym okresie laktacji z powodu skarmiania złej jakości kiszzonek” jest poparte cytowaniem wewnętrznego raportu PFHBiPM z wdrożenia tak zwanej „usługi ketozowej”, który to raport nie jest właściwym źródłem dla poparcia wspomnianej tezy. Zapewne jako wynik skrótu myślowego w tekście tego rozdziału pojawiło się ponadto niezręczne sformułowanie „(...) nadmierna kondycja krowy w okresie zasuszenia (nazywana

syndromem tłustej krwi (...)). Syndromem tłustej krwi nazywany jest zespół zaburzeń metabolicznych związanych ze zbytnim otłuszczeniem krów, a nie sama nadmierna kondycja.

Druga część Wstępu poświęcona jest omówieniu idei sztucznych sieci neuronowych, zasad ich działania oraz cech różnicujących dwa typy takich sieci, wykorzystane w przeprowadzonych badaniach. Tę część wstępu uważam za bardzo wartościową. Temat jest przedstawiony w sposób umożliwiający jego zrozumienie osobie bez przygotowania matematycznego lub informatycznego. Wskazuje to, że Autorka dysponuje szerokimi wiadomościami odnośnie tej specyficznej dziedziny wiedzy, i potrafi je przybliżyć osobom zainteresowanym wykorzystaniem nowych metod w statystycznej analizie danych biologicznych. Autorka kilkakrotnie wspomina w rozprawie o zjawisku „przeuczenia sieci”. Warto byłoby poświęcić kilka zdań na objaśnienie tego pojęcia oraz jego znaczenia dla wyników uzyskanych z użyciem sztucznych sieci neuronowych.

Biorąc pod uwagę tematykę rozprawy, niezrozumiały wydaje się fakt pominięcia w przeglądzie piśmiennictwa prac, które dotyczą ściśle zastosowania sztucznych sieci neuronowych do przewidywania lub diagnozowania ketozy. Przykłady takich prac podałem powyżej, w Uwagach ogólnych.

W rozdziale **Hipoteza badawcza** przedstawione dwie hipotezy. Pierwsza z nich jest w moim przekonaniu sformułowana zbyt szeroko. Zawarte w niej stwierdzenie „Szczegółowe oznaczenia takich składników mleka (...) mogą wskazywać na niekorzystne procesy (...) prowadzące do zaburzenia określanego jako ketoza” nie wymaga dodatkowej weryfikacji badawczej. Sama Autorka przytacza dziesiątki pozycji piśmiennictwa wystarczająco potwierdzające wyrażone w tej hipotezie przekonanie. Z treści rozprawy nie wynika, aby Autorka zajmowała się w swoich badaniach analizą związku poszczególnych charakterystyk mleka z występowaniem ketozy. Nie badała też zapewne procesów prowadzących do powstania tego zaburzenia.

Rzeczywisty i zrealizowany cel pracy jest wystarczająco wskazany w drugiej hipotezie badawczej. Hipoteza ta jest jasno sformułowana i stanowi dobre uzasadnienie dla metodyki przeprowadzonych badań.

W rozdziale **Materiał i metody** Autorka opisuje najpierw analizowane dane. Biorąc pod uwagę cel badań, którym było znalezienie metody diagnozowania ketozy, istotnym przeoczeniem jest brak informacji o liczbie krów (lub kombinacji krowa-data\_doju), w przypadku których stwierdzono wystąpienie ketozy. Nie ma też informacji, czy udział krów z ketozą był taki sam w zbiorze „uczącym”, „testowym” i „walidacyjnym”.

Opis statystyczny analizowanych zmiennych zawarty jest w trzech tabelach, przy czym w tabeli 3.3 znajduje się opis dotyczący wszystkich krów, a w dwóch następnych są opisy dotyczące odpowiednio krów-pierwiastek (tab. 3.4) i krów-wieloródek (tab. 3.5). Tabela 3.3 zawiera zatem łączną informację z dwóch kolejnych tabel, więc celowość jej zamieszczenia w treści rozprawy jest wątpliwa. Z obowiązku recenzenta zwracam także uwagę na niezręczności w objaśnieniach nagłówek kolumn, które to objaśnienia znajdują się pod wspomnianymi tabelami. Dla przykładu, umieszczony tam napis „średnia (z ang. *average*)” sugeruje, że polskie słowo „średnia” pochodzi od angielskiego „average”, co zdecydowanie nie jest prawdą.

