

dr hab. Grzegorz Marcin Wójcik, prof. UMCS  
Kierownik Katedry Neuroinformatyki i Inżynierii Biomedycznej  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej Lublinie  
Instytut Informatyki  
ul. Akademicka 9, 20-033 Lublin  
gmwojcik@live.umcs.edu.pl

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Wachowicz**

**Tytuł rozprawy: Monitorowanie rodzin pszczelich z wykorzystaniem urządzeń IoT w celu wykrywania sytuacji zagrożających życiu pszczół**

**Promotor w przewodzie: dr hab. inż. Dariusz Mrozek, prof. Politechniki Śląskiej**

Pszczoły odgrywają niezwykle istotną rolę w procesie zapylania, który jest kluczowy dla utrzymania bioróżnorodności i produkcji żywności. Te małe owady pełnią funkcję zapylaczy, przenosząc pyłek kwiatowy z jednej rośliny na drugą. Dzięki temu rośliny owocowe, warzywne i wiele innych gatunków roślin mogą wytworzyć owoce, nasiona i inne formy rozmnażania.

Bez pszczół, wiele roślin nie mogłoby się rozmnażać, co skutkowałoby spadkiem dostępności żywności dla ludzi i zwierząt. Pszczoły są kluczowe dla produkcji takich owoców jak jabłka, pomarańcze, truskawki, a także orzechów i wielu innych roślin uprawnych. Ponadto, pszczoły wspierają ekosystemy naturalne, przyczyniając się do zachowania dzikich gatunków roślin i zwierząt.

Niestety, pszczoły są zagrożone przez czynniki takie jak utrata siedlisk, zanieczyszczenia środowiska i choroby. Dlatego ochrona tych owadów jest nie tylko istotna dla gospodarki i rolnictwa, ale także dla zachowania naszej planety.

Internet Rzeczy (IoT) i Przemysł 4.0 to rewolucyjne koncepcje, które zmieniają sposób, w jaki funkcjonuje przemysł i społeczeństwo. IoT polega na połą-

czeniu przedmiotów i urządzeń za pomocą internetu, umożliwiając im komunikację i wymianę danych. Przemysł 4.0 to zaawansowane technologie w produkcji, takie jak automatyzacja, robotyka, analiza danych i sztuczna inteligencja, które poprawiają efektywność i jakość produkcji.

Te dwie koncepcje są ze sobą ściśle powiązane. Dzięki IoT, urządzenia w fabrykach mogą monitorować i kontrolować się nawzajem, co zwiększa precyzję i redukuje błędy. Przemysł 4.0 wykorzystuje dane z IoT do doskonalenia procesów produkcyjnych i podejmowania inteligentnych decyzji.

W wyniku tych zmian firmy osiągają większą konkurencyjność, a klienci korzystają z produktów i usług bardziej dostosowanych do swoich potrzeb. Jednak równocześnie pojawiają się wyzwania związane z bezpieczeństwem danych i prywatnością. IoT i Przemysł 4.0 to nie tylko trendy, ale również szanse i wyzwania dla współczesnego społeczeństwa i gospodarki.

*Varroa destructor* to pasożytniczy roztoc z rodziny Varroidae, który atakuje pszczoły miodne (*Apis mellifera*). Jest to jedno z największych zagrożeń dla pszczół i przyczynia się do spadku populacji tych owadów na całym świecie. *Varroa destructor* przywiera do pszczół, karmi się ich hemolimfą (odpowiednikiem krwi u pszczół) oraz przenosi się między pszczolami, przenosząc przy tym wirusy, co osłabia kolonie pszczół.

Jego obecność i wpływ na populację pszczół jest jednym z czynników przyczyniających się do zjawiska znanej jako zespół masowego ginięcia pszczoły miodnej, która prowadzi do gwałtownego spadku liczby pszczół w ulach. Ochrona pszczół przed pasożytem *Varroa destructor* jest kluczowa dla zachowania zdrowych populacji pszczół i utrzymania procesu zapylania w rolnictwie.

Zespół masowego ginięcia pszczoły miodnej, znany również jako "syndrom spadku populacji pszczół" lub CCD (Colony Collapse Disorder), stanowi poważne zagrożenie dla populacji pszczół na całym świecie. Ta tajemnicza cho-

roba objawia się gwałtownym spadkiem liczby pszczoł w ulach, często prowadząc do całkowitego zniknięcia rodzin pszczelich. Naukowcy identyfikują różne przyczyny CCD, w tym zanieczyszczenie środowiska, narażenie na pestycydy, brak różnorodności pokarmowej i wpływ zmian klimatycznych. CCD ma poważne konsekwencje dla produkcji rolniczej, ponieważ pszczoły odgrywają kluczową rolę w procesie zapylania wielu roślin, w tym owoców, warzyw i innych upraw. Dlatego ochrona pszczoł i zrozumienie tej choroby są niezwykle istotne dla zachowania ekosystemów i produkcji żywności.

