

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Patryka Hara pt. „ **Prognozowanie plonu i zawartości białka w nasionach grochu siewnego (*Pisum sativum L.*) z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych oraz regresji wielorakiej w oparciu o wyniki doświadczeń odmianowych**”.

Recenzja została wykonana na podstawie Uchwały nr 990/ITP.-PIB/2023 Rady Naukowej Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego – PIB w Falentach z dnia 22 listopada 2023 roku. Zlecenie wykonania recenzji podpisane przez Zastępcę Dyrektora ds. Naukowych Pana Prof. dr hab. inż. Wiesława Dembka na podstawie pisma DON-RN.60/3023, Falenty, 18 grudnia 2023 roku.

Praca doktorska była wykonana pod kierunkiem promotora Prof. dr hab. inż. Gniewko Niedbałę oraz promotora pomocniczego dr inż. Magdalenę Piekutowską.

Ocena problematyki badawczej i celu pracy

W prowadzenie nowych technologii produkcji w rolnictwie oraz prognozowanie plonów wybranych roślin uprawnych jest bardzo ważnym zagadnieniem dla naukowców w szczególności dla zainteresowanych rolników i gospodarki jako całości. Możliwość precyzyjnego szacowania wielkości plonów przed ich zbiorem pozwala na optymalizację produkcji rolnej poprzez dokładniejsze planowanie upraw, redukcję kosztów również często na zmniejszenie negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko. Wczesne informacje o wielkości plonów dzięki wykorzystaniu wielu metod z obszaru uczenia maszynowego do prognozowania plonów roślin pozwalają producentom rolnym na przygotowanie się do występujących często możliwych trudności, związanych z suszami, chorobami, czy ekstremalnymi warunkami pogodowymi, jednocześnie w efektywny sposób zarządzać ewentualnym ryzykiem. W ujęciu globalnym również usprawniać procesy decyzyjne odpowiedzialnym pracownikom rządowym i organizacjom międzynarodowym w monitorowaniu i reagowaniu na potencjalne kryzysy żywnościowe. Metody bazujące na uczeniu maszynowym stanowią więc efektywne narzędzie w predykcji plonów roślin uprawnych. Budowa nowych modeli pozwala na uzyskanie bardziej wiarygodnych informacji o wielkości zbiorów, określeniu wpływu wybranych czynników na właściwości fizyko-chemiczne płodów rolnych tym samym w efektywny sposób zarządzać uprawami

oraz w sposób bezpośredni wpływać na bezpieczeństwo żywności. Według wielu autorów jedną z metod, która bazuje na uczeniu maszynowym, są sztuczne sieci neuronowe. W naukach biologicznych i agronomicznych ze względu na wysoką jakość predykcji w porównaniu z innymi nieliniowymi modelami empirycznymi istnieje możliwość przewidywania nieliniowych i złożonych zależności oraz pokazania ukrytych powiązań pomiędzy zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi. W szczególności w rolnictwie zaletą sztucznych sieci neuronowych jest fakt, że po wprowadzeniu na jej wejściu bardzo licznych nieuporządkowanych danych po nauczaniu sieci na jej wyjściu uzyskujemy użyteczny wynik, zrozumiały i wygodny do interpretacji. Podjęta tematyka badań ściśle związana jest z wykorzystaniem modeli sztucznych sieci neuronowych do prognozowania plonu grochu pod względem ilościowym i jakościowym.

Dlatego też podjęte przez mgr inż. Patryka Harę, w niniejszej rozprawie doktorskiej próby budowy modeli liniowych i nieliniowych prognozujących plon i zawartość białka w nasionach grochu oraz określenie cech, które w największym stopniu wpływają na prognozowane zmienne są bardzo aktualne i uzasadnione z punktu naukowego i utylitarnego.

