

Zagadnienia Doradztwa Rolniczego

1'24⁽¹¹⁵⁾



CENTRUM DORADZTWA
ROLNICZEGO W BRWINOWIE



STOWARZYSZENIE EKONOMISTÓW
ROLNICTWA I AGROBIZNESU



Zagadnienia Doradztwa Rolniczego

KWARTALNIK

1'24⁽¹¹⁵⁾

CENTRUM DORADZTWA ROLNICZEGO W BRWINOWIE
STOWARZYSZENIE EKONOMISTÓW ROLNICTWA I AGROBIZNESU



Przesłano: 16-11-2023

Zaakceptowano do druku: 25-03-2024



SYSTEM OCENY ZDROWOTNOŚCI ZBÓŻ DLA GOSPODARSTW ROLNYCH

Wiesław Golka¹, Magdalena Szechyńska-Hebda², Adrian Golka³, Tomasz Góral⁴, Aleksander Bomberski⁵, Jolanta Kowalska⁶

Abstrakt: Sztuczne sieci neuronowe (SSN) mogą znaleźć zastosowanie w identyfikacji i ocenie zagrożeń na plantacjach czynnikami abiotycznymi i biotycznymi. Celem badań było opracowanie intuicyjnego i dostępnego dla rolnika systemu do wykrywania i identyfikacji chorób roślin zbożowych, opartego na działaniu SSN. Podstawą systemu są: 1/ biblioteka wzorców chorób roślin zbożowych; 2/ oprogramowanie dla modułu publicznego i eksperckiego służące do oceny zdrowotności roślin; 3/ aplikacja typu 'helpdesk' dla kontaktu rolników z doradcami i ekspertami. Docelowym rezultatem działania systemu jest uruchomienie Centrum Informacyjnego Zdrowia Roślin. Niniejsze opracowanie zawiera opis systemu i działania jego elementów składowych.

Słowa kluczowe: sztuczna sieć neuronowa, aplikacja, choroby zbóż, diagnozy

JEL: Q16

CEREAL HEALTH ASSESSMENT SYSTEM FOR FARMS

Wiesław Golka¹, Magdalena Szechyńska-Hebda², Adrian Golka³, Tomasz Góral⁴, Aleksander Bomberski⁵, Jolanta Kowalska⁶

¹ Actuario sp. z o.o. w Warszawie (Actuario sp. z o.o. in Warsaw) | wkład pracy (work input): 20% | ORCID: 0009-0007-6583-7054 | e-mail: golkaw@o2.pl

² Instytut Botaniki PAN w Krakowie (Institute of Botany Polish Academy of Sciences in Cracow) | wkład pracy (work input): 20% | ORCID: 0000-0002-6041-6521 | e-mail: szechynska@wp.pl

³ Actuario sp. z o.o. w Warszawie (Actuario sp. z o.o. in Warsaw) | wkład pracy (work input): 20%

⁴ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB (Plant Breeding and Acclimatization Institute (IHAR) - National Research Institute) | wkład pracy (work input): 20% | ORCID: 0000-0001-9130-6109

⁵ Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Wyższa Szkoła Gospodarki w Bydgoszczy (Agricultural Advisory Center in Brwinów, WSG University of Economy) | ORCID: 0000-0001-7757-924X | wkład pracy (work input): 10% | e-mail: a.bomberski@cdr.gov.pl

⁶ Instytut Ochrony Roślin – PIB (Institute of Plant Protection – National Research Institute) | ORCID: 0000-0002-0588-7355 | wkład pracy (work input): 10%

Abstract: Artificial neural networks (ANN) are becoming more and more common tools in identifying and assessing plantations in order to abiotic and biotic threat factors. The aim of the research was to develop an intuitive system based on ANN for detecting and identifying crop diseases, that can be commonly available to each farmer. The basis of the system are: 1/ a database with patterns of cereal plant diseases; 2/ software for the public and expert application, used to assess plant health; 3/ 'helpdesk' application for direct contact between farmers, advisors, and experts. The target result of the system is the launch of the Plant Health Information Center. This work contains a description of the system and the operation of its components.

Keywords: artificial neural network, application, cereal diseases, diagnoses

JEL Classification: Q16

1. Wprowadzenie

Obecnie jesteśmy świadkami postępu na świecie w zakresie transferu informacji oraz zdecydowanego przyspieszenia prac nad zastosowaniem w praktyce sztucznych sieci neuronowych (SSN). Początek ewolucji sztucznej inteligencji można datować na lata 50-te ubiegłego stulecia, a jej postęp obejmuje etapy rozwoju (Janiak, 2022):

- Sieci neuronowych (1950-1980);
- Uczenia maszynowego (1980-2010);
- Uczenia głębokiego, systemów kognitywnych (obecnie).

Liczba badań i rozwiązań dotyczących sztucznej inteligencji rośnie w postępie logarytmicznym. Baza Scopus wskazuje na opublikowane 524443 artykułów do listopada 2023 r. dla wyszukanych słów kluczowych: „artificial AND intelligence” w zakresie ich występowania w tytule pracy, słowach kluczowych lub abstrakcie (rysunek 1A). Oryginalne artykuły i doniesienia konferencyjne stanowią ok. 88% (rysunek 1B). Praktycznie, swoim zakresem wykorzystanie sztucznej inteligencji obejmuje już wszystkie obszary naszego życia, co odzwierciedlają również badania prowadzone w dziedzinach: nauk komputerowych (36,7%), inżynieria (~16,5%), matematyka (14%), medycyna (5,5%), socjologia, fizyka i astronomia, zarządzanie (po ok. 3%), inżynieria materiałowa, biotechnologia, biznes (po ok. 2%) i inne (11,8%) (rysunek 1C). Niekwestionowanym liderem i potęgą w badaniach naukowych przeliczonych na liczbę publikowanych prac są Stany Zjednoczone oraz Chiny (rysunek 1D).

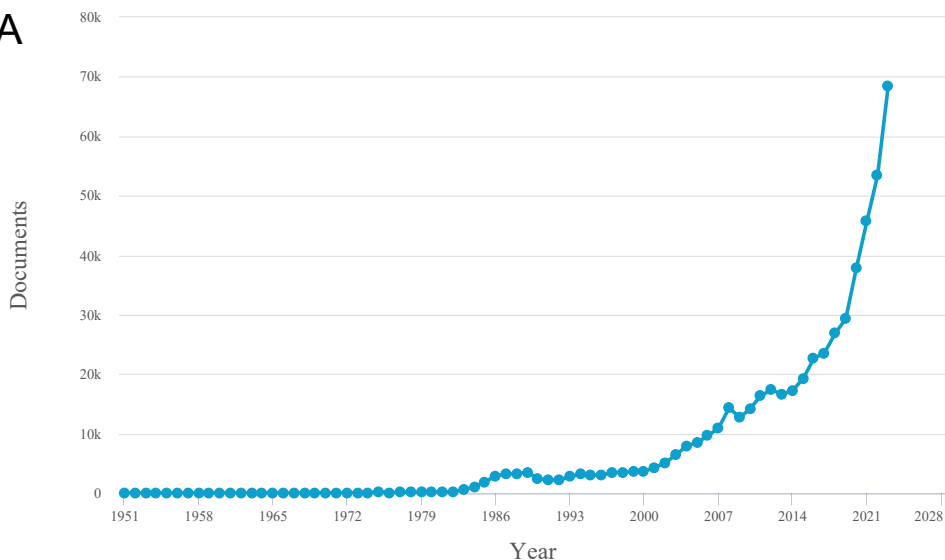
Rysunek 1

Dane Bazy Scopus na dzień 12.11.2023 r. dla słów kluczowych
„artificial and intelligence”

