

## Modułowy system wizyjny do autonomicznych inspekcji i oprysków sadowniczych

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano modułowy system wizyjny jako element prototypu autonomicznego opryskiwacza sadowniczego. Ma on na celu inspekcję drzew i liści oraz wyznaczenie sygnału sterującego dyszami opryskiwacza, które w odpowiednich strefach wysokościowych dokonują selektywnego oprysku drzew. Pozwala to na zmniejszenie użycia środków ochrony roślin, a w efekcie ich szkodliwości. Zdalnie sterowana, a docelowo autonomiczna praca zespołu opryskiwacza, ma na celu minimalizację uciążliwości pracy operatora i uniknięcie sytuacji zagrażających bezpieczeństwu pracy.

**Abstract.** The paper presents a modular vision system as an element of a prototype of an autonomous orchard sprayer. Its purpose is to inspect trees and leaves and to determine the signal that controls the sprayer nozzles and performs selective spraying of trees in appropriate height zones. This allows a reduction in the use of plant protection products. The remotely controlled and finally autonomous operation of the sprayer unit is aimed at minimizing the harmfulness of the operator's work and avoiding situations that threaten the work safety. (Modular vision system for autonomous inspections and orchard spraying)

**Słowa kluczowe:** pojazd autonomiczny, zdalne sterowanie, system wizyjny, opryskiwacz.

**Keywords:** autonomous vehicle, remote control, vision system, sprayer.

### Wprowadzenie

Wraz z rozwojem techniki pozwalającej na przesyłanie i przetwarzanie coraz większego wolumenu danych, przetwarzanie obrazów oraz sygnałów wideo stało się ważną częścią wielu systemów sterowania. Systemy automatyczne są w stanie swoją wydajnością i dokładnością przetwarzania obrazów przewyższyć zdolność człowieka w obszarach, w których występuje ograniczona liczba scenariuszy, przypadków, w których można precyzyjnie określić reguły działania. W tych obszarach dobre i bardzo dobre rezultaty uzyskują rozwiązania wykorzystujące sztuczną inteligencję. Z kolei w zastosowaniach, w których zbiory zawierające obiekty, ich kształty, cechy, relacje, są otwarte, a dodatkowo występuje zmienność warunków rejestracji obrazu (np. w pojazdach autonomicznych poruszających się po drogach publicznych) systemy automatyczne wciąż wymagają, do uzyskania akceptowalnej jakości rezultatów, użycia złożonych algorytmów, bardzo dużych mocy obliczeniowych lub muszą być wspomagane przez człowieka lub dodatkowe moduły, wykorzystujące inne czujniki i techniki pozyskiwania i przetwarzania informacji (tzw. systemy wielomodalne). Niemniej jednak, obszar zastosowania systemów wizyjnych pracujących w czasie rzeczywistym ciągle poszerza się.

Wydajne platformy obliczeniowe (centra obliczeniowe, komputery, sterowniki) i coraz bardziej rozbudowane algorytmy przetwarzania danych wideo umożliwiły pozyskiwanie informacji z obrazu i wykorzystanie jej w pętlach sterowania w czasie rzeczywistym (w odróżnieniu od tak zwanego przetwarzania off-line).

Automatyczne pozyskiwanie informacji z obrazów jest typowo stosowane m.in. w monitoringu (wykrywanie i liczenie osób, rozpoznawanie twarzy), przemysłowych systemach wizyjnych (kontrola jakości, liczenie obiektów, sterowanie w produkcji), a także w branży motoryzacyjnej (wykrywanie znaków, sytuacji niebezpiecznych, jazdy autonomicznej) [1, 2]. Coraz więcej tego typu rozwiązań trafia także do branży rolniczej. Jest to najczęściej zdalne sterowanie ciągników i maszyn rolniczych, praca autonomiczna, selektywny siew, oprysk drzew, itp. [3, 4, 5, 6].

W niniejszej pracy zaprezentowano system wizyjny jako element prototypu autonomicznego opryskiwacza sadowniczego. Skuteczna ochrona przed chorobami drzew sadowniczych polega głównie na ochronie zapobiegawczej,

już od wczesnej wiosny, przrastającej tkanki zielonej liści, która jest szczególnie podatna na infekcje (choroby, szkodniki). Aby ich uniknąć należy przed spodziewanym wystąpieniem infekcji lub po wykryciu szkodników, dokładnie pokryć powierzchnię liści środkiem ochrony roślin.

