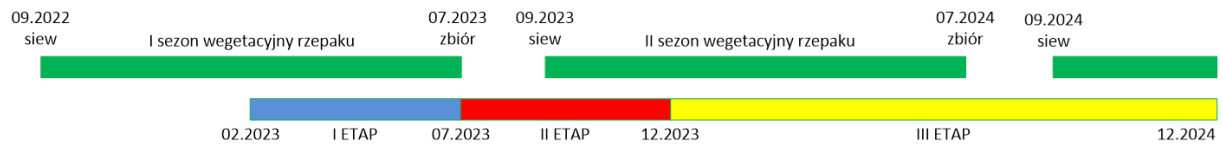


Realizacja projektu

Projekt pt. "Podniesienie jakości i efektywności produkcji rzepaku i miodu oraz zapewnienie bezpieczeństwa pszczół na plantacji poprzez zastosowanie innowacyjnej, opartej na metodach sztucznej inteligencji, technologii monitorowania stanu plantacji, wnioskowania i selektywnej aplikacji środków ochrony roślin" realizowany jest w trzech etapach. Na rys. 1 pokazano przyjęte czasy trwania poszczególnych etapów operacji na tle okresów wegetacyjnych plantacji rzepaku.



Rys. 1. Etapy projektu i sezony wegetacyjne rzepaku

Obecnie zrealizowany został I etap operacji, którego przebieg i rezultaty przedstawiono poniżej.

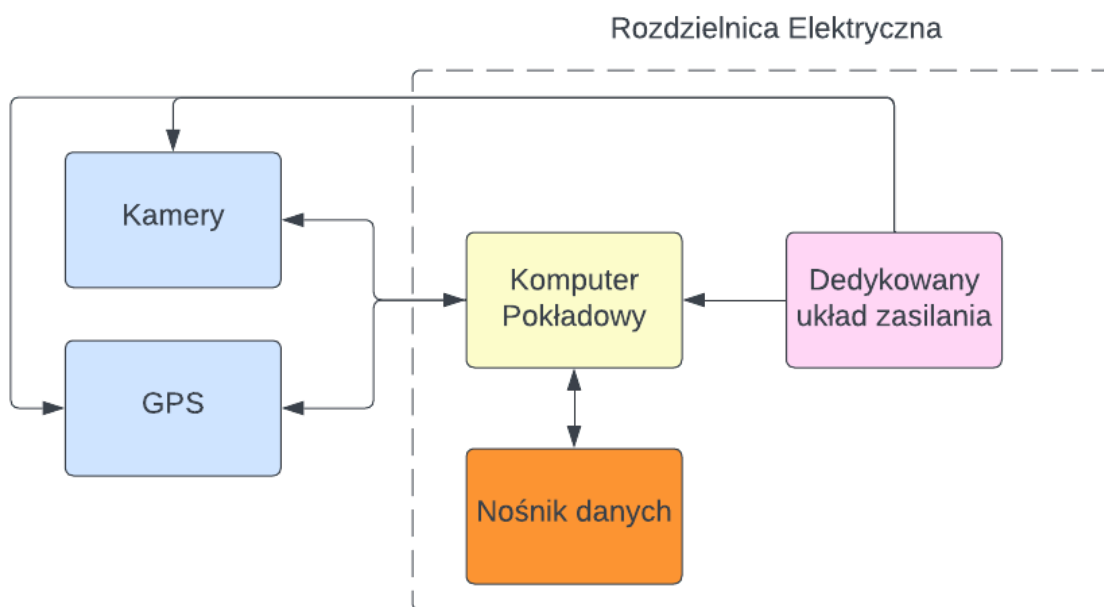
ETAP I (wg harmonogramu luty – czerwiec 2023r, w rzeczywistości maj – czerwiec 2023r)

Zgodnie z zakresem prac, przewidzianym do realizacji w I etapie operacji, zaprojektowano i wykonano część badawczą instalacji prototypowej przeznaczonej do akwizycji danych polowych - obrazów wysokiej rozdzielczości - na rzeczywistej plantacji rzepaku.