Ogólna charakterystyka pracy doktorskiej

Przedłożona do oceny praca doktorska została przygotowana w formie powiązanych tematycznie 3 oryginalnych artykułów naukowych (z bazy JCR) poświęconych tematyce budowy modeli sieci neuronowych prognozujących plon nasion grochu siewnego oraz zawartości białka oraz wskazanie za pomocą analizy wrażliwości sieci neuronowej zmiennych niezależnych, które w największym stopniu wpływają na ilość i jakość plonu.

1. Hara, P.; Piekutowska, M.; Niedbała, G. Selection of Independent Variables for Crop Yield Prediction Using Artificial Neural Network Models with Remote Sensing Data. *Land* 2021, 10, 609, doi:10.3390/land10060609.
2. Hara, P.; Piekutowska, M.; Niedbała, G. Prediction of Protein Content in Pea (*Pisum sativum* L.) Seeds Using Artificial Neural Networks. *Agriculture* 2022, 13, 29, doi:10.3390/agriculture13010029.
3. Hara, P.; Piekutowska, M.; Niedbała, G. Prediction of Pea (*Pisum sativum* L.) Seeds Yield Using Artificial Neural Networks. *Agriculture* 2023, 13, 661, doi:10.3390/agriculture13030661

Publikacje składające się na osiągnięcie naukowe Pana mgr inż. Patryka Hary ukazały się w latach 2021-2023. Są to prace wieloautorskie, przy czym liczba autorów jest umiarkowana a Doktorant jest pierwszym autorem z dominującym udziałem. Jego udział w powstawaniu wymienionych publikacji dotyczył opracowania koncepcji oraz metodyki badań, weryfikacji danych oraz przy analizie uzyskanych wyników i opracowaniu manuskryptu. W pierwszym artykule pełni rolę autora korespondencyjnego.

Łączna liczba punktów dokumentujących osiągnięcie naukowe wynosi 350 pkt.(według MNiSW). Sumaryczny IF dla ww. publikacji na dzień 04.01.2024 wynosi IF=11.1.

Osiągnięcie naukowe liczące 112 stron składa się z streszczenia rozprawy doktorskiej w języku polskim i angielskim, wykazu symboli i akronimów oraz 11 rozdziałów oraz 3 załączników (publikacje ujęte w rozprawie doktorskiej).

1. Wprowadzenie; **2.** Przegląd aktualnego stanu wiedzy; **3.** Spis publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej; **4.** Cel pracy, problem naukowy i hipotezy badawcze; **5.** Wybór zmiennych niezależnych do prognozowania wielkości plonu przy pomocy sztucznych sieci neuronowych – publikacja 1; **6.** Predykcja zawartości białka w nasionach grochu siewnego (*Pisum sativum L.*) przy użyciu modelu ANN – publikacja 2; **7.** Analiza porównawcza skuteczności sztucznych sieci neuronowych i wielorakiej regresji liniowej w przewidywaniu plonu nasion grochu siewnego (*Pisum sativum L.*) – publikacja 3; **8.** Omówienie i dyskusja wyników; **9.** Podsumowanie i wnioski; **10.** Bibliografia; **11.** Aneks. Kopie publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej; Załączniki.

Tytuł rozprawy został sformułowany poprawnie i we właściwy sposób oddaje treści zawarte w wykazie powiązanych artykułów ujętych w rozprawie doktorskiej.

Wyodrębnienie rozdziałów i podrozdziałów tematycznych, zwiększa przejrzystość prezentowanej tematyki i ułatwia jej studiowanie. Najbardziej obszernymi są rozdziały 5, 6 i 7 z podrozdziałami (skrótowy opis problematyki artykułów ujętych w rozprawie doktorskiej) zawierające informacje dotyczące: materiału badawczego, metodyki, uzyskanych wyników badań i dyskusja (13 stron), bibliografia (9 stron) oraz rozdział omówienie i dyskusja wyników (7 stron). Wykaz bibliograficzny rozprawy w spisie obejmuje 89 pozycji w tym 77 pozycji obcojęzycznych, co stanowi ponad 86% wszystkich publikacji. Ponad 90% cytowanych przez Autora pozycji została wydana w ostatnich 10 latach, natomiast w ostatnich 5 latach ponad 71% .