Documents by year

Scopus

A

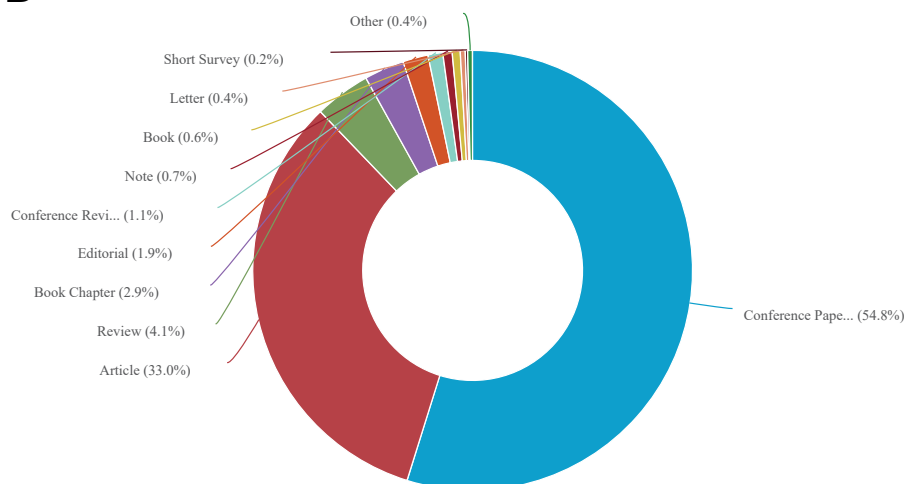


A – liczba dokumentów w kolejnych latach w przedziale 1950-2023

Documents by type

Scopus

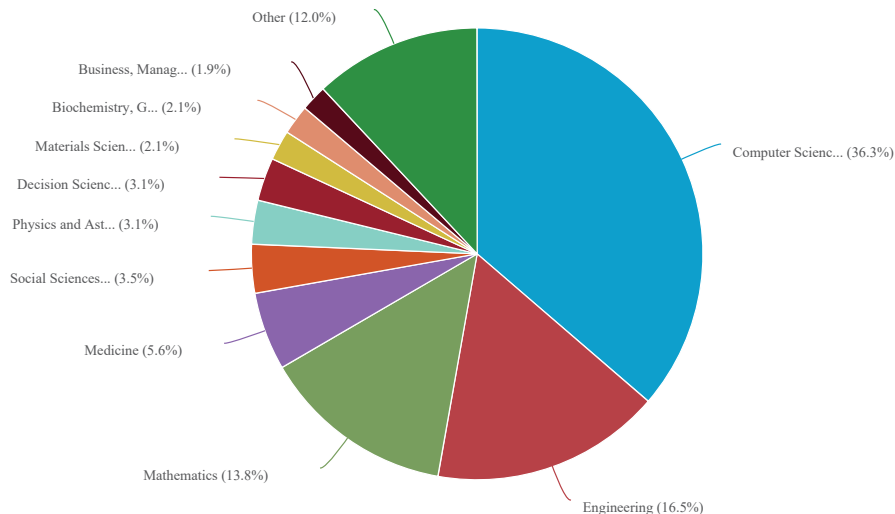
B



B – typy dokumentów

Documents by subject area

Scopus



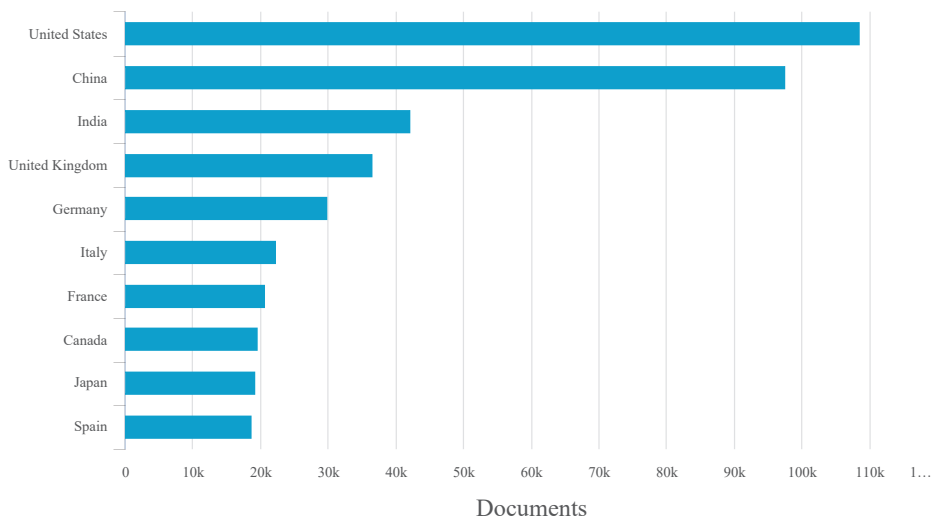
Copyright © 2024 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

C – dziedziny badań

Documents by country or territory

Scopus

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Copyright © 2024 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

D – kraje afiliowanych dokumentów

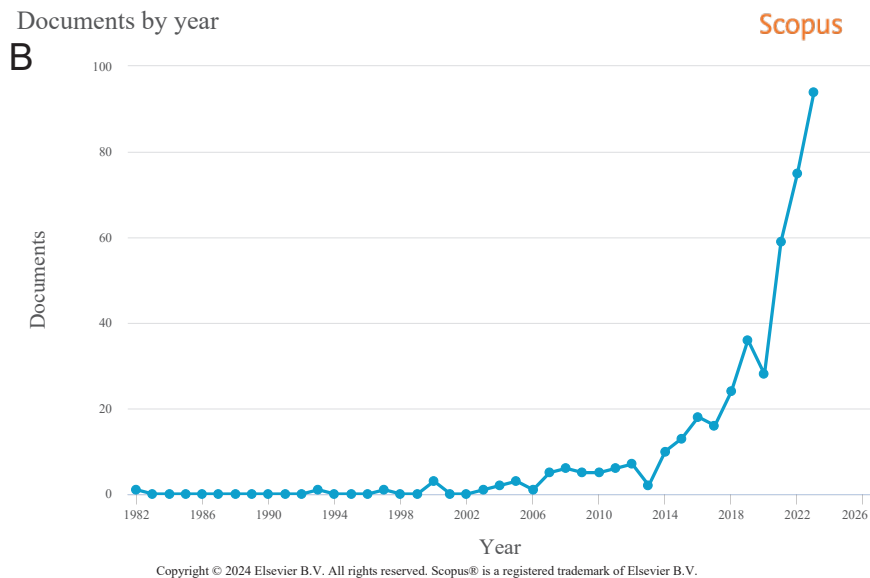
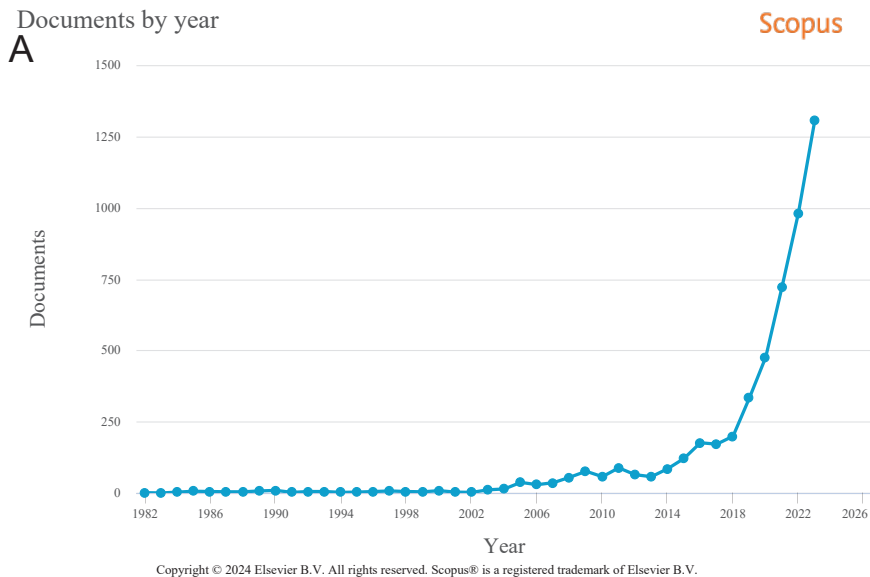
Znaczna liczba artykułów naukowych dotyczy obszaru obrazującego terazniejszy postęp technologiczny i przyszłość sztucznej inteligencji (prace przeglądowe, rozdziały książek i książki, listy i opracowania edytorskie, rysunek 1B). Porusza się w nich m.in. tematykę dotyczącą planowania i współodpowiedzialności etycznej w projektowaniu nowych technologii (Zgrzebnicki, 2018; Pasierbek, 2020; Kłochowicz, 2018). Dominujący udział w pracach nad zastosowaniem sztucznej inteligencji w praktyce mają firmy z branży produkcyjnej i logistycznej, które w obliczu panującej niepewności i nieprzewidywalności rynkowej, chcą zwiększyć dywersyfikację działalności w swoich przedsiębiorstwach. Szczególnym powodzeniem cieszą się koncepcje, które wywodzą się od praktyków przemysłowych, a które są obecnie szeroko dyskutowane przez ekonomiczną społeczność naukową, np. Przemysł 4.0 i jego formę uogólnioną – Gospodarkę 4.0, roboty przemysłowe i inteligentne fabryki (Versabox, 2023, Piątek, 2022, Cellary, 2019; Trzop, 2020).