W tym celu, przede wszystkim oszacowano zapotrzebowanie na moc obliczeniową układów mikroprocesorowych do rejestracji i przetwarzania danych (komputera przemysłowego), pochodzących z kilku kamer rejestrujących obrazy plantacji oraz sygnału pozycji (GPS). Na tej podstawie dokonano doboru struktury układów przetwarzających i w rezultacie zdecydowano o zastosowaniu następującego oprzyrządowania:

- komputer pokładowy Jetson AGX Orin 32GB
- kamery GoPro Hero 11 - 4 sztuki
- dodatkowy odbiornik GPS
- połączenia i rozdzielnik USB
- przenośny ekran i urządzenia wejściowe
- dodatkowe pamięci i dyski twarde
- inne drobne elementy i okablowanie
- hermetyczna rozdzielnica elektryczna (Klasa ochrony IP66) zabezpieczająca sprzęt przed działaniem czynników atmosferycznych
- Oprzyrządowanie wchodzące w skład układu zasilania (złącza elektryczne, przepusty kablowe, przetwornice napięcia, bezpieczniki topikowe wraz z gniazdami montażowymi itp.)

Schemat układu do współpracy z kamerami rejestracji danych polowych przedstawiono na rys. 2.



Rys 2. Schemat układu do współpracy z kamerami rejestracji danych polowych.

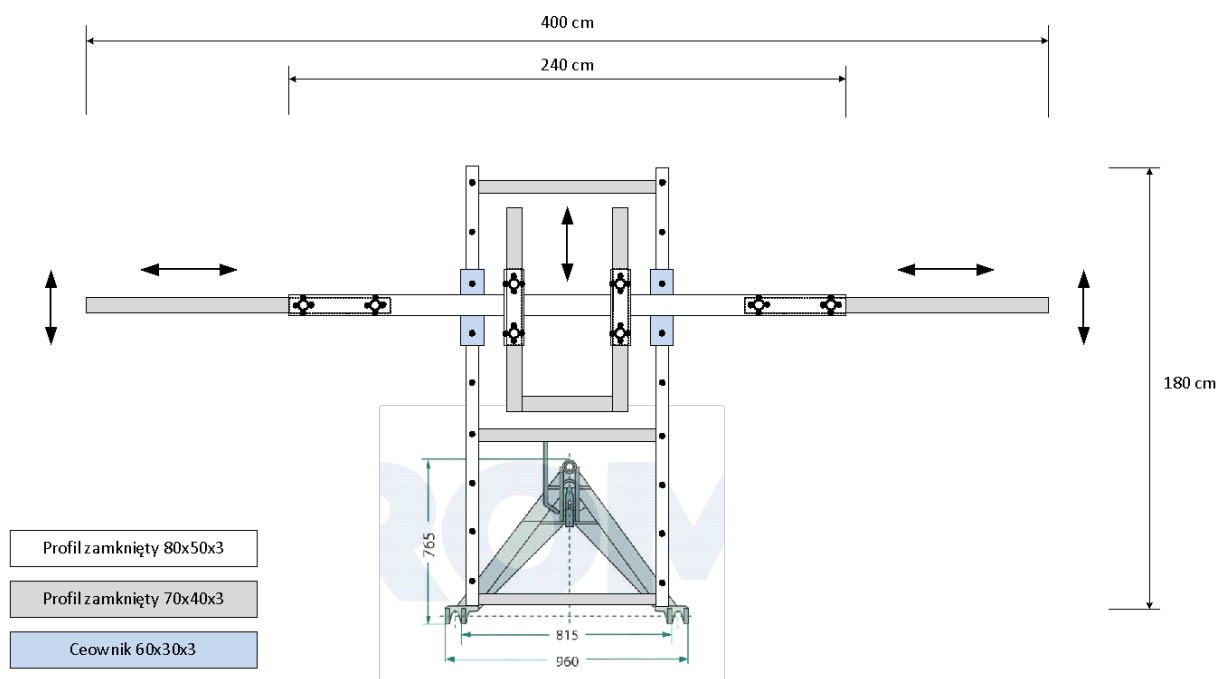
Od strony sprzętowej, instalację stanowi zestaw kamer, opcjonalne doświetlenie oraz serwer obliczeniowy do rejestracji i równoległego przetwarzania danych, antena i odbiornik GPS, zasilacze oraz elementy pomocnicze (montowane w hermetycznej skrzynce).