Prezentowany system wizyjny ma na celu głównie inspekcję drzew i liści, a na jej podstawie wyznaczenie sygnału sterującego dyszami opryskiwacza, które w odpowiednich strefach wysokościowych dokonują oprysku. Selektowne dozowanie środka ochrony roślin pozwoli na precyzyjne pokrycie liści, a równocześnie zmniejszy jego użycie. Z kolei zdalnie sterowana, a docelowo autonomiczna praca całego zespołu ciągnika i opryskiwacza ma na celu minimalizację szkodliwości pracy operatora i uniknięcie sytuacji zagrażających bezpieczeństwu.

Dodatkowo, spełnienie wymagań prawnych skutkujących dopuszczeniem pojazdu autonomicznego do użytkowania na obiekcie zamkniętym (jakim jest plantacja sadownicza) wydaje się dużo mniej skomplikowane niż w przypadku dopuszczenia samochodu autonomicznego do poruszania po drogach publicznych [7].

### Automatyczny opryskiwacz z systemem wizyjnym

W ramach wyodrębnionego etapu prac przy projekcie automatyzacji oprysków sadowniczych, realizowanych w Zakładzie Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów Instytutu Automatyki i Robotyki, na Wydziale Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki Politechniki Poznańskiej został opracowany podsystem automatycznego opryskiwacza sadowniczego, w skład którego wchodzi system wizyjny i sterowane elementy wykonawcze [8]. Głównym celem całego projektu jest wykazanie, że jest możliwe zautomatyzowanie oprysku drzew, co pozwoli na minimalizację szkodliwości tego zabiegu zarówno dla środowiska, jak i dla operatora. Równocześnie spodziewane jest zwiększenie jakości oprysku, przy równoczesnym zmniejszeniu użycia środków ochrony roślin. Dodatkowym założeniem projektu, które odróżnia go od najczęściej spotykanych specjalizowanych rozwiązań [4, 5, 6] jest opracowanie systemu bazującego na już istniejących, manualnie sterowanych ciągnikach i opryskiwaczach, co ma znacząco zredukować koszty i ułatwić wdrożenie przez sadowników.

Do sterowania opryskiwaczem zaprojektowano, zrealizowano oraz przetestowano dedykowany układ, w którym kluczową rolę pełni system wizyjny (rys. 1a i 1b).

Pierwszy etap prac polegał na opracowaniu bazy rzeczywistych nagrań wideo z przejazdów po plantacji sadowniczej. Pozwoliły one na realizację drugiego etapu, którym było przygotowanie, wykonanie, a następnie strojenie algorytmów systemu wizyjnego. Kolejny etap obejmował mechaniczną modernizację opryskiwacza w celu przystosowania jego układu hydrauliki do automatycznego sterowania. Dlatego zaprojektowano i wykonano pionową przystawkę sadowniczą z pięcioma dyszami, przez które pod ciśnieniem następuje wylot oprysku (cieczy ze środkiem ochrony roślin) pokrywającego powierzchnię drzew (rys. 1c). Trzeci etap prac polegał na integracji mechanizmów umożliwiających manualne prowadzenie ciągnika sadowniczego przez kierowcę lub przeszkolonego operatora z systemem bezprzewodowej automatyki. System ten umożliwia zdalne prowadzenie pojazdu i został zrealizowany na podstawie systemu sterowania przeznaczonego dla pojazdu autonomicznego [8]. Ostatnim etapem było testowanie i optymalizacja działania całego systemu.

### System wizyjny

Schemat blokowy systemu wizyjnego autonomicznego opryskiwacza sadowniczego przedstawia rysunek 2. Opracowany system składa się z dwóch sekcji: sterowania opryskiem oraz sterowania ruchem pojazdu. W obu sekcjach źródłami informacji są obrazy rejestrowane przez kamery wideo. Kamery te są umieszczone odpowiednio po bokach oraz czołowo na przodzie ciągnika.



(b)