Duża liczba prac badawczo-naukowych z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazów oraz sztucznych sieci neuronowych, realizowana jest w obszarze inżynierii rolniczej. Znajduje to odbicie w literaturze, a także w coraz bardziej nowoczesnych wyrobach i technologiach dla rolnictwa. W bazie Scopus dodatkowe słowo kluczowe „agriculture” (w filtrowaniu wg słów „artificial AND intelligence”) w wyszukiwaniu w tytule pracy, słowach kluczowych lub abstrakcie pozwala na otrzymanie zwrotnej informacji w liczbie 4831 opublikowanych dokumentów (rysunek 2A). Znacznie mniejszą liczbę artykułów otrzymuje się jako wskazanie w bazie po uwzględnieniu kolejnego słowa kluczowego „remote sensing”, co wskazuje na niewielkie jeszcze możliwości technologiczne metod sprzężonych tj. sztucznej inteligencji w działaniach teledetekcji bliskiej i średniej dla rolnictwa. Jednak Dejan Jakovljevic, dyrektor ds. informacji FAO, dyrektor ds. Zakład Cyfryzacji i Informatyki (CSI) wskazuje: „Ponieważ pilnie potrzebujemy nowych rozwiązań, pojawiły się obecnie przełomowe technologie cyfrowe, takie jak sztuczna inteligencja (AI), jako potężne narzędzie, które może zrewolucjonizować sektor rolniczy poprzez zwiększenie wydajności, precyzji i zrównoważonego rozwoju” (World Food Forum, 19/10/2023).

Rolnicy zmagają się obecnie z rosnącą liczbą niekorzystnych czynników wynikających ze zmian klimatycznych, w tym ekstremami pogodowymi (opady, temperatury, jałowienie gleb), niedostosowaniem odmian roślin uprawnych oraz systemów związanych z nawadnianiem do szybkich zmian klimatycznych. Ponieważ efektem są często zmniejszone plony i mniejsze bezpieczeństwo żywnościowe, w szczególności drobni rolnicy potrzebują rozwiązań odpornych na zmianę klimatu, aby zabezpieczyć i zwiększyć swoje źródła utrzymania.

Rysunek 2

Dane Bazy Scopus na dzień 12.11.2023 r. dla słów kluczowych: A – „artificial and intelligence” as well as „agriculture” oraz B – „artificial and intelligence” and „agriculture” and „remote sensing”



Liczba dokumentów opublikowanych do roku 2023.

Mając odpowiedni dostęp do narzędzi technologicznych i informatycznych, rolnicy mogą tworzyć bardziej wydajne i odporne rolnictwo, zrewolucjonizować praktyki rolnicze w wyrafinowane systemy oparte na danych. Nowoczesne rolnictwo musi uwzględniać te ważne innowacje, aby stawić czoła wyzwaniom takim jak zmiana klimatu i kurczące się zasoby naturalne. Sztuczna inteligencja może stać się zatem narzędziem transformacji systemu rolno-spożywczego i rozwoju obszarów wiejskich.

SSN, wielkie zbiory danych, coraz szybszy Internet (w tym piąta generacja sieci komórkowej), stwarzają w szerokim zakresie, możliwości olbrzymiego postępu biologicznego i technicznego w produkcji rolniczej. W licznych zespołach badawczych prowadzone są szeroko zakrojone badania i prace rozwojowe z wykorzystaniem SSN na rzecz rolnictwa. Badania te dotyczą m.in. takich zagadnień jak siła robocza, praca niematerialna, dochody, dobrobyt i elastyczność (Figiel, 2022; Kaplan, 2016; Moore, 2018). Jednak najnowsze badania przede wszystkim dotyczą poszukiwania możliwości zastosowań w rolnictwie i technologii produkcji rolnej teledetekcji wspomaganej sztuczną inteligencją. Badaniami objęte są wszystkie obszary produkcji rolnej w kontekście zmieniających się warunków środowiska i ekstremów pogodowych wynikających ze zmian klimatu. Zastosowanie teledetekcji i sztucznej inteligencji uwidacznia się bardzo wyraźnie w ostatnich latach m.in. w badaniach oceny zdrowotności roślin zbożowych jako efekt rozprzestrzeniania się nowych patogenów w warunkach monokultur, zarówno w gospodarstwach o małym i dużym areale upraw. Świadczą o tym publikacje z prac badawczych prowadzonych w różnych krajach nad wykorzystaniem teledetekcji i sztucznej inteligencji (Jiang Lu i in., 2017; Junzhe Wu i in., 2023; Niedbała i in., 2020; Zeng Gonbi i in., 2023; Alisaac i Mahlein, 2023). Baza Scopus zwraca wynik ok. 150 artykułów opublikowanych w ostatnich dwóch latach w tej tematyce po wskazaniu słów kluczowych: „artificial AND intelligence” and „agriculture” and „remote sensing” (rysunek 2B).

Oceny zdrowotności roślin poprzez SSN dotyczy również prezentowana w tym artykule innowacyjna technologia. Projekt realizowany przez Konsorcjum Teledis w ramach działania 16 „Współpraca” Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020 jest przykładem wielopodmiotowej współpracy następujących podmiotów reprezentujących różne środowiska gospodarki:

- Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie;
- Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin PIB;
- Relayonit Sp. z o.o.;
- Łódzki Ośrodek Doradztwa Rolniczego;
- Świętokrzyski Ośrodek Doradztwa Rolniczego z siedzibą w Modliszewicach;

- Marian Hadrian prowadzący gospodarstwo rolne, Kobierzycko;
- Roman Źyciński prowadzący gospodarstwo rolne, Mirogonowice.

2. Cel i zakres projektu

Celem realizowanego projektu było opracowanie i wdrożenie nowego i intuicyjnego w obsłudze systemu Teledis pozwalającego na ocenę zdrowotności zbóż z wykorzystaniem teledetekcji oraz sztucznych sieci neuronowych (SSN). Obiektem badawczym były odmiany pszenicy i pszenżyta oraz 5 różnych chorób: rdza żółta i brunatna, septorioza liści i plew oraz fuzarioza kłosów.