Część sprzętowa układu akwizycji danych została uzupełniona dedykowanym programem, przygotowanym w języku python, który automatycznie dostosowywał parametry kamery (m.in. gain, czas ekspozycji) oraz wykonywał maksymalnie ok. 10 zdjęć na sekundę, zapisywane na przenośne nośniki danych. Jednocześnie program ten zbierał dane od GPS i zapisywał lokalizację wykonywanych zdjęć.

Dzięki zebranych danym mogła zostać wykonana wstępna wersja interaktywnej mapy, dzięki której mogliśmy zwizualizować położenie wykonanych zdjęć. Mapa ta będzie potrzebna do wizualizacji zagęszczenia szkodników rzepaku w dalszych etapach projektu.

Interaktywna mapa znajduje się pod linkiem: <http://beesmart.pwr.edu.pl/mapy/geocoordinate/>

Jednocześnie zaprojektowano stelaż (Rys. 3) do montażu kamer wraz z układami sterowania, akwizycji danych oraz opcjonalnego doświetlenia. Całość stanowi regulowana w dwóch płaszczyznach belka, montowana na przednim TUZ-ie traktora rolniczego.



Rys. 3. Układ do montażu kamer do zawieszenia na przednim TUZ-ie traktora.

Ze względu na znacznie skrócony czas etapu (przyczyna niezależna od wykonawców projektu) i związane z tym opóźnienia w dostawach zakupionych urządzeń i elementów, wykonana instalacja miała charakter przejściowy i uproszczony w odniesieniu do ww opisanego docelowego i była częściowo oparta na podzespołach aktualnie dostępnych w GR1 (traktor rolniczy, elementy mechaniczne do zawieszenia kamer) i Politechnice Wrocławskiej (okablowanie, drobne elementy elektroniczne). Instalacja docelowa (w pełni zgodna z powyższym opisem) stosowana będzie w badaniach jesiennych (etap 2). Stan ten podyktowany był bezwzględną koniecznością przeprowadzenia badań polowych, ze względu na mijający okres występowania szkodników jak również pszczoł. Poniżej zdjęcia z prowadzonych badań polowych. Te i inne zdjęcia z projektu są na stronie <http://beesmart.pwr.edu.pl/galeria.html>



Zdjęcie 1. Pierwsze uruchomienie instalacji badawczej (Z. Malecha)



Zdjęcie 2. Kalibracja oraz korekcja ustawienia kamer (Z. Malecha, K. Ożarowski)



Zdjęcie 3. Część systemu akwizycji danych (K. Tomczuk)



Zdjęcie 4. Traktor z zamocowanymi tymczasowo kamerami (K. Tomczuk, K. Ożarowski)



Zdjęcie 5. Pakiet kamer (K. Tomczuk, K. Ożarowski)



Zdjęcie 6. Podgląd zdjęć w czasie rzeczywistym (K. Ożarowski)



Zdjęcie 7. Rejestracja danych - przejazd ścieżkami technologicznymi (K. Tomczuk, K. Ożarowski)



Zdjęcie 8. Rejestracja danych - przejazd ścieżkami technologicznymi (K. Tomczuk, K. Ożarowski)



Zdjęcie 9. Rejestracja danych - przejazd ścieżkami technologicznymi (K. Tomczuk, K. Ożarowski)

W ramach badań polowych, jakie przeprowadzono na plantacjach rzepaku w GR1 i GR2 w dniach 24-30 kwietnia 2023r kiedy to zaobserwowano nalot słodyszka rzepakowego, uzyskano dane polowe w postaci zdjęć o wysokiej rozdzielczości. Ponadto, na bieżąco rejestrowano również pszczoły, pochodzące z pobliskiej pasieki. Badania te polegały na wielokrotnych przejazdach ścieżkami technologicznymi plantacji rzepaku traktorem rolniczym wyposażonym w kamery, zamontowane na tymczasowym uchwycie przymocowanym do przedniego układu zawieszenia (TUZ) lub kabiny traktora oraz system komputerowy do rejestracji danych polowych i układ lokalizacji GPS (umieszczone również tymczasowo wewnątrz kabiny traktora). Przykładowe obrazy zawierające obiekty podlegające w kolejnym etapie projektu rozpoznawaniu (słodyszek i pszczoła), pokazano poniżej.