Merytoryczna ocena pracy

Podjęty temat będący treścią pracy doktorskiej Doktorant nakreśla już we wstępie i przeglądzie literatury akcentując w bardzo syntetyczny i logiczny sposób kontekst podjęcia badań dotyczących możliwości precyzyjnego szacowania wielkości plonów roślin uprawnych przed ich zbiorem przy wykorzystaniu wielu metod z obszaru uczenia maszynowego. Odpowiednie wyselekcjonowanie zmiennych niezależnych jest jednym z kluczowych etapów w pracy z ML (uczenie maszynowe). Według Doktoranta istotna jest bardzo dobra znajomość obiektu badań a zmienne mają ściśle dotyczyć problemu, który jest rozwiązywany. Podkreśla, że jedną z metod, która bazuje na uczeniu maszynowym są sztuczne sieci neuronowe ze względu na wysoką jakość predykcji i prostotę w porównaniu z innymi nieliniowymi modelami empirycznymi. W podrozdziale 2.2 powołując się na autora Doktorant popełnił drobny błąd stwierdzając, że „Za pomocą modeli sztucznych sieci neuronowych istnieje możliwość przewidywania nieliniowych i złożonych zależności oraz pokazania ukrytych powiązań pomiędzy zmiennymi wejściowymi”. Myślę, że doktorantowi chodziło o powiązania pomiędzy zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi. Opisuje budowę sztucznych sieci neuronowych w tym rolę jaką pełnią poszczególne warstwy w całym procesie modelowania. Odnosi się do artykułów, które koncentrują się na wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych, jako narzędzia do modelowania wielkości plonów kukurydzy, ryżu, rzepaku, pszenicy, ziemniaków. W sposób bardzo wnikliwy przedstawia aktualny stan wiedzy na temat znaczenia i uprawy grochu siewnego w Polsce. Podkreślając, że produkcja grochu siewnego może być istotnym elementem zrównoważonego rolnictwa. Uprawa tej rośliny przynosi wiele korzyści zarówno dla środowiska naturalnego, jak i producentów rolnych. Zwraca uwagę na groch siewny jako wartościowe źródło białka roślinnego, więc produkcja nasion i ich użytkowanie przyczynia się do zrównoważonej produkcji żywności. Spożycie białka roślinnego jest korzystne dla zdrowia ludzi. Białko grochu ma zastosowanie również jako substytut białka zwierzęcego. Wskazując również na to że, brakuje doniesień poświęconych prognozowaniu wielkości zbiorów grochu pod względem ilościowym i jakościowym. W nawiązaniu do przytoczonego przeglądu literatury i 3 przedstawionych publikacji, celem głównym pracy była budowa modeli prognozujących plon nasion grochu siewnego oraz zawartego w nich białka na 20 dni przed zbiorem, na podstawie danych pozyskanych z empirycznych badań odmianowych, prowadzonych przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych przez 5 lat. Analiza właściwości predykcyjnych modeli sieci neuronowych oraz porównanie z wynikami analiz bazujących na modelach liniowych. Celem pomocniczym było wskazanie za pomocą analizy

wrażliwości sieci neuronowej zmiennych niezależnych, które w największym stopniu wpływają na ilość i jakość plonu nasion grochu.

Rozdział 4 kończy się zdefiniowaniem problemów badawczych, w postaci pytań i hipotez:

1. Czy możliwe jest zbudowanie modeli prognozujących plon i zawartości białka w nasionach grochu na 20 dni przed zbiorem za pomocą sztucznych sieci neuronowych?
2. Czy za pomocą modeli neuronowych zostanie uzyskana większa dokładność predykcji plonu i zawartości białka w nasionach grochu odmian ogólnoużytkowych w stosunku do modelu wielorakiej regresji liniowej?
3. Czy analiza wrażliwości sieci neuronowej umożliwia wykonanie wartościowania czynników wpływających na plon grochu i zawartość białka w nasionach?