Cele i korzyści długookresowe z wdrożenia innowacyjnego systemu Teledis obejmują zmianę podejścia do stosowania środków ochrony roślin, np.:

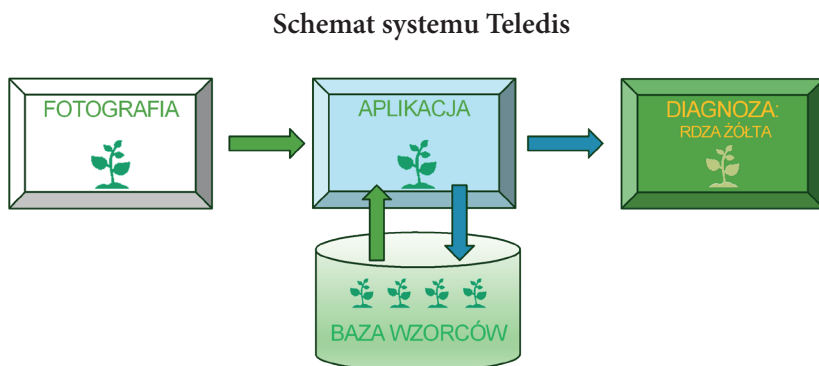
- możliwość wykonywania oceny zdrowotności upraw przy użyciu BSP (bezzałogowych statków powietrznych);
- opracowywanie i wprowadzenie programów ochronnych, bazujących na danych o identyfikacji chorób z uwzględnieniem ich struktury przestrzennej i stopnia porażenia roślin;
- zwiększenie ekonomicznej efektywności upraw przez zmniejszenie ilości środków ochrony, dzięki stosowaniu zabiegów interwencyjnych oraz punktowych w miejscach wystąpienia choroby;
- zmniejszenie ilości stosowanych środków ochrony roślin będzie miało pozytywny wpływ na środowisko.

3. Opis funkcjonowania nowego systemu Teledis

Podstawowymi elementami systemu Teledis są (rysunek 3):

- Fotometryczna baza danych wzorców (serwer IHAR-PIB) reprezentujących objawy chorobowe różnych odmian pszenicy i pszenżyta.
- Oprogramowanie/aplikacja z samouczącymi się sztucznymi sieciami neuronowymi do identyfikacji chorób pszenicy i pszenżyta w 2 modułach tj. publicznym (rejestracja gospodarstw, raportowanie upraw i zdjęć, komunikacja z ekspertami) oraz eksperckim (ocena danych fotometrycznych, monitorowanie klasyfikacji SSN, przygotowywanie zestawień i raportów). Aplikacja została przygotowana w wersji instalowanej na smartfony i komputery, jako narzędzie identyfikacji chorób pszenicy i pszenżyta w czasie rzeczywistym.

Rysunek 3



Na rysunku 3 przedstawiono w dużym uproszczeniu schemat systemu diagnozowania zbóż. Zdjęcie fragmentu łanu zboża wykonane np. smartfonem, wprowadzane jest do aplikacji na komputerze (lub smartfonie). Z zastosowaniem SSN oraz wzorców różnych odmian chorych i zdrowych roślin zboż, możliwa jest analiza materiału roślinnego i otrzymanie zwrotnej informacji z diagnozą. Celem dalszych konsultacji lub w przypadku wątpliwości, aplikacja umożliwi bezpośredni kontakt z doradcą rolniczym lub ekspertem z jednostki naukowej. Prosta i intuicyjna obsługa aplikacji ułatwia osobom niebędącym specjalistami posługiwanie się zaawansowanymi technologiami w celu uzyskania wiarygodnej informacji. Przygotowanie bazy wzorców przez specjalistów w zakresie chorób roślin gwarantuje poprawność stawianych diagnoz na wysokim poziomie.

4. Baza wzorców

Dla nowoczesnego zarządzania danymi badawczymi niezbędne jest zapewnienie przyjaznej dla użytkownika infrastruktury, która musi spełniać łącznie kryteria: a/ umożliwiać przesyłanie i przetwarzanie danych w czasie rzeczywistym; b/ w powszechnie dostępnych, interoperacyjnych formatach; c/ opierać się o przyjęte i szeroko stosowane normy, przepisy i wytyczne dla różnych etapów życia danych. W odniesieniu do nauk rolniczych, zarządzanie danymi dotyczy m.in. klasyfikacji i opisu gleb, warunków środowiskowych, technik i działalności rolniczych, odmian roślin, zastosowania nawozów, agro-semantyki i innych.

W opisywanym zadaniu wyzwaniem stanowiło opracowanie koncepcji systemu z opisem podstawowych funkcjonalności dla zarządzania danymi, w szczególności opracowanie i przetwarzanie dużej ilości zdjęć RGB różnych upraw (na przykładzie pszenicy i pszenżyta), zdrowych i dotkniętych chorobami.

Wybierając system do zarządzania bazą danych (Database Management System) na potrzeby e-commerce (handel internetowy), trzeba zwrócić uwagę na kilka kwestii np. elastyczność, wysoką dostępność, niezawodność, obsługiwane wielu zapytań oraz aktualność danych. Do tego projektu wybrano odpowiadający tym potrzebom system MongoDB. System ten charakteryzuje się brakiem ściśle zdefiniowanej infrastruktury obsługiwanych baz, a dane są składowane jako dokumenty w stylu Json. Json to popularny format do wymiany danych, używany przez różne interfejsy programowania aplikacji. Pozwala na łączenie dużych ilości danych w pojedynczym pakiecie tekstu i wysyłanie ich do innych serwisów.

Przyjęto, że do uzyskania satysfakcjonujących wyników rozpoznawania chorób potrzebne są zdjęcia o wielkości piksela terenowego 1 mm. Jest to rozdzielczość znacznie dokładniejsza niż te, które spotykane są w tradycyjnej fotogrametrii. Dlatego też zdecydowano się na wykonywanie zdjęć do bazy wzorców „z ręki” aparatami cyfrowymi i smartfonami. Zdjęcia „z ręki” wykonywano z odległości 1-2 m, umożliwiającą pozyskanie danych obrazowych o jakości odpowiedniej dla analizy obrazu.

Przechowywane w bazie wzorce posiadają następujące dane: lokalizacja plantacji; odmiana, gatunek roślin; rodzaj porażenia; faza rozwoju rośliny; czas wykonywania zdjęcia; warunki pogodowe; charakterystyka gleby; poziom nawodnienia.

4.1. Pozyskiwanie wzorców

Przygotowanie wzorców do pierwszej wersji bazy odbywało się w dwóch etapach:

- Pozyskiwanie/wykonywanie zdjęć w warunkach naturalnych na polu uprawnym w różnej lokalizacji i warunkach pogodowych w ciągu 2 sezonów wegetacyjnych.
- Wybór zdjęć względem ich odpowiedniej jakości dla wprowadzania do bazy danych jako miarodajny wzorzec. Oznaczenie cechami (tagami) poszczególnych zdjęć, w tym wskazanie miejsc występowania zmian chorobowych na poszczególnych częściach roślin (np. liście, kłosa).

W trakcie realizacji projektu zdjęcia wykonywane były głównie przez pracowników IHAR-PIB w Radzikowie oraz pracowników ŁODR w Bratoszewicach i ŚODR w Modliszewicach. Większość zdjęć wykonywano na poletkach doświadczalnych w Radzikowie (rysunek 4) dla odmian ozimej pszenicy i ozimego pszenżyta o zróżnicowanej morfologii i odporności w różnych warunkach pogodowych. Dla jednoznacznego wyniku i zróżnicowania poziomu choroby, rośliny były sztucznie inokulowane w przypadku septoriozy i fuzariozy kłosów, w przypadku pozostałych chorób infekcję monitorowano w warunkach naturalnych.