Metody konstruowania, uczenia i testowania sztucznych sieci neuronowych, wykorzystanych w trakcie przedstawionych badań do typowania krów zagrożonych ketozą, są w tym rozdziale opisane przejrzyście i wyczerpująco. To samo dotyczy metod służących do oceny uzyskiwanych wyników działania tych sieci, poprzez podanie uzyskiwanej czułości i specyficzności testu, opartego na działaniu wybranych sieci neuronowych, oraz wielkości tak zwanego „poła pod krzywą ROC”.

Nie kwestionując wyboru dokonanego przez Autorkę, chciałbym jednak poznać powody, dla których wybrała do swoich badań akurat te dwa typy sztucznych sieci neuronowych (MLP i RBF), a w przypadku sieci typu MLP także uzasadnienie dla wyboru sieci z jedną warstwą ukrytą?



Uzasadniając podjęcie prezentowanych badań Autorka stwierdza słusznie, że w kontekście diagnozowania ketozy na podstawie charakterystyk próbek mleka „sztuczne sieci neuronowe mogą być interesującą alternatywą w stosunku do stosowanych obecnie metod, opartych na regresji logistycznej”. Z praktycznego punktu widzenia byłoby zatem niezmiernie ciekawe, aby wyniki uzyskane z użyciem sieci neuronowych mogły być bezpośrednio porównane z wynikami uzyskanymi dla tego samego zbioru danych z użyciem regresji logistycznej. **Umożliwiło by to bezpośrednie wnioskowanie o ewentualnej wyższości proponowanej metody nad metodą wskazywania krów zagrożonych ketozą, która jest dotychczas stosowaną w Polsce. Pozwalam sobie wyrazić żal, że Autorka nie pokusiła się o wykonanie obliczeń, umożliwiających wspomniane porównanie.**

Rozdział **Wyniki** jest obszerny i zawiera systematyczne omówienie wyników uzyskanych dla każdego z dwóch wykorzystywanych typów sieci neronowych (odpowiednio MLP i RBF), a w obrębie rodzaju sieci dla różnej liczby neuronów w warstwie ukrytej. Uzyskane wyniki przedstawiono w przejrzystych i właściwie opisanych tabelach. Proces uczenia sieci zilustrowano trzema wykresami prezentującymi malejącą wartość błędu przewidywania wraz z rosnącą liczbą „epok”, obrazującą czas uczenia.

**Poza uzyskanymi wynikami, w rozdziale tym znalazły się także rozważania dotyczące metodyki optymalizowania sieci neuronowych oraz kryteriów eliminacji niektórych zmiennych wejściowych. W moim przekonaniu właściwszym miejscem dla tych uwag byłby rozdział „Metody”.**

Opisując uzyskane wyniki Autorka przytacza „wartości współczynnika korelacji liniowej między danymi rzeczywistymi (występowanie ketozy lub jej brak) a prognozą sieci”. Występowanie ketozy zostało w przedstawionych badaniach potraktowane jako cecha dwustanowa (zdrowa/chora). Prognozy sieci miały zapewne taki sam charakter. Powstaje pytanie, **czy właściwe jest ocenianie związku między dwiema dwustanowymi zmiennymi przy pomocy wskaźnika korelacji liniowej?**

Bardzo ciekawe są obserwacje dotyczące zmiennych, które miały największy wpływ na wyniki typowania krów dotkniętych ketozą, dokonanego z wykorzystaniem najlepszych (tj. najbardziej efektywnych) spośród testowanych sieci neuronowych. Jako istotne predyktory pojawiają się nie tylko zawartości kwasu beta-hydroksymasłowego i acetonu w mleku, ale także stosunek tłuszczu do białka oraz zawartość tłuszczu, białka i laktozy, a w niektórych przypadkach nawet liczba komórek somatycznych w mleku.