Na podstawie wnikliwej analizy stanu wiedzy i przeprowadzonych rozważań, sformułowane zostały trzy główne hipotezy badawcze:

- H1. Modele bazujące na sztucznych sieciach neuronowych cechują się większą dokładnością prognozy w odniesieniu do modeli zbudowanych przy użyciu wielorakiej regresji liniowej.
- H2. Pięcioletnie badania polowe w warunkach doświadczeń odmianowych pozwalają na budowę modeli prognozujących plon nasion grochu i zawartość w nich białka z błędem MAPE (błąd średni bezwzględny procentowy) nieprzekraczającym 10%.
- H3. Analiza wrażliwości sieci neuronowej jest właściwym narzędziem do wartościowania czynników plonotwórczych (ilościowych i jakościowych).

W ramach osiągnięcia zakładanego celu Kandydat zrealizował zadania badawcze przedstawione w trzech 3 artykułach ujętych w rozprawie doktorskiej. Odnoszą się one kolejno do:

1. Wybór zmiennych niezależnych do prognozowania wielkości plonu przy pomocy sztucznych sieci neuronowych – publikacja 1.
2. Predykcja zawartości białka w nasionach grochu siewnego (*Pisum sativum L.*) przy użyciu modelu ANN (sztuczna sieć neuronowa) – publikacja 2.
3. Analiza porównawcza skuteczności sztucznych sieci neuronowych i wielorakiej regresji liniowej w przewidywaniu plonu nasion grochu siewnego (*Pisum sativum L.*) – publikacja 3.

Realizując pierwszy z celów o charakterze przeglądowym (**publikacja 1**) dotyczy badań doboru zmiennych niezależnych w prognozowaniu plonu roślin za pomocą sztucznych sieci neuronowych. Doktorant wraz z współautorami dokonał bardzo szerokiego przeglądu literaturowego (175 pozycji bibliograficznych) przedstawiając budowę sztucznych sieci neuronowych oraz sposób ich działania. Zilustrowali wyniki prac badawczych innych autorów, którzy wykorzystywali modele ANN (sztuczna sieć neuronowa) do predykcji plonu. Przeanalizowane zostały także najczęściej stosowane mierniki jakości modeli oraz dokonano interpretacji błędu MAPE (błąd średni bezwzględny procentowy), który jest najczęściej używanym wskaźnikiem pozwalającym określić dokładność zbudowanego modelu. W publikacji szczegółowo omówiono wpływ wybranych warunków pogodowych i środowiskowych panujących w okresie wegetacji roślin na wielkość uzyskiwanych plonów między innymi: woda oraz jej dostępność w glebie, wymagania temperaturowe, pH gleby i jej zasobność w składniki pokarmowe. W publikacji odniesiono się również do możliwości wykorzystania wskaźników związanych z produktywnością roślin, jako zmiennych wejściowych w modelowaniu wielkości plonu roślin (LAI, LAR, PAR, FPAR, zawartość chlorofilu). Uwzględnienie tych danych, jako zmiennych niezależnych również według prac innych badaczy pozwolić może na budowę modelu predykcyjnego, który cechować się będzie niskim poziomem błędu. Wiele uwagi poświęcono trendom w tworzeniu modeli predykcyjnych. Uwzględniono w nim publikacje naukowe, które skupiają się na budowie modeli prognozujących plon roślin na podstawie danych pochodzących z obrazowania satelitarnego i danych pogodowych. Tego typu hybrydowe podejście do doboru zmiennych wejściowych przyczynić się może do poprawy właściwości prognozujących modelu, co wynika z zacytowanych publikacji. W rozdziale tym autorzy zasugerowali, że dalsze badania nad wykorzystaniem różnego rodzaju zmiennych środowiskowych ukierunkowane powinny być na poszukiwaniu nowych, bardziej miarodajnych parametrów opisujących stan łąny. W tym miejscu mam pytanie jakie mogą być inne wskaźniki wegetacyjne opisujące kondycję stanu roślin? W podsumowaniu podkreślono również, że wskazanie najważniejszych predyktorów wpływających na dokładność prognozy jest jednym z najtrudniejszych etapów w modelowaniu wielkości plonu roślin uprawnych.