Rysunek 4

**Układ doświadczeń na poletkach doświadczalnych IHAR-PIB w systemie
uprawy konwencjonalnej (bez zastosowania środków ochrony roślin)
i w uprawie ekologicznej**

	O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	O	
	Panteon	Belcanto	Medalion	Melomant	Rotendo	Kasyno	Orinoko	Porto	Tadeus	Toro	Dolindo	Corado	Panaso	Stelvio	Borwo	Octavio	Panteon	pszenżyto
	O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	O	
	Panteon	Euforia	Formacja	RGT Kilimanjaro	Comandor	Arkadia	Hondia	Belissa	Plejada	Patras	RGT Specialist	Bosporus	Tytanika	Bataja	Admont	Opoka	Panteon	Inokulacja P. nodorum
	O	12	10	7	9	14	4	2	8	15	1	5	13	11	6	3	O	
	Panteon	Tytanika	RGT Specialist	Belissa	Patras	Admont	Comandor	Formacja	Plejada	Opoka	Euforia	Arkadia	Bataja	Bosporus	Hondia	RGT Kilimanjaro	Panteon	Inokulacja Fusarium culmorum
	O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	O	
	Panteon	Euforia	Formacja	RGT Kilimanjaro	Comandor	Arkadia	Hondia	Belissa	Plejada	Patras	RGT Specialist	Bosporus	Tytanika	Bataja	Admont	Opoka	Panteon	
	O	12	10	7	9	14	4	2	8	15	1	5	13	11	6	3	O	
	Panteon	Tytanika	RGT Specialist	Belissa	Patras	Admont	Comandor	Formacja	Plejada	Opoka	Euforia	Arkadia	Bataja	Bosporus	Hondia	RGT Kilimanjaro	Panteon	
	O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	O	
	Panteon	Euforia	Formacja	RGT Kilimanjaro	Comandor	Arkadia	Hondia	Belissa	Plejada	Patras	RGT Specialist	Bosporus	Tytanika	Bataja	Admont	Opoka	Panteon	pszenica

Wzorce charakteryzować się muszą dobrą jakością od której zależy poprawne funkcjonowanie SSN i systemu Teledis. O jakości zdjęcia decydowały trzy główne czynniki: czas otwarcia migawki, wielkość przysłony i wartość ISO. Przy małej głębi ostrości (mała wartość przysłony) jeden główny punkt na fotografii, był ostry, a pozostała część zdjęcia pozostawała rozmyta. W przypadku wzorców wskazana była większa głębia ostrości. Dla poprawnej interpretacji zdjęć wzorców istotny był również balans bieli, który należało ustawić bezpośrednio dla aparatu

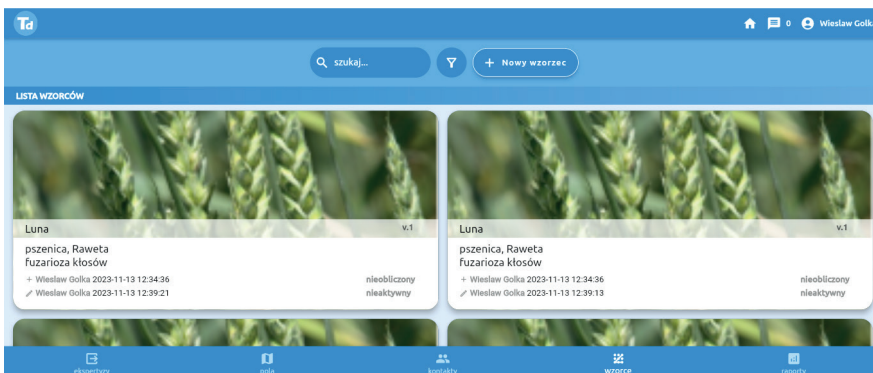
fotograficznego. Kolejnym istotnym parametrem, była wielkość piksela terenowego jako podstawowy parametr określający jakość oraz przydatność pozyskanych zdjęć. Wielkość piksela opisuje jakie odwzorowanie w terenie ma każdy piksel uzyskanego obrazu. Ustalono, że do uzyskania satysfakcjonujących wyników rozpoznawania chorób w aplikacji TELEDIS zdjęcia należało wykonać przy wielkości piksela terenowego co najwyżej 1 mm. Jest to rozdzielczość znacznie dokładniejsza niż te, które spotykane są w tradycyjnej fotogrametrii. Biorąc pod uwagę konieczność pozyskania jak najwyższej jakości zdjęć, przy doborze aparatu fotograficznego i obrazowania chorób roślin należało rozważyć również inne czynniki np.: 1/ rozdzielczość sensora, fizyczną wielkość matrycy, rozmiar piksela; 2/ optykę aparatu tj. rzeczywistą ogniskową i jakość obiektywu (jasny obiektyw skróci czas naświetlania, dzięki czemu zapewni odpowiednią jakość zdjęć, minimalizując przy tym ryzyko rozmycia obrazu); odległość od fotografowanego obiektu.

W Polsce jest uprawianych około 50 odmian klasyfikowanych jako odmiany zalecane (zgodnie z doświadczeniami PDOiR) do warunków klimatycznych i glebowych danego województwa. Aktualnie w bazie znajduje się jedynie 177 wzorców pszenżyta oraz 425 wzorców pszenżyta, które dobrano z grupy zarówno odmian zalecanych dla województwa mazowieckiego, jak i spośród tych, które nie są zalecane (dla zwiększenia różnicowania wzorców). Dla niektórych odmian pozyskano wzorce kilku chorób. Wśród odmian pszenżyta najlepiej opisane są Orinoko i Rotondo, a w przypadku pszenicy Hondia i Opoka. Ograniczeniem dla pozyskania licznych wzorców wszystkich chorób były głównie warunki pogodowe w kolejnych latach powodujące małą skuteczność inokulacji. Ograniczenia tego typu są częstą przyczyną wolnej rozbudowy baz danych i słabej diagnostyki SSN. A zatem baza wzorców wymaga ciągłego uzupełniania wzorcami różnych odmian, a jej rozbudowa musi nadążać za postępem biologicznym zbóż. Wymaga to ścisłej współpracy z COBORU oraz z gospodarstwami demonstracyjnymi prowadzonymi przez Wojewódzkie Ośrodki Doradztwa Rolniczego. Poniżej przedstawiono proces wprowadzania i kolejne etapy charakterystyki zdjęć dla bazy wzorców w systemie Teledis i przygotowanym oprogramowaniu.

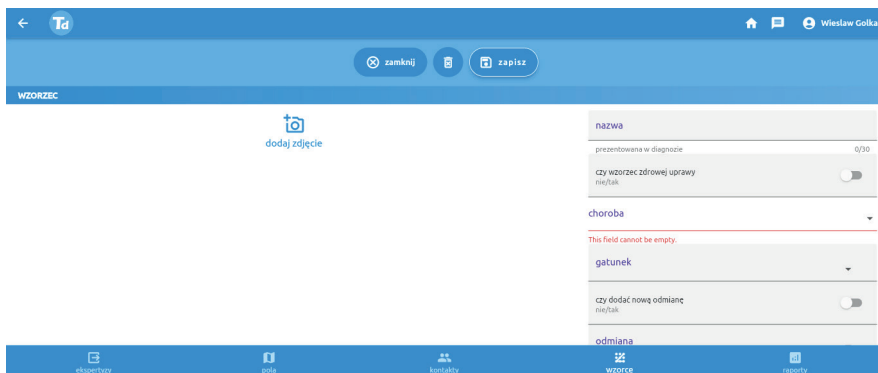
Rysunek 5

Tryb wprowadzania zdjęcia do bazy wzorców: A – lista wzorców;
B – okno opisu wzorca i wprowadzenia zdjęcia; C – okno opisanego wzorca

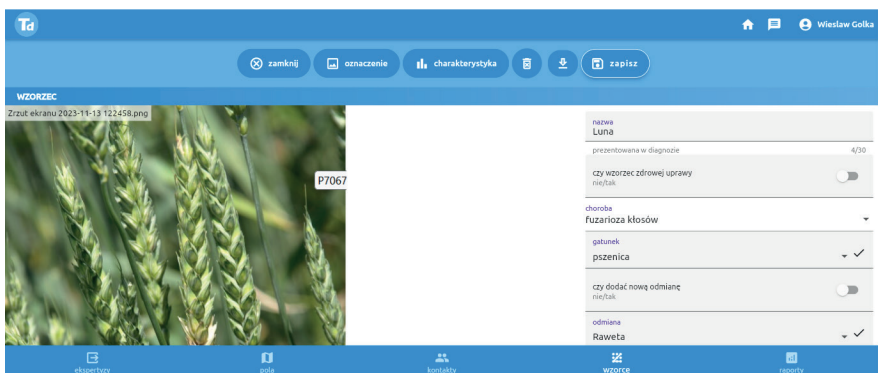
A



B



C



5. Model SSN

W przedstawionej innowacyjnej technologii, aby dokonać identyfikacji, konieczne było poprawne skojarzenie (oparte na SSN) wykonanych wcześniej zdjęć plantacji z odpowiednim wzorcem z załadowanej do programu bazy wzorców badanych chorób pszenicy i pszenżyta.