Przedstawiona rozprawa doktorska koncentruje się na innowacyjnym wykorzystaniu Internetu Rzeczy w kontekście ochrony zdrowia rodzin pszczelich. Badanie ma na celu opracowanie systemu monitorującego stan pszczoł poprzez czujniki IoT, pozwalając na wczesne wykrywanie problemów zdrowotnych, takich jak choroby czy zanieczyszczenia środowiska. To podejście ma ogromny potencjał w ochronie tych ważnych dla ekosystemu owadów i promowaniu bioróżnorodności.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Wachowicz została zrealizowana w ramach projektu „CyPhiS – Projekt nowoczesnych studiów doktoranckich w dziedzinie systemów cyber-fizycznych” w Katedrze Informatyki Stosowanej na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej.

Praca została napisana w języku polskim, obejmuje 135 stron (wliczając w to strony wstępne ponumerowane cyframi rzymskimi). Główna jej część składa się z czterech ponumerowanych rozdziałów, niepotrzebnie w mojej ocenie numerowanego rozdziału wstępnego oraz podsumowującego uzyskane wyniki. Pracę opatrzone również spisem treści, spisem rysunków, spisem tabel, spisem algorytmów oraz bardzo przydatnym tu wykazem skrótów i symboli. Bibliografia obejmuje 128 dobrze dobranych i ponumerowanych pozycji. Praca została bardzo dobrze złożona.

Przedłożona praca w sposób innowacyjny rozwiązuje problem naukowy i techniczny, który polega na opracowaniu nowych technik i algorytmów opartych na wieloetapowym przetwarzaniu obrazów pozyskanych z kamery monitorującej rodziny pszczele. Te metody wykorzystują zarówno tradycyjne podejścia, jak i zaawansowane techniki uczenia głębokiego, umożliwiające wykrywanie osobników zakażonych dręczeniem pszczelim. Wyniki tych badań mogą być cennym narzędziem wsparcia pszczelarzy, zarówno w procesie diagnostyki, jak i w planowaniu leczenia rodzin pszczelich.

Głównym celem badań prezentowanych w recenzowanej rozprawie było wykazanie, iż metody oparte na proponowanym wieloetapowym potoku uczenia głębokiego połączonego z analizą brzegową obrazów pozyskanych z kamery w oknie adaptacyjnym czynią możliwym skuteczne wykrywanie dręcza pszczelego w czasie rzeczywistym.

W swoich badaniach autorka wykorzystywała zaawansowane metody sztucznej inteligencji, wizji komputerowej, inżynierii oprogramowania.

Metody, a zatem i kompetencje wykorzystywane przez autorkę mieszczą się w obszarach:

1. algorytmów działających na platformie RaspberryPi,
2. algorytmów działających na platformie NVidia Jetson Nano,
3. technologii chmurowych Google, Amazon oraz Microsoft,
4. konwolucyjnych sieci neuronowych wraz z krytyczną oceną poszczególnych modeli,
5. strategii wielomodalnej integracji danych pochodzących z systemów wizyjnych,
6. szeroko rozumianej inżynierii oprogramowania i algorytmiki, w tym programowania wysokowydajnych układów graficznych.

Autorka projektuje zatem potoki przetwarzania danych, lub strukturę, którą określiłbym mianem Data Science Pipelines, w tym wykorzystujące bezserwerowe obliczenia w usłudze AWS Lambda, mające na celu automatyczne wykrywanie zarażonych osobników, określanie rozmiarów problemu umożliwiające planowanie interwencji i leczenia rodziny pszczołej.

Należy podkreślić, że praca ma charakter interdyscyplinarny co w mojej ocenie stanowi jej wielki atut. Autorka oprócz rozległej wiedzy i umiejętności z zakresu informatyki przetwarzania danych, w tym uważanych za trudne dane wizyjne, musiała posiadać sporą dawkę wiedzy pszczelarskiej, nawiązać kontakt z środowiskiem pszczelarzy.

Warto tutaj zaznaczyć, że w swojej rozprawie doktorantka skoncentrowała się nie tylko na aspekcie obrazowania, ale również na kwestiach związanych z leczeniem rodzin pszczelich. Szczególny nacisk został położony na zaprojektowanie jak najlepszej architektury, co autorka osiągnęła dzięki zastosowaniu przemysłanych rozwiązań i testów.

Doktorantka przeprowadziła serię badań, które potwierdziły poprawność funkcjonowania opracowanego systemu oraz jego znaczną precyzję.

Struktura pracy jak i rozkład treści są w mojej ocenie poprawne.

Rozdział drugi pełni rolę wprowadzenia w tematykę dysertacji, prezentując szczegółowy opis zarówno przyrodniczych, jak i technicznych podstaw związanych z badanym obszarem, co pomaga czytelnikowi lepiej zrozumieć kontekst i kluczowe koncepcje omawiane w dalszych rozdziałach.

W trzecim rozdziale zaprezentowano przegląd literatury, który obejmuje badania dotyczące monitorowania pszczół oraz podobne systemy wykorzystywane w rolnictwie. Wartościowy materiał obejmuje także opis rozwiązań sprzętowych i algorytmicznych wykorzystywanych w tych dziedzinach.