Interesującym etapem badań Doktoranta (**publikacja nr 2**) było przedstawienie wyników właściwości predykcyjnych dwóch modeli ANN (sztuczna sieć neuronowa) i MLR (wieloraka regresja liniowa) oraz omówienie czynników które w największym stopniu wpływają na zawartość białka w nasionach grochu.

Bazę danych do budowy modelu neuronowego i regresyjnego stworzono na podstawie ksiązek polowych pochodzących z 5-cio letnich doświadczeń polowych (WGO i PDO) z grochem siewnym. Poletka doświadczalne prowadzone były przez Centralny Ośrodek Badań Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) w latach 2016-2020 i znajdowały się w siedmiu miejscowościach: Bezek, Głębokie, Kawęczyn, Krzyżewo, Pawłowice, Radostowo i Sulejów. Badania przeprowadzono na 11 odmianach ogólnoużytkowych grochu: Arwena, Astronaute, Batuta, Mecenas, Medyk, Mentor, Olimp, Spot, Starski, Tarchalska oraz Tytus.

Do budowy modelu N1 (model neuronowy prognozujący zawartość białka) i modelu RS (model regresyjny prognozujący zawartość białka) wykorzystano 19 zmiennych niezależnych. Dane te pochodziły łącznie z 1155 poletek. Każde z analizowanych poletek stanowiło jeden, odrębny przypadek do budowy modeli. Procentowa zawartość białka w nasionach grochu była zmienną wyjściową dla zbudowanych modeli predykcyjnych.

Na podstawie Szczegółowej analizy bazy danych w pracy przedstawiono metodologię budowy modelu N1 i RS. Po określeniu za pomocą mierników błędu prognozy (ex post) przez model N1 i RS oraz przeprowadzonej analizie wrażliwości sieci neuronowej na zmienną zależną. Autorzy stwierdzili, że model N1 cechował się mniejszymi wartościami błędów i przewyższał model liniowy RS. Model ANN odznaczał się wielkością tego wskaźnika na poziomie 0,544, a model MLR (wieloraka regresja liniowa) uzyskał błąd RMS równy 0,819. Analiza wrażliwości sieci neuronowej wykazała, że zawartość magnezu w glebie wpływała na akumulację białka w nasionach grochu. W odniesieniu do tej części pracy mam pytanie czym się kierowano przy wyborze odmian grochu i czy uprawiane były jednocześnie w siedmiu lokalizacjach?

W ramach kontynuacji wcześniejszych badań w **publikacji 3** przedstawiono wyniki jakości predykcji dwóch modeli: sztucznej sieci neuronowej N2 i wielorakiej regresji liniowej RS2 dotyczących oszacowania wielkości plonu nasion grochu odmian ogólnoużytkowych na 20 dni przed zbiorem. Na podstawie wykonanej analizy porównawczej wartości otrzymanych przez te modele z wartościami rzeczywistymi stwierdzono, że zbudowany model sztucznej sieci neuronowej w większym stopniu przewidywał zmienną zależną w stosunku do modelu regresyjnego. Obliczone wartości współczynnika determinacji dla modelu N2 (model neuronowy prognozujący plon nasion grochu) i RS2 (model regresyjny prognozujący plon nasion grochu) wynosiły odpowiednio: 0,8254 i 0,5819. Według autorów również wyniki analizy wielkości błędów dla modelu N2 w porównaniu do modelu RS2 były znacznie niższe. Błąd średniokwadratowy RMS dla

modelu N2 wynosił $0,443 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ dla modelu RS2 wielkość tego wskaźnika był na poziomie $6,401 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z analizy wrażliwości sieci neuronowej stwierdzili, że na plon nasion w największym stopniu wpływała data początku dojrzałości roślin grochu.