Model SSN w omawianym systemie został ostatecznie zaprojektowany jako wielopoziomowa sieć konwolucyjna. Sieci konwolucyjne zaczęto powszechnie stosować do modelowania obrazów od roku 2012 (Krizhevsky i Sutskever, 2012; Gershgorn, 2018). Są one narzędziami analizy i rozpoznawania obrazów wzorowanymi na sposobie działania naszych zmysłów. Sieci konwolucyjne poprzez trening uczą się, jakie cechy szczególne obrazu pomagają w jego klasyfikacji. Ich przewagą nad standardowymi sieciami głębokiego uczenia jest większa skuteczność w wykrywaniu zawiłych zależności w obrazach. Podstawą sieci konwolucyjnych są warstwy splotowe, ponieważ zawierają wyuczone filtry (kernele), które wyodrębniają cechy odróżniające od siebie różne obrazy. Model wyposażony jest w funkcjonalności: rozpoznawanie części rośliny (kłos, liść, łodyga, gleba) oraz rozpoznawanie objawów porażenia patogenami, tj. zmian występujących w części widzialnej spectrum RGB, kategoryzację 2 stanów roślin tj. zdrowych i chorych, niezależnie od poziomu rozwoju choroby.

6. Cyfrowa analiza zdjęć

Zdjęcia roślin były podstawą do analizy histogramów długości fal, jak również do wyliczania na ich podstawie wskaźników pozwalających na ocenę i zdrowotności. W projekcie wykorzystywano zdjęcia wykonywane w zakresie światła widzialnego. Prace badawcze prowadzono wg poniższego planu:

- Pozyskanie zobrazowań RGB (ang. Red-Green-Blue). Metoda polega na identyfikacji artefaktów występujących na roślinach, obserwowanych w spektrum światła widzialnego.
- Transformacja obrazów do skali HSL (ang. Hue, Saturation & Lightness).
- Obliczenie wzorców w postaci sieci GNG (ang. Growing Neural Gas – algorytm nienadzorowanego uczenia się sieci neuronów). Dla uzyskanych w kroku 2 próbek wytworzono reprezentacje w postaci sieci neuronowych GNG.
- Obliczenie zgodności wzajemnej zbioru próbek w postaci sieci neuronowych GnG.

Dla oznaczania i identyfikacji próbek zastosowano algorytmy grupowania danych. Anomalie występujące w zbiorach wejściowych pozwalają na wytwor-

rzenie map wzorcowych, charakterystycznych dla badanych obiektów. W dalszej kolejności metoda pozwoli na ocenę zbioru testowego dzięki zastosowaniu algorytmów porównywania wielowymiarowych map wektorowych. Metoda ta ma na celu rozpoznawanie zmian zdrowotnych roślin na podstawie wykonanych zdjęć. Najprostszym podejściem jest określenie wskaźników opartych na obecności określonej długości fal w badanych próbkach. W projekcie analizie poddane były dane ze zdjęć, przedstawione jako wielowymiarowe zbiory punktów opisanych w skali HSL (barwa, nasycenie, luminancja). Pozwoliło to na precyzyjną identyfikację skupień danych charakterystycznych dla badanych anomalii. Skuteczna analiza danych wymagała zastosowania takiego sposobu klasyfikacji, który był jednocześnie wydajny i pozwalał na porównywanie uzyskiwanych wyników z dużymi zbiorami danych wzorcowych. W projekcie zastosowano implementację GNG (Growing Neural Gas). Jest to model sztucznej sieci neuronowej stosowany np. przy rozpoznawaniu mowy, przetwarzaniu obrazów, rozpoznawaniu wzorców. Wyniki obliczane były metodą wyliczenia średniej dla sum odległości każdego kolejnego punktu zbioru badanego względem najbliższego punktu zbioru wzorcowego, gdzie jako odległość rozumiemy odległość sferyczną w trójwymiarowej przestrzeni liczb rzeczywistych.

7. Aplikacja

Opracowując oprogramowanie do projektu, kierowano się zasadami, że aplikacja musi być łatwo dostępna i łatwa w obsłudze, przeznaczona będzie głównie dla małych gospodarstw oraz doradców rolniczych. Serwer współpracujący z aplikacją znajduje się w IHAR-PIB w Radzikowie. Uruchomiono dwa środowiska na dedykowanym serwerze w IHAR PIB:

- Produkcja – zawiera właściwy zbiór wzorców.
- Test – środowisko do testów nowych wersji oprogramowania.

Elementy środowiska obejmują:

- Baza danych MongoDB, indeksowanie geolokacyjne.
- Aplikacja back-end Java Springboot obejmująca implementację sieci neuronowych, asynchroniczne przetwarzanie danych, serwisy Rest.
- Aplikacja front-end w wersjach web, android (docelowo IOS), obejmująca moduł publiczny, doradców i ekspercki.

Moduły posiadają następujące funkcjonalności:

1. Funkcjonalność wspólna:

- Logowanie użytkownika.
- Rejestracja użytkownika.

2. Moduł publiczny (ogólnodostępny):

- Wysyłanie zgłoszeń do diagnozy zawierających zdjęcie uprawy.

- Dostęp do diagnozy wykonanej przez SSN.
 - Możliwość prowadzenia konsultacji w sprawie diagnozy z doradcami i ekspertami.
 - Komunikacja z doradcami i ekspertami, możliwość wyszukiwania doradców poprzez mapy oraz nawiązywania kontaktu z doradcami.
 - Możliwość prowadzenia własnej ewidencji pól i upraw wraz z dostępem do historii własnych zgłoszeń i konsultacji.
 - Możliwość wykonywania diagnozy bez konieczności rejestracji w systemie.
3. Moduł doradcy:
- Edycja danych osobowych.
 - Lista rolników.
 - Korespondencja z rolnikiem.
 - Dostęp do funkcji rolnika.
 - Dodawanie pytań/ korespondencji do zdarzenia diagnostycznego.
 - Zmiana statusu zdarzenia diagnostycznego - skierowanie do oceny/weryfikacji przez eksperta.
4. Moduł ekspercki:
- Interfejs użytkownika pozwalający wykonywać działania na wzorcach, takie jak oznaczenia, obliczenia czy obserwację charakterystyki warstwy wejściowej sieci dla wybranego wzorca.
 - Zarządzanie wzorcami, parametryzacja sieci neuronowej z zastosowaniem algorytmu genetycznego (uzyskania m.in. odchyień sieci od badanego wzorca), ocena zgodności badanej próbki z wzorcem (określenie choroby rośliny).
 - Zestawienia ilościowe przygotowanych wzorców (w przygotowaniu).