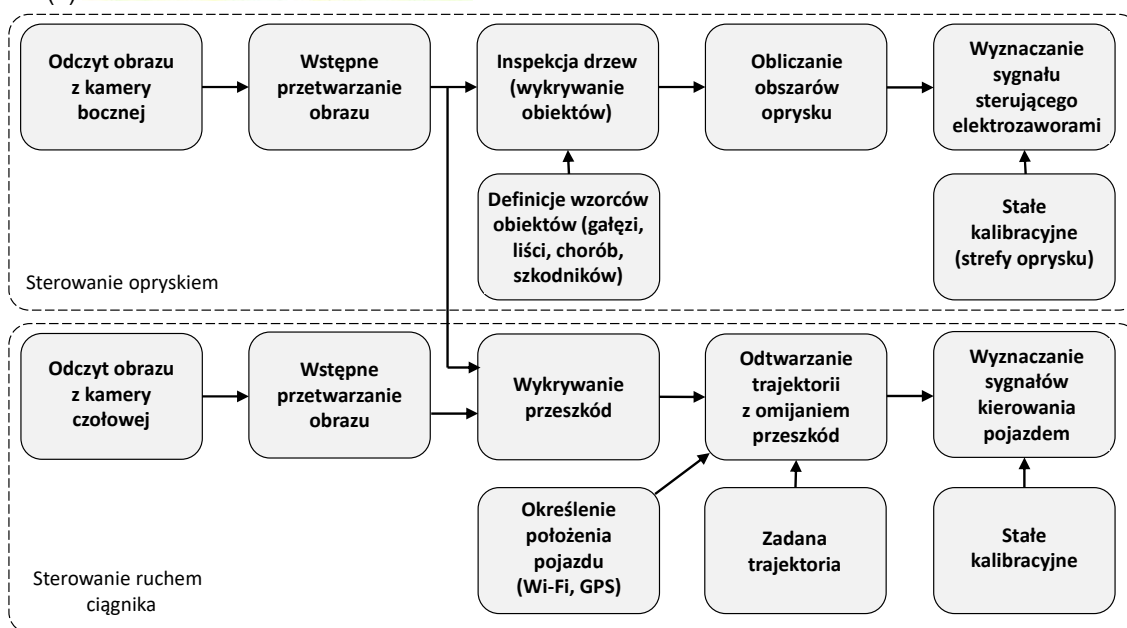


(c)



(a)

Rys. 1. Automatyczny opryskiwacz sadowniczy: (a) widoczna kamera czołowa przymocowana do maski ciągnika rolniczego, (b) widoczna kamera boczna przymocowana do kabiny ciągnika rolniczego, (c) zmodernizowany opryskiwacz wyposażony w zespoły sterowanych dysz



Rys. 2. Schemat blokowy systemu wizyjnego autonomicznego opryskiwacza sadowniczego

### Sekcja sterowania opryskiem

W sekcji sterowania opryskiem, po wstępnym przetworzeniu obrazu z kamery bocznej (filtracja, redukcja obszaru przetwarzania), następuje etap wykrywania obiektów – gałęzi drzew na plantacji. Ponieważ oprysk jest wykonywany w czasie, gdy drzewo ma liście, można więc przyjąć, że obszary występowania liści są jednocześnie obszarami, które należy wykryć. Kamery ustawiono tak, aby liście widoczne były na tle nieba (por. rys. 5). W ten sposób, korzystając z dużego kontrastu barwnego, za pomocą analizy przestrzeni kolorów można dokonać wykrycia obiektów. Ze względu na nieregularne położenie liści, zmienną wielkość, a także słabo zarysowane kształty, inne algorytmy wykrywania obiektów, np. na podstawie wzorców nie dawały satysfakcjonujących rezultatów.

Po wykryciu obszarów występowania gałęzi z liśćmi następuje etap obliczenia wysokości i położenia gałęzi. Następnie, z wykorzystaniem stałych kalibracyjnych, wyznaczany jest sygnał sterujący elektrozaworami dysz opryskiwacza. Momenty otwarcia elektrozaworów wynikają z jednej strony z położenia drzewa (tu dodatkowo należy uwzględnić odległość pomiędzy kamerą a dyszami opryskiwacza oraz prędkość ciągnika), z drugiej zaś strony, z wysokości drzewa. W idealnym przypadku dysze powinny opryskiwać tylko znajdujące się przed nimi liście, a nie powinny opryskiwać przestrzeni pomiędzy gałęziami i drzewami.

### Sekcja sterowania ruchem ciągnika

Wstępne założenia i sposób realizacji sterowania ruchem ciągnika wyposażonego w opryskiwacz omówiono w pracy [8]. Praca takiego zespołu odbywa się z reguły na zamkniętych terenach takich jak plantacje sadownicze lub winnice, gdzie nie występuje ruch przypadkowych pieszych, a ryzyko kolizji z innym pojazdem w trakcie wykonywania przejazdów jest minimalne. Dodatkowo, ciągnik rolniczy z opryskiwaczem, podczas oprysku z reguły porusza się według stałej trasy. W związku z tymi założeniami przyjęto, że układ sterowania będzie odtwarzać zadaną trajektorię. Do realizacji tego zadania potrzebna jest dodatkowa informacja o lokalizacji obiektu sterowanego. Typowo do określenia położenia maszyn rolniczych stosuje się system GPS, a w przypadku wysokich wymagań dotyczących

dokładności wspomaga się go technikami laserowego pomiaru odległości i/lub odometrią [4, 5, 6]. W projektowanym przez autorów rozwiązaniu informacja o położeniu obiektu sterowanego pochodzi z dwóch systemów lokacji: globalnego – GPS i lokalnego, zbudowanego z anten sieci Wi-Fi [8].