Autorka poświęca sporo uwagi problemom technicznym, związanym z konstruowaniem i działaniem testowanych sieci, takim jak dobór właściwej liczby neuronów, rodzaje funkcji aktywacji tych neuronów oraz szybkość uczenia się sieci. Kwestie te nie mają większego znaczenia z punktu widzenia ostatecznego celu pracy, jakim było znalezienie takiej konstrukcji sieci, która diagnozowała by efektywnie występowanie ketozy u krów mlecznych. Uważam jednak, że szczegółowe przedstawienie tych kwestii technicznych jest zaletą pracy, ponieważ może ułatwić pracę innym badaczom, którzy zechcą wykorzystywać sztuczne sieci neuronowe do tego samego lub zbliżonego celu.

Autorka analizowała całość posiadanych danych z wykorzystaniem sieci typu MLP, natomiast w przypadku sieci typu RBF zbiór danych został podzielony na dwa podzbiory. Jeden obejmował obserwacje dokonane do 21 dnia laktacji, drugi obserwacje pochodzące z późniejszego okresu laktacji. Postępowanie przyjęte dla sieci typu RBF uzasadniono lakonicznym stwierdzeniem, że „sieć RBF nie była w stanie uczyć się prawidłowo przy użyciu pełnego zbioru danych wejściowych”. **Nie jest jasne, na czym polegały trudności z prawidłowym uczeniem tego typu sieci? Nie wiadomo też, dlaczego Autorka przyjęła, że akurat podział zbioru danych oparty na liczbie dni laktacji spowoduje przezwyciężenie tych trudności? Nawet jeśli przyjmiemy, że źródłem problemu było występowanie różnych wzorców w różnych fazach laktacji, to dlaczego nie użyto**

pomocniczej zmiennej wejściowej w postaci dnia laktacji lub numeru fazy laktacji? Należy także zwrócić uwagę na fakt, że w efekcie podjętej przez Autorkę decyzji sieci typu MLP oceniane były na innych zbiorach danych niż sieci typu RBF, zatem wyniki uzyskane dla tych dwóch typów sieci nie były w pełni porównywalne.

Przyjmując opisany podział obserwacji na dwie grupy Autorka odnosi go bezpośrednio do typu ketozy, występującej u obserwowanych zwierząt. Przyjmuje, że obserwacje dokonane między 5 a 21 dniem laktacji odnoszą się do ketozy typu II, a pozostałe do ketozy typu I. Takie założenie stanowi w najlepszym przypadku grube przybliżenie rzeczywistości biologicznej. W tej sytuacji słuszniejsze byłoby odnoszenie wyników, uzyskanych dla każdego podzbioru danych wejściowych, do odpowiedniego stadium laktacji, a nie do typu ketozy.

Relacjonując badania wykonane z wykorzystaniem sieci typu RBF Autorka stwierdza, że „Generowanie sieci rozpoczęto od wykorzystania 8 zmiennych wejściowych (...) i jednej zmiennej wyjściowej, czyli BHM we krwi”. Stwierdzenie to sugeruje, że zmienną wyjściową była zawartość BHM we krwi. Tymczasem celem działania sieci miało być diagnozowanie ketozy traktowanej jako cecha dwustanowa (0- krowa zdrowa, 1 – krowa chora). Sposób definiowania tej cechy dwustanowej na podstawie cechy ciągłej, jaką jest zawartość BHM we krwi, Autorka podała wcześniej, w rozdziale „Materiał i metody” (str. 30).

Obszerna relacja z uzyskanych wyników została podsumowana w postaci siedmiu ogólnych spostrzeżeń odnoszących się do rezultatów uzyskanych z wykorzystaniem sieci typu MLP oraz sześciu takich spostrzeżeń odnośnie sieci typu RBF. Takie podsumowanie uzyskanych wyników uważam za bardzo cenne i znacznie ułatwiające lekturę rozprawy.