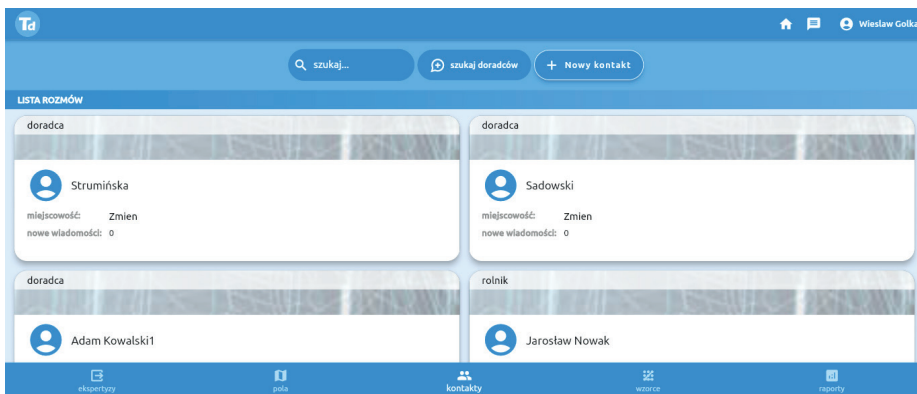
Poniżej przedstawiono kilka okien aplikacji Teledis.

Rysunek 6

Okna aplikacji Teledis: A – okno zakładania konta użytkownika; B – okno z listą rozmów uczestników aplikacji



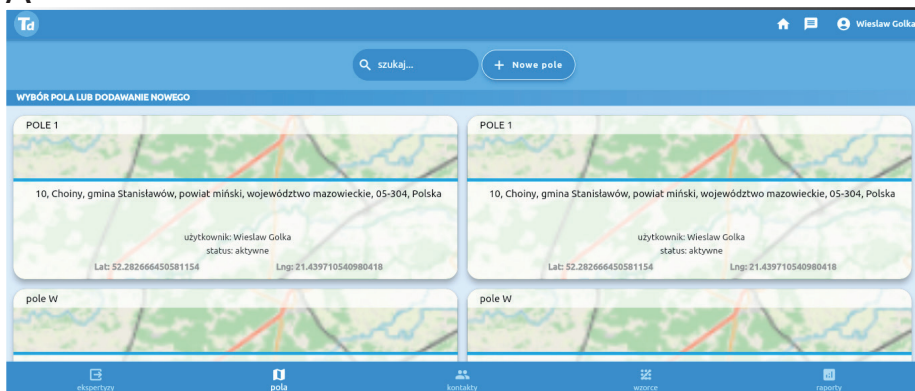
B



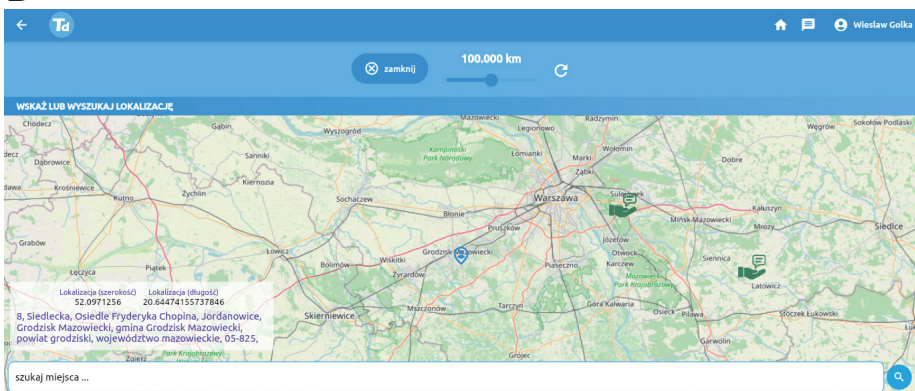
Rysunek 7

Okna aplikacji Teledis: A – wyboru pola lub dodawania nowego obszaru pola;
B – okno z lokalizacją i nazwą pola

A



B



8. Założenia dla Centrum informacyjnego zdrowotności roślin zbożowych

Przedstawiony system zdrowotności zbóż wymaga ciągłej obsługi i rozwoju. Dla tego finalnym celem projektu będzie uruchomienie Centrum Informacyjnego Zdrowotności Roślin na terenie IHAR-PIB w Radzikowie, funkcjonującego na podstawie proponowanej w projekcie innowacyjnej technologii.

Centrum wykonywać będzie następujące zadania:

- Pozyskiwanie nowych zdjęć zdrowych i porażonych upraw różnych odmian roślin pszenicy i pszenżyta z różnych lokalizacji w Polsce zarówno bezpośrednio przez ekspertów jak i w formie przesłanej przez użytkowników aplikacji.
- Wprowadzanie nowych wzorców do bazy. Z biegiem czasu Centrum gromadzić może coraz więcej informacji o różnych zbożach i ich zdrowotności.
- Konsultacje i weryfikacje zgłaszanych przez użytkowników problemów dotyczących wskazywanych przez aplikację chorób. Rolnicy dysponując odpowiednią aplikacją będą mogli przysyłać zdjęcia z plantacji w celu weryfikacji objawów chorobowych.
- Analiza zdrowotności zbóż w wybranych obszarach kraju. Informacje te będą służyć zarówno bezpośrednio rolnikom, jak też służbom doradztwa rolniczego, uczelniom, placówkom badawczym oraz administracyjnym.
- Opracowywanie materiałów dla potrzeb jednostek obsługi rolnictwa oraz jednostek administracyjnych kraju.
- Obsługa serwera stanowiącego wyposażenie bazy.

9. Wnioski i podsumowanie

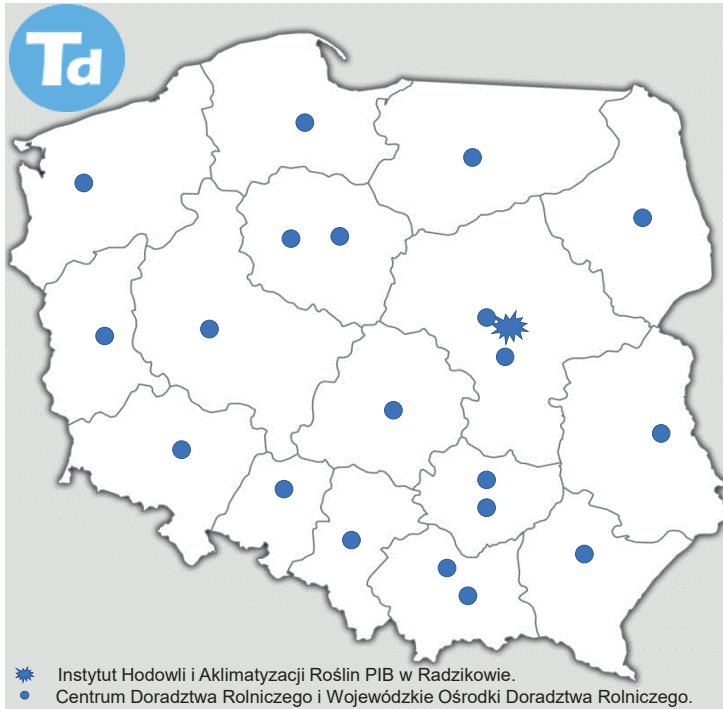
1. Artykuł jest pierwszym opracowaniem dotyczącym zakończonego w roku 2022 projektu systemu Teledis oraz opracowania systemu oceny zdrowotności wybranych odmian pszenicy i pszenżyta. Zakres diagnozy chorób obejmuje pięć najbardziej powszechnie występujących chorób zbóż, tj. fuzariozy kłosów, septoriozy plew i liści, rdzy żółtej i rdzy brunatnej. System wpisuje się w powszechnie zalecany kierunek, jakim jest cyfryzacja rolnictwa.
2. Projekt jest efektem współpracy różnych podmiotów na rzecz wzmocnienia innowacyjności i konkurencyjności polskiego sektora rolnego. Utworzono konsorcjum składające się z podmiotu naukowego odpowiedzialnego za badania, przedsiębiorstwa informatycznego, jednostek doradztwa rolniczego, odpowiedzialnych za szkolenia, upowszechnianie i wykonywanie zdjęć oraz rolników. Dla zapewnienia skutecznej realizacji zadań począwszy od koncepcji, poprzez badania, skończywszy na wdrożeniu do praktyki rolniczej, plano-