Rozdział czwarty dokładnie analizuje strukturę i funkcjonowanie systemu,

omawiając zastosowane algorytmy oraz modele sieci neuronowych. Dostarcza kompleksowego spojrzenia na architekturę systemu oraz wyjaśnia, jak skomponowane elementy współpracują w celu osiągnięcia określonych celów.

W rozdziale piątym omówiono szczegóły związane z przeprowadzonymi badaniami. Sekcja 5.1 poświęcona jest opisowi danych użytych w procesie trenowania i walidacji modeli oraz sposobom ich przygotowania. Kolejne podrozdziały, tj. 5.2, 5.3 i 5.4, zawierają wyniki dotyczące jakości detekcji pszczół, choroby dręcza pszczelego oraz analizy zagęszczenia danych. Rozdział 5.5 prezentuje wyniki eksperymentów związanych z czasem działania urządzenia IoT do wykrywania zagrożeń dla pszczół. Na zakończenie, w sekcji 5.6, dokonano porównania wszystkich uzyskanych wyników.

Rozdział ostatni pełni funkcję zakończenia całej rozprawy. Rozpoczyna się od analizy uzyskanych wyników w kontekście zgodności z tezą i realizacji wcześniej wyznaczonych celów. Następnie omawia wkład autorki w badania. Ostatnia część, sekcja 6.3, wskazuje potencjalne obszary dalszych badań związanych z tą tematyką.

Doktorantka pozytywnie zweryfikowała tezę rozprawy i zrealizowała tym samym sformułowane we wstępie cele:

1. Urządzenie nie zakłóciło życia pszczół w pasiece i nie miało negatywnego wpływu na środowisko.
2. System, który został zaprojektowany, mógł przetwarzać obrazy z kamery przy uwzględnieniu różnych poziomów oświetlenia otoczenia.
3. Modele detekcji pszczół i ich klasyfikacji, wykorzystane do identyfikacji osobników z dręczem pszczelim, zapewniły działanie systemu w czasie rzeczywistym.
4. Rozdzielczość kamery była kompromisem między jakością obrazu a czasem

przetwarzania.

5. Zastosowanie procesora GPU umożliwiło przetwarzanie jak największej liczby klatek analizowanego filmu.

Pani mgr inż. Anna Wachowicz jest doświadczoną badaczką z zaczynającym być zauważalnym dorobkiem publikacyjnym. W jej bibliografii można znaleźć artykuły naukowe potwierdzające jej znajomość tematu i wysoki poziom wiedzy eksperckiej z zakresu podejmowanego zagadnienia. Do najważniejszych prac autorki mógłbym zaliczyć:

1. Mrozek, Dariusz, et al. "Edge-based detection of varroosis in beehives with iot devices with embedded and tpu-accelerated machine learning." *Applied Sciences* 11.22 (2021): 11078.
2. Wachowicz, Anna, et al. "Edge Computing in IoT-Enabled Honeybee Monitoring for the Detection of." *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 32.3 (2022): 355-369.

## **Pytania i uwagi krytyczne**

Niewdzięcznym obowiązkiem recenzenta jest za to wytknięcie spostrzeżonych uchybień i uwag technicznych.

Podczas lektury rozprawy nie zauważyłem uchybień, które miałyby jakiś szczególnie istotny wpływ na jej jednoznacznie pozytywną ocenę.

Natomiast pojawiło się u mnie kilka pytań, do których chciałbym by doktorantka ustosunkowała się w przypadku dopuszczenia do obrony. Pytania te wynikają z ciekawości, nie zaś z zastrzeżeń do treści:

- Jaka jest złożoność obliczeniowa, czasowa, pamięciowa algorytmów wykorzystywanych w rozwiązaniu problemu?

- Czy planowane jest wykorzystanie platform innych niż AWS? Na ile rozwiązanie jest przenaszalne do innych platform?
- Jak realizowany jest protokół bezpiecznej komunikacji do chmury? Czy w ogóle dane dotyczące rodzin pszczelich mogą być uznane za dane wrażliwe?
- Czy w potoku przetwarzania danych urządzenia Jetson Nano użytego jako platforma przetwarzająca wykorzystywane było bezpośrednio programowanie na GPU/CUDA?

Wszystkie powyższe pytania i uwagi mają charakter pytań z natury dociekliwych i nie mają wpływu na moje jednoznacznie pozytywne wrażenie z lektury pracy doktorskiej pani mgr inż. Anny Wachowicz.

## **Rekomendacja**

Badania prowadzone w ramach realizacji projektu nie zostały jeszcze nigdzie opublikowane w całości.

**Moja ocena rozprawy doktorskiej p. mgr. inż. Anny Wachowicz jest zdecydowanie pozytywna.**

**Uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Anny Wachowicz spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668), dlatego zwracam się do Wysokiej Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki o dopuszczenie mgr. inż. Anny Wachowicz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Lublin, 2023-11-02