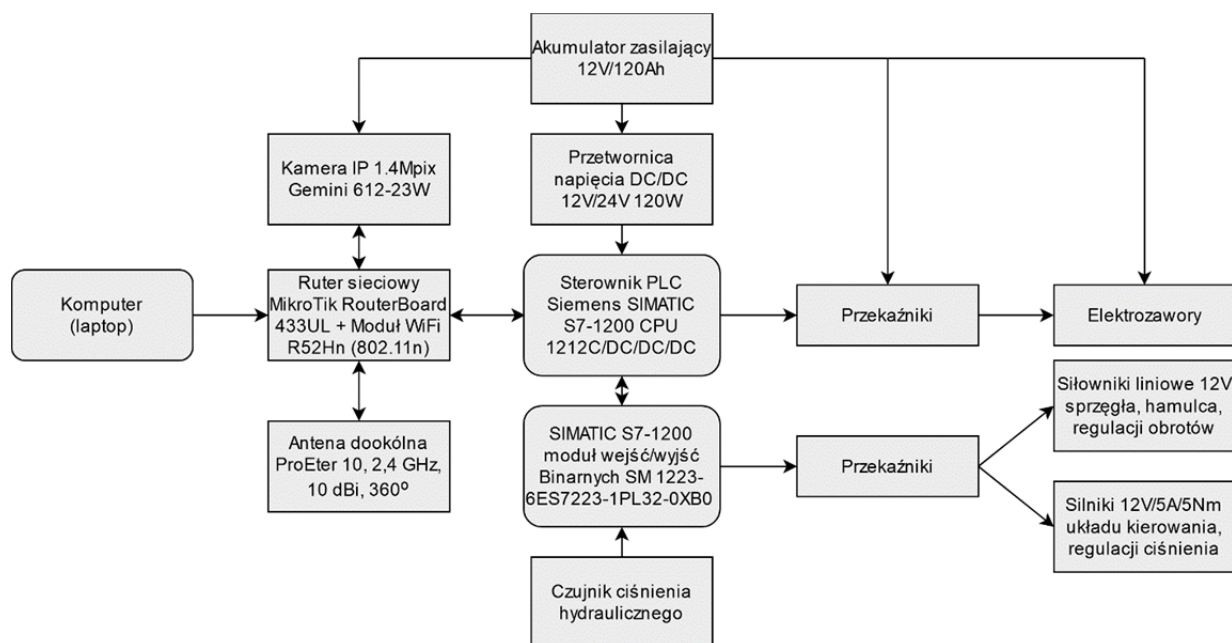
Ostatecznie, w prezentowanym rozwiązaniu system wizyjny pełni tylko rolę wspomagającą sterowanie ruchem ciągnika. W celu zwiększenia bezpieczeństwa systemu, w sekcji sterowania ruchem ciągnika, wykrywane są przeszkody, a informacja o nich jest przekazywana do bloku odtwarzania trajektorii z ich omijaniem. Przeszkodą może być inny pojazd na plantacji, zwalona gałąź, pozostawiony przedmiot, ale także człowiek. Ominięcie przeszkody lub, w przypadku braku miejsca, zatrzymanie ciągnika pomaga uniknąć wypadków i uszkodzeń sprzętu. Blok ten aktualnie jest na etapie założeń projektowych, w tym określenia cech wykrywanych przeszkód.

Oprócz trybu pracy w pełni autonomicznej, autorzy przewidzieli także tryb pracy zdalnej. W tym trybie operator, z bezpiecznej odległości, obserwuje na monitorze obraz przekazany za pomocą sieci bezprzewodowej z kamery umieszczonej z przodu ciągnika i zdalnie (również za pomocą sieci bezprzewodowej) w razie potrzeby dodatkowo steruje jego ruchem. Możliwe jest więc ręczne wprowadzanie korekt do trajektorii, a także trenowanie oraz testowanie systemu.

### Realizacja techniczna

W celu przeprowadzenia testów zmodernizowano ciągnik sadowniczy, umożliwiając jego sterowanie za pomocą sygnałów elektrycznych. Dodano układ wspomagający kierowanie oraz wykonano sprzęgła, które przenoszą moment obrotowy z silników wykonawczych układu automatyki na obiekty sterowane. Elementy wykonawcze umożliwiają sterowanie skrzemem kół, prędkością obrotową silnika oraz mechanizmami sprzęgła i hamulca.