Rozdział **Omówienie wyników** zawiera dyskusję wyników uzyskanych przez Autorkę. Układ omawianego rozdziału jest analogiczny do zastosowanego w Wynikach. Autorka w osobnym podrozdziale dyskutuje wyniki uzyskane z użyciem sieci typu MLP, a w następnym te uzyskane przy pomocy sieci RBF. Każdy z podrozdziałów zaczyna się od krótkiej rekapitulacji wyników własnych, uzyskanych z użyciem najlepszych spośród testowanych sztucznych sieci neuronowych. Zabieg taki jest rzadko stosowany, ale wydaje się uzasadniony w kontekście wielkiej liczby referowanych wcześniej wyników. Przypomnienie najlepszych spośród wyników uzyskanych przez Autorkę pozwala na ich bezpośredni odniesienie do analogicznych wartości prezentowanych w piśmiennictwie, ułatwiając lekturę tego rozdziału rozprawy.

We wprowadzeniu do omawianego rozdziału Autorka stwierdza, że „w żadnej z wymienionych publikacji nie spotkano się z wykorzystaniem sieci neuronowych do tego celu”, mając na myśli wykrywanie ketozy na podstawie zmian obserwowanych w mleku krów. Jak już wcześniej wspomniałem, takie publikacje istnieją i są dostępne. **Pojawia się pytanie, dlaczego Autorka do nich nie dotarła lub dlaczego ich nie wykorzystała?**

Wyniki własne Autorki dyskutowane są głównie poprzez zestawienie czułości i specyficzności testu, dokonywanego z użyciem najlepszych wytypowanych sztucznych sieci neuronowych, z czułością i specyficznością testów opartych na innych metodach, których wyniki zostały opublikowane przez innych badaczy. Treść dyskusji uzyskanych wyników świadczy o znajomości tematyki oraz o dobrym rozeznaniu w literaturze przedmiotu. **Niestety, Autorka najczęściej nie podaje, jaką metodę statystyczną stosowano w cytowanej publikacji w celu powiązania charakterystyk mleka z występowaniem ketozy.**

Pozwalam sobie wyrazić żal, że dyskutując uzyskane przez siebie, bardzo ciekawe wyniki, Autorka nie pokusiła się o dyskusję niektórych spośród problemów metodycznych, na jakie napotkała w trakcie realizacji badań, oraz nieoczekiwanych rezultatów, jakie uzyskała. Być może dyskusja podczas publicznej obrony tej rozprawy będzie okazją do poruszenia kilku interesujących kwestii, pominiętych w omawianym rozdziale.

Pierwszym problemem, który zasługuje moim zdaniem na szersze przedyskutowanie jest niepowodzenie w zastosowaniu sieci typu RBF do analizy całego zbioru danych wejściowych i

zastosowane rozwiązanie tego problemu, polegające na podziale zbioru danych na dwa podzbiory, w oparciu o fazę laktacji (numer dnia laktacji), z której pochodziła obserwacja. **Interesujące jest zwłaszcza, czy inni badacze natknęli się na podobny problem i czy Autorka podejmowała alternatywne próby przezwyciężenia problemu, na przykład poprzez wprowadzenie numeru dnia laktacji jako zmiennej w danych wejściowych?**

Drugim problemem wartym szerszej dyskusji są nieoczekiwane wyniki testowania sieci typu RBF, w przypadku których współczynniki korelacji między rzeczywistym stanem krowy (zdrowa/chora) a prognozą uzyskaną przy pomocy sztucznej sieci neuronowej były w fazie uczenia niższe niż uzyskiwane w fazie testowania, a te z kolei były niższe niż odpowiednie wskaźniki uzyskane w fazie walidacji. **Taki rezultat jest całkowicie przeciwny do oczekiwanego! Zwykle bowiem algorytm optymalizowany dla danego zespołu danych daje mniej dokładne prognozy, gdy zostaje użyty na innym zbiorze danych.**

Warte szerszej dyskusji jest także stwierdzenie Autorki, że „ważniejsze jest wybranie takiej metody, która zapewni wysoką czułość i nawet niższą specyficzność, niż odwrotnie”. Można argumentować, że dla hodowcy istotne jest przede wszystkim to, aby możliwie dużą frakcję krów wskazanych jako chore na podstawie wyników testu stanowiły zwierzęta rzeczywiście chore. **Innymi słowy, hodowcę interesuje nie tyle sama czułość czy sama specyficzność testu, co jego dodatnia wartość predykcyjna. Jeśli tak, to przy stosunkowo niewysokiej prevalencji schorzenia lepsze wyniki dałoby zastosowanie testu o wysokiej specyficzności, nawet kosztem nieco niższej czułości.**