Rozdział 8. Omówienie i dyskusja wyników. Zgodnie z założoną koncepcją, przyjętymi hipotezami oraz zadaniami badawczymi pracy przedstawione zostały skompensowane wyniki badań i dyskusja. Są odzwierciedleniem uzyskanych najważniejszych wyników badań zawartych w przedłożonej do oceny pracy doktorskiej w formie powiązanych tematycznie 3 oryginalnych artykułów naukowych poświęconych tematyce modeli predykcyjnych RS, N1, RS2 i N2 zbudowanych na podstawie 19-stu zmiennych niezależnych, w przypadku wartościowania ich wpływu na zawartość białka oraz wielkość plonu nasion grochu siewnego. Na podkreślenie zasługuje bardzo dobrze przeprowadzona dyskusja odwołująca się do pozycji literatury w większości anglojęzycznych i w uzasadniony sposób Autor ocenia wykorzystane zmienne niezależne do budowy modeli między innymi datę siewu, przebieg pogody w całym okresie wegetacji rośliny, lokalizację uprawy, klasę bonitacyjną gleby oraz odpowiedź genotypu grochu siewnego na te warunki. W prawidłowy sposób w rozprawie doktorskiej dokonuje także porównania dokładności prognoz modeli liniowych (MLR) i nieliniowych (ANN). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdził, że model ANN prognozujący zawartość białka (model N1) i plon nasion grochu (model N2) odznaczały się większą dokładnością prognozy w stosunku do modelu RS i RS2 (modele wielorakiej regresji liniowej). W przypadku wartościowania czynników wpływających na plon białka analiza wrażliwości sieci neuronowej modelu N2 wykazała, że czynnikami najistotniejszymi były kolejno: liczba dni od 1 stycznia do początku dojrzałości (INI_MA), liczba dni od 1 stycznia do daty zbioru (HAR), suma opadów od siewu do 14 lipca (RAIN) oraz średnia temperatura powietrza od siewu do 14 lipca (TEMP). W podsumowaniu stwierdził, że stosowanie ANN w rolnictwie wymaga odpowiedniego gromadzenia danych dobrej jakości. W niektórych przypadkach MLR może być wystarczający, jeśli dane są prostsze, a zależności są liniowe. Ostateczny wybór między modelem ANN a MLR zależy od specyfiki problemu i dostępnych zasobów obliczeniowych i czasu.

W rozdziale 9. Podsumowanie i wnioski Doktorant w sposób wyważony i precyzyjny sformułował 7 wniosków, które poprawnie i trafnie uogólniają główne osiągnięcia przedstawione w rozprawie doktorskiej dając odpowiedź na postawione w pracy hipotezy i cele badawcze. Mają one charakter zarówno poznawczy jak i praktyczny.

Rozdział 10. **Bibliografia** Wykaz bibliograficzny rozprawy obejmuje 89 pozycji naukowych i wykonany został zgodnie z wymogami edytorskimi, szkoda jedynie, że nie uszeregowany w sposób alfabetyczny.

Ocena formalna pracy

Praca przygotowana jest starannie mimo to Autor nie ustrzegł się licznych błędów edycyjnych jednak nie umniejszają one wartości merytorycznej pracy. Przykłady błędów zamieszczone są poniżej.