Schemat blokowy systemu sterowania w ciągniku sadowniczym z automatycznym opryskiwaczem przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat blokowy systemu sterowania w ciągniku sadowniczym z automatycznym opryskiwaczem

Pracą elementów wykonawczych, a także odczytem informacji zwrotnych z czujników steruje sterownik przemysłowy klasy PLC S7-1200 firmy Siemens z dodatkowym modułem rozszerzającym liczbę wejść i wyjść cyfrowych [9]. Na ciągniku została zamontowana antena do komunikacji bezprzewodowej i lokalizacji oraz kamery systemu wizyjnego (por. rys. 1a). Kamery te umożliwiają zarówno zdalne prowadzenie pojazdu po obszarze plantacji sadowniczej, wspomaganie jazdy autonomicznej, jak i stanowią źródło informacji dla systemu sterowania opryskiwaczem. Sterownik PLC S7-1200 oraz kamery, komunikują się z nadrzędnym systemem sterowania za pomocą sieci bezprzewodowej w standardzie IEEE 802.11n (Wi-Fi). Komunikację obsługuje zamontowany na pojeździe routera sieciowy MikroTik 433UL (moduł z kartą rozszerzeń zawierającą układy do komunikacji bezprzewodowej (moduł R52Hn) [10, 11].

Układy elektryczne i elektroniczne ciągnika sadowniczego oraz opryskiwacza są zasilane z akumulatora 12V/120Ah, będącego na wyposażeniu ciągnika.

Modernizacji mechanicznej wymagał także opryskiwacz sadowniczy poprzez dołączenie prototypowej przystawki (rys. 1b) z rozmieszczonymi w pionie dyszami, której hydrauliczna gałąź doprowadzająca oprysk do dysz została uzbrojona w elektrozawory. Elektrozawory rozdzielają trzy ostatnie dysze wylotowe prototypowej przystawki pionowej. Uaktywnienie kolejnych dysz jest zależne od wysokości drzew wyznaczonej przez algorytm systemu wizyjnego. Układ hydrauliki wyposażony został w silnik elektryczny sprzęgnięty z mechanizmem regulacji ciśnienia opryskiwacza. Sprzęg ten umożliwił regulację ciśnienia w układzie hydraulicznym opryskiwacza w zależności od liczby uaktywnianych dysz na prototypowej przystawce sadowniczej. Przewidziano również sytuację, w której brakuje w rzędzie sadowniczym drzew lub odległość pomiędzy gałęziami jest większa, co powinno zamknąć wszystkie dysze opryskiwacza. Wówczas dodatkowe elektrozawory zmieniają kierunek wypływu oprysku kierując go zwrótnie do zbiornika opryskiwacza.

### Zdalne sterowanie

Podczas testów ruchu ciągnika sadowniczego i automatycznego oprysku w środowisku rzeczywistym (na plantacji sadowniczej) wykorzystywano wariant zdalnego sterowania. Opracowano nadrzędny system zdalnego sterowania działający na platformie PC. Program sterujący napisano w języku C# w środowisku Visual Studio (rys. 4). Nadrzędny system sterowania posiada zaimplementowaną funkcję bezpieczeństwa, która w przypadku utraty łączności z pojazdem bezzwłocznie zatrzymuje ciągnik oraz wstrzymuje pracę opryskiwacza. Poza tym aplikacja umożliwia zdalne prowadzenie ciągnika oraz odbiór i wyświetlenie obrazu z kamer [8].



Rys. 4. Aplikacja sterująca zdalnie ciągnikiem sadowniczym wraz z automatycznym opryskiwaczem

Priorytetem podczas testów było zapewnienie bezpieczeństwa ludzi oraz spełnianie wymogów prawnych zawartych w dyrektywach maszynowych. W tym celu pojazd został dodatkowo wyposażony w przewodowy panel kontrolny umożliwiający bezzwłoczne zatrzymanie, np. w sytuacji awaryjnej.