Zdjęcie 10. Dane polowe - stodyszek w pąkach rzepaku



Zdjęcie 11. Dane polowe - stodyszek w pąkach rzepaku



Zdjęcie 12. Dane polowe - stodyszek w pąkach rzepaku



Zdjęcie 13. Dane polowe - stodyszek w pąkach rzepaku



Zdjęcie 14. Dane polowe - słodyszek w pąkach i kwiatach rzepaku



Zdjęcie 15. Dane polowe - słodyszek w pąkach i kwiatach rzepaku



Zdjęcie 16. Dane polowe - stodyszek w pąkach rzepaku



Zdjęcie 17. Dane polowe - pszczoła w kwiatach rzepaku



Zdjęcie 18. Dane polowe - pszczoła w kwiatach rzepaku

Dane te stanowią zbiór uczący dla przygotowywanych sieci neuronowych (etap 2 projektu), na których oparta będzie technika identyfikacji i rozpoznawania obiektów (szkodników i pszczoł).

W etapie 1 prac projektowych zaplanowano również przeprowadzenie pomiarów zasobności gleb, przeznaczonych do prac eksperymentalnych w dwóch gospodarstwach rolnych, których celem jest dokonanie wyrównania zasobności gleb poprzez selektywną aplikację polową nawozów oraz wapna z użyciem kontroli dawki przez GPS i uprzednio przygotowane mapy nawożenia. Zadanie to zostało przesunięte na etap 2 operacji (aneks do umowy) z powodu opóźnienia rozpoczęcia projektu względem zaakceptowanego harmonogramu prac. W rezultacie do dyspozycji wykonawców projektu na wykonanie ww zadania były wyłącznie miesiące maj i czerwiec, które stanowią skrajnie niekorzystny okres na pobieranie próbek glebowych.

Wstępny dobór metod i algorytmów rozpoznawania szkodników

Opracowano także wstępnie koncepcję algorytmu rozpoznawania obiektów, która w dalszych etapach projektu posłuży do opracowania metod rozpoznawania przez komputer pokładowy szkodników w czasie rzeczywistym za pomocą sieci neuronowych.

Wstępne wymagania postawione algorytmowi rozpoznawania obiektów:

- poprawność działania wobec małych obiektów – obiekty rozpoznawane są małe, np. słodyszki rzepakowe mogą mieć tylko kilka pikseli szerokości, przy zastosowaniu obecnego sprzętu
- wysoka prędkość detekcji obiektów – docelowy system będzie oparty na komputerze, który znajdować będzie się na ciągniku rolniczym. Wspomniany system potencjalnie będzie musiał przeprowadzić pełny algorytm detekcji obrazu przynajmniej raz na kilka sekund, być może z więcej niż jednej kamery
- dokładność rozpoznawania jest mniej kluczowa – konsekwencje niedokładnego rozpoznania lub braku rozpoznania pojedynczego owada nie są bardzo kosztowne. Jeżeli ilość rozpoznawanych obiektów jest dobrze skorelowana z ilością rzeczywistych obiektów system jest w stanie użytecznie dostosowywać oprysk.

Niektóre z najpopularniejszych architektur używanych w praktycznych zastosowaniach do detekcji obiektów to: Fast R-CNN, Faster R-CNN, Single Shot Detector (SSD), YOLO (You Only Look Once). Spośród nich YOLO najbardziej charakteryzuje się stawianymi wymaganiami. Architektura jest najszybsza pod względem szybkości rozpoznawania, cechuje się dostatecznie dobrym działaniem dla małych obiektów (szczególnie wersja v3 i dalsze) i choć nie jest najdokładniejszym algorytmem to działa satysfakcjonująco dokładnie.