- wane jest włączenie do współpracy wszystkich WODR-ów na terenie kraju.
3. W pierwszej fazie projektu opracowano system do wykrywania i identyfikacji chorób roślin zbożowych z zastosowaniem teledetekcji. Podstawą opracowanego systemu jest biblioteka wzorców chorobowych i innowacyjne oprogramowanie wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe.
 4. System przeznaczony jest przede wszystkim dla właścicieli plantacji pszenicy i pszenżyta. Zastosowanie bliskiej teledetekcji i SSN w aplikacji umożliwia wdrożenie technologii wczesnego wykrywania chorób roślin na plantacjach niskoobszarowych (standardowych i ekologicznych) oraz optymalizację precyzyjnej ochrony chemicznej zgodnie z zasadą integrowanej ochrony określonej w załączniku III do Dyrektywy 2009/128/WE (rolnictwo 4.0, np. fungicydowy zabieg ochronny stosowany do ścisłego obszaru porażonych roślin).
 5. Finalnym celem w projekcie może być uruchomienie Centrum Informacyjnego Zdrowotności Roślin na terenie IHAR-PIB w Radzikowie, funkcjonującego na podstawie proponowanej w projekcie innowacyjnej technologii. Rolnicy dysponując odpowiednim oprogramowaniem będą mogli przysyłać zdjęcia z plantacji zarówno do doradców jak też do Centrum w celu weryfikacji objawów chorobowych.
 6. Rozbudowa systemu TELEDIS spowoduje powstanie wartości dodanej, w postaci materiałów statystycznych dla administracji i jednostek badawczych, na temat dyslokacji upraw i ich chorób na terenie kraju. Baza danych pozwoli na monitorowanie występowania chorób, podatności zarejestrowanych i nowych odmian z uwzględnieniem geolokalizacji, fazy wegetacyjnej i innych danych charakteryzujących uprawy pszenicy i pszenżyta. Wczesne rozpoznanie choroby umożliwia podjęcie decyzji o ograniczeniu jej rozwoju na większym obszarze; zwiększyć ilość i jakość plonu; zmniejszyć koszty, energię i ślad węglowy podczas stosowania i produkcji środków ochrony roślin; presję na środowisko naturalne.
 7. System Teledis jest istotną pomocą dla:
 - zarejestrowanych rolników indywidualnych w kontrolowaniu zdrowotności upraw na polach w Polsce;
 - doradców rolniczych, jako wsparcie w identyfikacji chorób i zapewnienie platformy wymiany wiedzy, dostęp do ekspertów w dziedzinie ochrony roślin; oraz
 8. Do efektywnego działania oprogramowania wymagane jest określenie minimalnych parametrów dla urządzeń teledetekcyjnych; co umożliwi firmom sporządzanie bardzo dokładnych map upraw zbóż (np. usługi dla gospodarstw). Oprogramowanie wraz z bazą danych będzie dostępne w wersji darmowej, co ma na celu promocję rozwiązania na szeroką skalę. System będzie

nadal się rozwijać, szczególnie w 3 obszarach: rozbudowy bazy wzorców, deep learning, czyli głębokiego nauczania SSN, oraz promocji wśród rolników. Potrzebne jest więc zaangażowanie konsorcjantów, informatyków i służb doradztwa rolniczego. Udział doradztwa rolniczego jest szczególnie istotny, docelowo bowiem zalecane jest rozbudowanie sieci jednostek współpracujących z grupą TELEDIS, w tym doradców rolniczych (rysunek 8).

Rysunek 8

Docelowa sieć współpracy grupy TELEDIS



LITERATURA

1. Alisaac, E., Mahlein, A.-K. (2023). Fusarium Head Blight on Wheat: Biology, *Modern Detection and Diagnosis and Integrated Disease Management*. 2023 Mar 3;15(3):192. DOI: 10.3390/toxins15030192
2. Bauriegel, E., Giebel, A., Geyer, M., Schmidt, U., Herppich, W.B. (2011). Early Detection of Fusarium Infection in Wheat Using Hyper-Spectral Imaging. *Comput. Electron. Agric.* 2011; 75, 304-312. DOI: 10.1016/j.compag.2010.12.006
3. Behmann, J., Mahlein, A.K., Rumpf, T., Römer, C., Plümer, L.A (2015). Review of Advanced Machine Learning Methods for the Detection of Biotic Stress in Precision Crop Protection. *Precis. Agric.* 2015,16, 239-260. DOI: 10.1007/s11119-014-9372-7

4. Cellary, W. (2019). Przemysł 4.0, Gospodarka 4.0. *Biuletyn PTE* 3(86), str. 52.
5. Trzop, A. (2020). Przegląd rozwiązań z zakresu przemysłu 4.0 stosowanych w obszarze logistyki. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej* (81), str. 233-247. DOI: 10.21008/j.0239-9415.2020.081.15
6. Figiel, Sz. (2022). Rozwój sztucznej inteligencji potencjalny wpływ jej zastosowań w rolnictwie na wykorzystanie siły roboczej i produktywność. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej Problems of Agricultural Economics*, 373(4), 5-21.
7. Francesconi, S., Antoine, H., Mauro, M., Balest, G.M. UAV-Based Thermal, RGB Imaging and Gene Expression Analysis Allowed Detection of Fusarium Head Blight and Gave New Insights Into the Physiological Responses to the Disease in Durum Wheat <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.628575>
8. Gershgorn, D. (2018). *The inside story of how AI got good enough to dominate Silicon Valley*. Quartz. Retrieved 23 February 2021.
9. Janiak, M. (2022). *Praktyczne zastosowania sztucznej inteligencji*. Android.com.pl, czerwiec 2023.
10. Jiang, L., Jie Hu, G. Z., Fenghua, M., Changshui Z. (2017). An in-field automatic wheat disease diagnosis system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 369-379.
11. Kaplan, J. (2016). *Artificial intelligence: What everyone needs to know*. Oxford University Press.
12. Klochowicz, T.B. (2018). Pojazdy autonomiczne a moralność sztucznej inteligencji. *Journal of Trans Logistics*. bibliotekanauki.pl
13. Krizhevsky, I., (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks GE Hinton. *Advances in neural information processing systems* 25.
14. Lancashire, P.D., Bleiholder, H., van den Boom, T., Langelüddecke, P., Stauss, R., Weber, E., Witzemberger, A. (1991). A Uniform Decimal Code for Growth Stages of Crops and Weeds. *Ann. Appl. Biol.*, 119:561-601. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x.
15. Moore, P.V. (2018). Jerry Kaplan: Artificial Intelligence – What Everyone Needs to Know. *Organization Studies*, 40 (3), 466-470. <https://doi.org/10.1177/0170840618792173>
16. Niedbała, Kurasiak-Popowska, D., Stuper-Szablewska, K., Nawracała, J. (2020). *Application of Artificial Neural Networks to Analyze. The concentration of Ferulic Acid, Deoxynivalenol and Nivalenol in Winter Wheat Grain*.
17. Pasierbek, W., Grodecka, M. (2020). *Horyzonty człowieczeństwa*. <http://orcid.org/0000-0002-8774-4461>
18. Piątek, Z. (2022). *Za pięć lat sztuczna inteligencja będzie zarządzać produkcją*. <https://przemysl-40.pl/index.php/2022/05/18/>
19. Versabox (2023). *Automatyzacja produkcji, roboty i zarządzanie w procesach produkcyjnych*. <https://versabox.eu/pl/>
20. Zgrzebnicki, P. (2018). *Planowanie i współodpowiedzialność etyczna w projektowaniu nowych technologii*. <https://depot.ceon.pl>