### Implementacja algorytmu wizyjnego

Sygnał wizyjny z kamer IP 1.4Mpix Gemini 612-23W przetwarzany jest przez algorytm wizyjny zaimplementowany w środowisku Visual Studio 2019 w języku C#. Odczyt i dekodowanie sygnału wizyjnego realizuje dedykowana biblioteka do przetwarzania obrazów Emgu.CV-4.4.0 [12]. Algorytm wizyjny przetwarza kolejne klatki sekwencji wideo z kamery realizując etapy przedstawione na rysunku 2. Przy wyznaczaniu wysokości gałęzi obraz programowo podzielony został na 4 strefy. W zależności od położenia obiektów wykrywanych w danej strefie następuje ustawienie odpowiednich zmiennych. Zmienne te są następnie przekazywane do sterownika PLC Siemens S7-1200 jako sygnały wejściowe i przetwarzane przez program napisany w języku drabinkowym LAD. Program ten uaktywnia odpowiednie wyjścia uruchamiające za pośrednictwem przełączników elektrozawory dysz opryskiwacza [13]. Aplikacja uzyskuje dostęp do sterownika dzięki wykorzystaniu dedykowanej biblioteki S7.netplus, służącej do komunikacji ze sterownikiem na platformie Visual Studio.

Funkcja detekcji liści i gałęzi na bieżąco uaktualnia informacje o wysokości wykrytych drzew, ale informacje te są przekazywane do sterownika w ustawionych programowo odstępach czasu. Takie działanie jest konieczne bowiem układ elektrohydrauliczny wykazuje pewną inercję, wynikającą z czasu uaktywnienia elektrozaworów oraz czasu potrzebnego na uzyskanie na wyjściu dyszy odpowiedniego ciśnienia.

### Testy systemu wizyjnego

Istotą sprawdzenia poprawności działania systemu automatyki sterującej ciągnikiem przystosowanym do sprzęgnięcia z opryskiwaczem będzie pokrycie opryskiem całych drzew, zgodnie ze sztuką sadowniczą. Mając to na uwadze, przy opracowywaniu układu automatyki dla opryskiwacza sadowniczego przeprowadzono testy i dokonywano korekt nastaw kalibracyjnych algorytmów sterujących.

W sezonie letnim przygotowano bazę nagrań za pomocą kamer systemu wizyjnego, aby opracować i wstępnie zestroić algorytmy przetwarzania obrazu. Nie znaleziono nagrań, które mogłyby temu posłużyć, więc zdecydowano się na zrealizowanie ich samodzielnie. Nagrania wykonano podczas przejazdów ciągnika wraz z opryskiwaczem z wykorzystaniem zdalnego sterowania na doświadczalnej plantacji sadowniczej. Na plantacji tej ustawiono anteny sieci, które pokryły swoim zasięgiem obszar testów. Rozwiązanie to z jednej strony zapewniło wymaganą przepustowość transmisji sygnału wizyjnego, z drugiej pozwoliło na testy algorytmów lokalizacji badanego ciągnika.

Wykonane testy potwierdziły założenie, że możliwe jest precyzyjne wykrywanie obiektów i dokonanie dokładnego oprysku drzew (rys. 5).

Nietrywialnym zadaniem jest ocena jakości oprysku drzew. Przykładową metodą zaprezentowaną w pracy [4]: w wybranych miejscach na drzewach umieszczono arkusze papieru czulego na ciecz, który zabarwiał się proporcjonalnie do zastosowanego oprysku. Innymi metodami oceny selektywności oprysku są: pomiar zużycia środka do oprysku, a także ocena rozwoju szkodników.

Obecnie są prowadzone prace nad optymalizacją nastaw i kalibracją systemu.



Rys. 5. Wykrycie konturu drzewa w strefach 1, 2 i 3

### Możliwości rozbudowy systemu

Realizacja techniczna systemu umożliwia opcjonalną modyfikację systemu wizyjnego. W przypadku znacznych wysokości drzew sadowniczych i wąskich międzyrzędzi, w których obraz z pojedynczej kamery nie obejmuje całego drzewa, możliwe jest zastosowanie modułowego systemu wizyjnego. W skład każdego modułu wchodzić będzie kamera do inspekcji wizyjnej, element wykonawczy (elektrozawór sterujący dyszą opryskiwacza oraz elementy pośredniczące. Takie rozwiązanie zapewnia sterowanie odpowiednimi sekcjami dysz przystawki sadowniczej w celu oprysku tylko wykrytych obszarów drzewa przez przypisane do nich kamery. Opryskiwacz może być wyposażony, w zależności od potrzeb, w różną liczbę modułów.

Dodatkowo system wizyjny może realizować funkcję autonomicznej inspekcji plantacji sadowniczych (bez oprysku), zbierając informacje o zainfekowanych drzewach lub jego obszarach oraz rozpoznawać owady szkodników odławiane na pułapki feromonowe, jak i same szkodniki żerujące na plantacjach. Na rys. 6 zamieszczono przykładowe zdjęcia z inspekcji, w tym zainfekowanych liści (rys. 6a, 6b) oraz pułapek feromonowych (rys. 6c) wykonanych na eksperymentalnej plantacji w okolicach Kalisza.