W trakcie pierwszego etapu projektu został wykonany wstępny test rozpoznawania obiektów, mający na celu przetestowanie szybkości i niezawodności działania całego systemu, szczególnie komputera pokładowego, a także m. in. zasilania w warunkach polowych. Prędkość detekcji będzie szczególnie istotna przy rozpoznawaniu docelowych obiektów - szkodników rzepaku w czasie rzeczywistym. Test został wykonany na szczególnie prostych do rozpoznawania obiektach - dziurach w ziemi i w liściach. Zastosowano zmodyfikowaną architekturę YOLOv3, a w efekcie uzyskano satysfakcjonujące wstępne rezultaty. Na zdjęciu 19. widnieją przykładowe wyniki testu rozpoznawania obiektów (dziury w ziemi i w liściach) przy użyciu komputera pokładowego Jetson. Zdjęcie do testu pochodzi ze zbioru testowego (nie widzianego wcześniej przez sieci neuronowe) z zaznaczonymi rozpoznanymi obiektami i prawdopodobieństwami że rozpoznany obiekt rzeczywiście tam jest.



Zdjęcie 19. Przykładowy wynik testu rozpoznawania obiektów

Podsumowanie

W ramach etapu 1 operacji, mimo znacznie ograniczonego czasu (ok. 2 miesiące), osiągnięto jej główny cel – zebrano dane polowe w postaci ok. 3200 użytecznych zdjęć wysokiej rozdzielczości (spośród ok. 218400 zarejestrowanych), zawierających obiekty podlegające w dalszym etapie prac rozpoznawaniu (słodyszek rzepakowy i pszczoła).

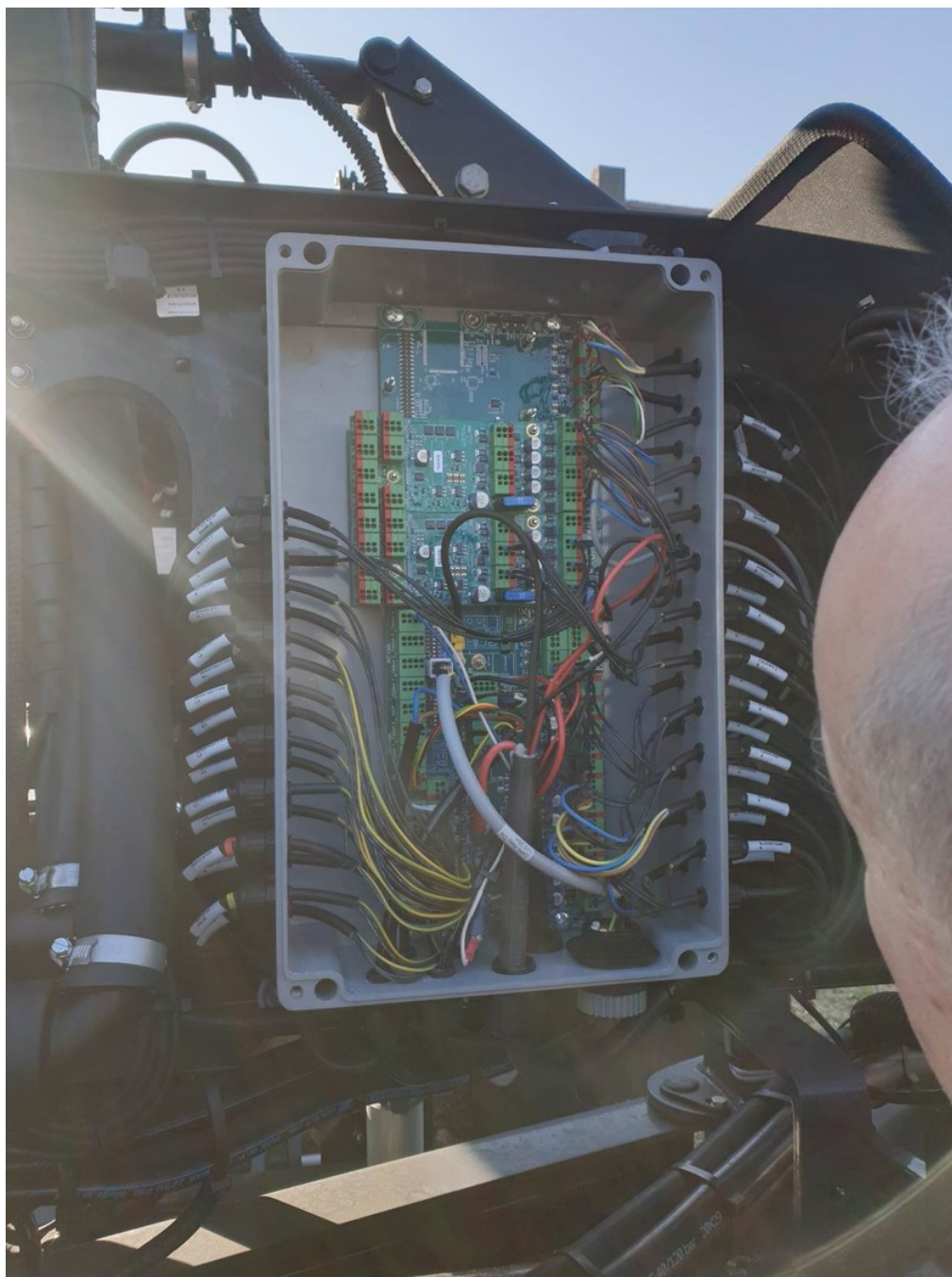
Jednocześnie przetestowano i zweryfikowano pozytywnie, zaprojektowany i zbudowany do tego zadania system badawczy akwizycji danych polowych, jak również jego aplikację z traktorem rolniczym. Rejestracje polowe - przejazdy ścieżkami technologicznymi plantacji rzepaku, analogicznie jak podczas oprysków – sprawdziły się jako metoda zbierania danych, co pozwala postawić hipotezę, że również podczas weryfikacji docelowego systemu selektywnego zwalczania szkodników (etap 2 i 3 operacji) rejestrowane i przetwarzane w czasie rzeczywistym dane polowe będą wystarczająco dobrej jakości dla zapewnienia poprawnego rozpoznawania obiektów.