- str.3, spis treści- rozdział 6 w tytule jest... w nasion – powinno być... w nasionach,
- str.5, N1 – jest...zawartość skrobi – powinno być ... zawartość białka,
RS - jest..... zawartość biała – powinno być ... zawartość białka,
- str.9, wers 15- jest .. na poziomi 14,53% - powinno być ... na poziomie 14,53%,
wers 25 – jest ... bezpośredni wpływa - bezpośredni wpływać,
- wers 27 – jest ...do modele - do modeli,
- str. 14, wers 7 – jest.... znaczącej liczba - znaczącej liczby,
- str. 21, w tytule publikacji – jest... w nasion – powinno być... w nasionach,
wers 4 – jest ... opublikowany została - powinno być ...opublikowany został,
- str. 22, wers 16 – jestzboru B - powinno być... zbioru B,
- str.24, wers 25 - jest ...,że zawartość gleby w magnez – powinno być... że zawartość magnezu w glebie,
- str.26, wers 7 – jest ciekawe i mało znany- lepiej brzmi ...interesujący i mało znany,
- str. 27, przedostatni wers – jest ... które zaprezentowane w tabeli 3 publikacji 3....inaczej zapisane.... które zaprezentowane zostały w tabeli 3 (publikacja 3),
- str.29, wers 14 - jest które uzyskany rangę 2, 3 i 4 – powinno być ... które uzyskały rangę 2, 3 i 4,
- str. 33, wers 16 – jest badaczy wykorzystali dane – powinno być...badacze wykorzystali dane.

W mojej ocenie praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia badań przez mgr inż. Patryka Harę. Jednocześnie chciałabym podkreślić, że uwagi przedstawione w recenzji mają w większości charakter redakcyjny lub dyskusyjny i nie mają one wpływu na pozytywną ocenę merytoryczną pracy.

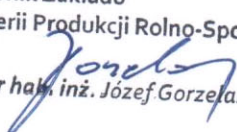
Wniosek końcowy

Praca doktorska mgr inż. Patryka Hary rozwiązuje problem naukowy przedstawiony za pomocą celów szczegółowych i hipotez badawczych oraz przedstawia oryginalne rozwiązanie w zakresie analiz wyników własnych badań naukowych w sferze produkcji rolniczej z wykorzystaniem modeli predykcyjnych: sztucznej sieci neuronowej i wielorakiej regresji liniowej w przypadku wartościowania zmiennych niezależnych ich wpływu na wielkości plonu nasion grochu siewnego oraz plon białka.

W oparciu o dobrze przeanalizowaną literaturę, odpowiedni dobór metod badawczych jak i organizację badań, ich przeprowadzenie a także interpretację wyników stanowi oryginalne rozwiązanie jasno sprecyzowanego problemu naukowego. Charakteryzuje się aktualnością tematu, oparta jest na najnowszej wiedzy a wyniki mogą mieć duże znaczenie praktyczne w tematyce możliwości budowy i zastosowania modeli liniowych i nieliniowych do prognozowania zmiennych zależnych w produkcji roślinnej oraz określenia cech, które w największym stopniu wpływają na prognozowane zmienne.

Podjęte badania uważam za bardzo wartościowe i uzupełniają wiedzę naukową w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Mając na uwadze bardzo szeroki zakres wykonanych badań, rozbudowane nowatorskie obliczenia przy wykorzystaniu sztucznej sieci neuronowej w przedłożonej do oceny rozprawie wnioskuję o jej wyróżnienie.

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Patryka Hary pt. "Prognozowanie plonu i zawartości białka w nasionach grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych oraz regresji wielorakiej w oparciu o wyniki doświadczeń odmianowych" spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 roku poz. 742 ze zm.) i przedkładam wniosek do Rady Naukowej Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego - PIB w Falentach o dopuszczenie mgr. inż. Patryka Hary do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Uniwersytet Rzeszowski
Kierownik Zakładu
Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej

prof. dr hab. inż. Józef Gorzelany