(c)

Rys. 6. Zdjęcia z inspekcji plantacji sadowniczej: (a) drzewo wiśni zainfekowane chorobą grzybową, (b) drzewo gruszy zainfekowane mszycą miodówką, (c) pułapka feromonowa ze szkodnikiem nasionnicą trześniówką.

### Potencjalne korzyści z zastosowania systemu wizyjnego

W oparciu o zebrane dane numeryczne podjęto się oszacowania oszczędności wynikających z zastosowania algorytmu wizyjnego wykrywającego wysokość drzew i sterującego elektrozaworami rozdzielającymi dysze prototypowej przystawki sadowniczej. Zmierzono łączny czas otwarcia elektrozaworów względem całkowitego czasu przejazdu. Uzyskane wyniki wskazują na oszczędności w zakresie 20 – 30% ilości cieczy ze środkiem ochrony roślin, co w przeliczeniu na hektar sadu pozwala zaoszczędzić około 100 litrów.

Bazując na wykonanej przez Zakład Ekonomiki Ogrodnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie kalkulacji kosztów zabiegu ochrony 1 ha sadu jabłoniowego pozwala wywnioskować, że redukcja kosztów produkcji wynikająca z zastosowania tylko samego systemu wizyjnego autonomicznego opryskiwacza wynosić może około 500 zł (stan na II kwartał 2021r.) [14]. Natomiast w pełni autonomiczny system sterowania ciągnikiem wraz z opryskiwaczem pozwala na kolejną redukcję kosztów pracy przeszkolonego operatora w granicach 1000 zł / ha.

W celu dalszej redukcji kosztów produkcji owoców opracowywany jest znacznie bardziej zaawansowany algorytm wizyjny wykrywający infekcje drzew i szacujący powierzchnię liści do oprysku, co zwiększy precyzję dozowania oprysku. Po dopracowaniu algorytmów wykorzystujących sztuczne sieci neuronowe, system wizyjny będzie również pełnił funkcję rozpoznawania różnych chorób liści i owoców w tym przebarwień, plam oraz dziur w liściach a także rozpoznawania szkodników żerujących na pędach drzew oraz owadów na lepowych pułapkach feromonowych.

Uzyskane w ten sposób dane z monitoringu chorób i szkodników, w połączeniu z danymi sygnalizacyjnymi przekazywanymi przez stacje meteorologiczne dla danego obszaru kraju, mogą zostać wykorzystane przez dodatkowy proces decyzyjny wspomagany sztuczną inteligencją. Jego zadaniem będzie wielokryterialna analiza danych i podejmowanie decyzji o wykonaniu zabiegu ochronnego.

Na obecnym poziomie techniki możliwe jest także zbudowanie zrobotyzowanych stacji autonomicznych napełniających zbiorniki opryskiwaczy wodą oraz środkami ochrony roślin.

Przy tak rozbudowanej autonomii systemu, uciążliwość prac sadowniczych związanych z wykonywaniem zabiegów ochronnych zostaje znacząco zminimalizowana.

## Podsumowanie

Przedstawiony system wizyjny do inspekcji drzew i liści oraz sterowania opryskiwaczem jest bardzo ważnym etapem prac wchodzącym w skład opracowywanego projektu autonomicznych zabiegów ochrony roślin w sadownictwie. Zaprojektowany, wykonany i przetestowany system wizyjny pełni kluczową rolę pod względem przydatności w branży sadowniczej. Oprócz oszczędności w ilości wypryskiwanej cieczy ze środkiem ochrony roślin daje również współmierną korzyść dla środowiska, bowiem minimalizuje ilość koniecznych do zastosowania środków chemicznych. Dodatkowo, dzięki pracy zdalnej, a docelowo autonomicznej minimalizuje szkodliwość pracy dla operatora.

Zgodnie z założeniami projektu, budowa opracowanego systemu jest możliwa przy użyciu standardowych opryskiwaczy sadowniczych po wyposażeniu ich w moduły przystawek z kamerami, dyszami wylotowymi sterowanymi elektrozaworami oraz po modernizacji i zautomatyzowaniu hydraulicznych układów sterowania ciągnikiem.