W zrealizowanym etapie 1 operacji, dokonano również, niezbędnych do jej wykonania, zakupów urządzeń i elementów – niektóre z nich dotarły z opóźnieniem w odniesieniu do krytycznych terminów rejestracji polowych ale nie wpłynęło to na zakres wykonanych prac ani ich jakość. Kluczowe okazały się tutaj komponenty elektroniczne (m.in. kamery i komputer rejestrujący), które wykonawcy otrzymali na czas. Pozostałe elementy systemu udało się tymczasowo zastąpić/wypożyczyć dostępnymi w GR1 i Politechnice Wrocławskiej.

Zgodnie z zaplanowanym zestawieniem rzeczowo-finansowym operacji, zakupiono na potrzeby projektu ciągnik rolniczy, opryskiwacz polowy (zdjęcie poniżej), miernik wilgotności, olej napędowy a także niezbędną do wykonania I etapu część elementów do budowy prototypu instalacji do badań polowych i systemu kontrolno-pomiarowego. Ze względu na znacznie skrócony czas trwania etapu 1 zawnioskowano do ARiMR o przeniesienie pozostałych zakupów, głównie do budowy prototypu systemu kontrolno-pomiarowego, do etapu II operacji.



Zdjęcie 17. Odbiór traktora i opryskiwacza w firmie Osadkowski SA połączony z konsultacjami merytorycznymi. Od prawej: Z. Malecha (kierownik projektu, Politechnika Wrocławska), K. Trybała (dyrektor firmy Osadkowski SA, Oddział w Świdnicy), A. Jędrusyna (Politechnika Wrocławska), R. Siemasz (Politechnika Wrocławska), Ł. Karpiński (kierownik ds. Rolnictwa Precyzyjnego, Osadkowski SA), K. Tomczuk (GR1, niewidoczny, fotoreporter)



Zdjęcie 18. Układ sterujący selektywnym działaniem elektrozaworów zakupionego opryskiwacza (A. Jędrusyna, R. Siemasz)