W rozdziale **Stwierdzenia i wnioski** Autorka formułuje osiem wniosków z przeprowadzonych badań. Są one w absolutnej większości dobrze uzasadnione uzyskanymi wynikami i przeprowadzoną dyskusją. Za szczególnie wartościowe uważam wnioski o numerach od 4 do 8. Wskazują one na optymalny sposób konstruowania sztucznych sieci neuronowych przeznaczonych do diagnozowania ketozy w oparciu o parametry próbek mleka, oraz określają spodziewaną dokładność prognoz, dokonywanych przy pomocy takich sieci.

Ze względów, o których wspominałem wcześniej, proponowałbym jednak, aby stwierdzenia typu „do wykrywania krów zagrożonych ketozą typu II” zastąpić stwierdzeniem „do wykrywania krów zagrożonych ketozą w okresie od 5 do 21 dnia laktacji”. Analogicznie w przypadku stwierdzenia „do wykrywania krów zagrożonych ketozą typu I” właściwsze byłoby sformułowanie „do wykrywania krów zagrożonych ketozą w okresie od 22 do 42 dnia laktacji”.

**Wątpliwości merytoryczne budzi jedynie wniosek nr 2. Stwierdza się w nim, że „Proces uczenia sieci typu MLP trwał dłużej (...)”. Nie jest jasne, jak to stwierdzenie ma się do dalszej części tego wniosku, w której czytamy, że „(...) w przypadku sieci typu RBF proces uczenia był krótszy, ale nie zawsze kończył się powodzeniem (...)”. Jeśli proces uczenia nie zakończył się powodzeniem, to można go uznać za „nieskończenie długi”, podważając w ten sposób zasadność całego wniosku.**

## **Uwagi końcowe**

W podsumowaniu pragnę stwierdzić, że poczynione powyżej uwagi i wątpliwości dotyczące metodyki pracy, opisu i dyskusji uzyskanych wyników, a także jej przygotowania formalnego, nie mają decydującego wpływu na ogólną ocenę rozprawy, którą przedstawiono mi do recenzji. Praca Pani mgr Edyty Bauer stanowi oryginalne rozwiązanie ważnego problemu naukowego. Jest wartościowym opracowaniem, relacjonującym w sposób naukowy przeprowadzone badania, które przyniosły wiele interesujących wyników. Poszerzają one zdecydowanie wiedzę z zakresu wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania występowania ketozy u krów mlecznych. Zwracam również uwagę na potencjalną przydatność praktyczną uzyskanych wyników, a zwłaszcza na perspektywy wykorzystania metody sztucznych sieci neuronowych w celu



dostarczania hodowcom bydła użytecznych informacji, opartych na wynikach oceny wartości użytkowej krów, a zwłaszcza wynikach analizy próbek mleka, pobieranych w ramach wspomnianej oceny.

Wykonane badania, zastosowane metody statystyczne oraz wielka liczba przetestowanych modeli sztucznych sieci neuronowych, świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu Doktorantki, umiejętności organizacji warsztatu badawczego, a także jej pracowitości i zaangażowaniu. Należy mieć nadzieję, że wyniki prezentowane w ocenianej rozprawie zostaną opublikowane w czasopiśmie naukowych, przyczyniając się do wzrostu zainteresowania stosowaniem sztucznych sieci neuronowych w naukach zootechnicznych. Mam nadzieję, że uwzględnienie moich uwag ułatwi przygotowanie prac do druku.

Reasumując, stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Edyty Bauer spełnia warunki określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz.U. z 2017 r., poz. 1789). Tym samym wnioskuję do Wydziału Hodowli i Biologii Zwierząt Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pani mgr Edyty Bauer do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.



.....  
/Krzysztof Słoniewski /