W prostszym wariantcie pracy, system wizyjny steruje jedynie opryskiwaczem sadowniczym przy tradycyjnym prowadzeniu ciągnika przez przeszkolonego operatora. Aktualnie możliwe jest zdalne sterowanie odpowiednio zautomatyzowanym ciągnikiem sadowniczym za pomocą aplikacji komputerowej na podstawie obrazu przekazywanego z kamery umieszczonej na jego przodzie. Docelowo planuje się zrealizować jazdę w pełni autonomiczną, pozwalającą na odtwarzanie przyjętej trajektorii ruchu oraz samodzielną detekcję przeszkód.

W sezonie wegetacyjnym drzew sadowniczych planowane jest dokonanie nagrań i przeprowadzenie testów systemu wizyjnego w różnych warunkach oświetlenia sceny (różnych porach dnia, zachmurzeniu, itp.). Wyniki tych eksperymentów przyczynią się do udoskonalenia opracowanego algorytmu detekcji drzew do oprysku.

Praca przygotowana częściowo za pomocą subwencji badawczej a częściowo w projekcie SMART4ALL.

**Autorzy:** mgr inż. Piotr Góral, dr inż. Paweł Pawłowski, prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, Instytut Automatyki i Robotyki, Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki, Politechnika Poznańska, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań, E-mail: [piotr.ta.goral@doctorate.put.poznan.pl](mailto:piotr.ta.goral@doctorate.put.poznan.pl), [pawel.pawlowski@put.poznan.pl](mailto:pawel.pawlowski@put.poznan.pl), [adam.dabrowski@put.poznan.pl](mailto:adam.dabrowski@put.poznan.pl)

## LITERATURA

- [1] Kato S., Takeuchi E., Ishiguro Y., Ninomiya Y., Takeda K., Hamada T., An Open Approach to Autonomous Vehicles, *IEEE Micro*, vol. 35, no. 6, pp. 60-68, 2015, doi: 10.1109/MM.2015.133
- [2] Pawłowski P., Dąbrowski A., Balcerek J., Konieczka A., Piniński K., Visualization techniques to support CCTV operators of smart city services, *Multimedia Tools and Applications*, 2020, vol. 79, issue 23-30, pp. 21095-21127, doi: 10.1007/s11042-020-08895-6
- [3] Ji, B., Zhu, W., Liu, B., Ma, C., Li, X., Review of recent machine-vision technologies in agriculture. *Proc. of 2nd Int. Symp. on knowledge acquisition and modeling*, Wuhan, China, 2009, pp. 330-334
- [4] Cantelli, L.; Bonaccorso, F.; Longo, D.; Melita, C.D.; Schillaci, G.; Muscato, G. A Small Versatile Electrical Robot for Autonomous Spraying in Agriculture, *AgriEngineering*, 2019, 1, pp. 391-402. doi: 10.3390/agriengineering1030029
- [5] Bayar G., Bergerman M., Koku A. B., Konukseven E. I., Localization and control of an autonomous orchard vehicle, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, vol. 115, pp. 118-128, doi: 10.1016/j.compag.2015.05.015.
- [6] Szczepaniak J., Grzechowiak R., Wojciechowski J., Maleszka M., Radkowski S., Mączak J., Jasiński M., Field tests of an autonomous field robot for wide-row cultivation, *J. Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, 2018, vol. 64, issue 3, pp. 72-75
- [7] Haboucha C. J., Ishaq R., Shiftan Y., User preferences regarding autonomous vehicles, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, vol. 78, pp. 37-49, doi: 10.1016/j.trc.2017.01.010
- [8] Góral P., Pawłowski P., Dąbrowski A., System bezprzewodowego zdalnego sterowania dla pojazdu autonomicznego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2019, R. 95, nr 10, pp. 114-117, doi: 10.15199/48.2019.10.25
- [9] Kwaśniewski J., Sterownik SIMATIC S7-1200 w praktyce inżynierskiej, BTC, Legionowo, 2013
- [10] Materiały szkoleniowe Mikrotik MTCNA, <https://mwtc.pl/mtcna.php>, dostęp dnia 24.02.2021
- [11] Materiały szkoleniowe Mikrotik MTCWE, <https://mwtc.pl/mtcwe.php>, dostęp dnia 24.02.2021
- [12] Emgu CV Library Documentation, <https://www.emgu.com/wiki/files/4.4.0/document/html/8dee1f02-8c8a-4e37-87f4-05e10c39f27d.htm>, dostęp dnia 24.02.2021
- [13] Communication with Siemens S7 Plc with C# and S7.Net plc driver, <https://www.mesta-automation.com/siemens-s7-plc-c-s7-net-plc-driver/>, dostęp dnia 24.02.2021
- [14] <https://www.agro.basf.pl/pl/uprawy/sady/kalkulacja-kosztow-oprysku-sadu.html>, dostęp dnia 17.09.2021