

Received: 19.07.2023 / Accepted: 04.09.2023

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

## Zwalczanie chwastów z wykorzystaniem systemów wizyjnych i sztucznej inteligencji jako nowy kierunek rozwoju opryskiwaczy rolniczych

### Weed control using vision systems and artificial intelligence as a new development direction for agricultural sprayers

Sebastian Szymczyk<sup>1,2\*</sup> , Stanisław Legutko<sup>2</sup> , Michał Zawada<sup>1,2</sup> , Mateusz Nijak<sup>1,3</sup> , Jacek Wojciechowski<sup>1</sup> 

#### Streszczenie

Producenci opryskiwaczy rolniczych poszukują innowacyjnych rozwiązań pozwalających zmniejszyć ilość stosowanych środków ochrony roślin na polach uprawnych przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej skuteczności zabiegów. Zmiany prawne, czynniki ekonomiczne i świadomość rolników są głównymi elementami napędzającymi rozwój nowych rozwiązań. W najnowszych i najbardziej zaawansowanych technologicznie opryskiwaczach rolniczych wykorzystuje się systemy wizyjne, umożliwiające precyzyjne aplikowanie herbicydów tylko w miejscach występowania chwastów. Wykorzystanie algorytmów sztucznej inteligencji w tych systemach pozwala na rozszerzenie funkcjonalności opryskiwaczy, umożliwiając rozróżnienie między chwastami a uprawianymi roślinami, identyfikację rodzajów i ilości chwastów oraz generowanie map zagęszczenia chwastów, zgodnie z zasadami precyzyjnego rolnictwa. W publikacji przedstawiono najbardziej interesujące według autorów innowacyjne rozwiązania, wykorzystujące systemy wizyjne i algorytmy sztucznej inteligencji w opryskiwaczach rolniczych.

**Słowa kluczowe:** opryskiwacze rolnicze, systemy wizyjne, sztuczna inteligencja, redukcja środków ochrony roślin

#### Abstract

Manufacturers of agricultural sprayers are looking for innovative solutions to reduce the amount of crop protection products applied to crop fields while maintaining high treatment efficiency. Legal changes, economic factors and farmers' awareness are the main elements driving the development of new solutions. The latest and most technologically advanced agricultural sprayers use vision systems that allow precise application of herbicides only where weeds are present. The use of artificial intelligence algorithms in these systems makes it possible to extend the functionality of sprayers, enabling them to distinguish between weeds and cultivated plants, identify the types and amounts of weeds, and generate weed density maps, according to the principles of precision agriculture. The publication presents the most interesting innovative solutions, according to the authors, using vision systems and artificial intelligence algorithms in agricultural sprayers.

**Key words:** agriculture sprayers, vision systems, artificial intelligence, reduction of pesticides

<sup>1</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny  
Centrum Technologii Rolniczych i Spożywczych  
ul. Estkowskiego 6, 61-755 Poznań

<sup>2</sup>Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej

<sup>3</sup>Politechnika Poznańska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki  
plac Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

\*corresponding author: sebastian.szyczyk@pit.lukasiewicz.gov.pl

## Wstęp / Introduction

Zgodnie z danymi przedstawionymi w „Pesticide Atlas 2022”, rocznie w Europie używa się ponad 468 tysięcy ton środków ochrony roślin na polach, co przekłada się na średnio 2 kg na hektar obszaru uprawnego. Największa sprzedaż agrochemikaliów odnotowana została we Francji – ponad 64 tysiące ton w 2020 roku oraz we Włoszech – ponad 56 tysięcy ton. Polska natomiast sprzedała ponad 24 tysiące ton. Herbicydy stanowią największy udział wynoszący około 50% w ogólnej sprzedaży środków ochrony roślin (Tostado i Bollmohr 2022).

Zwalczanie chwastów przy użyciu herbicydów jest jedną z najczęściej stosowanych metod odchwaszczania. Wynika to z wysokiej skuteczności ich działania i łatwości stosowania. Dzięki aplikacji tych środków ochrony roślin możliwe jest osiągnięcie większych plonów przez ograniczenie konkurencyjności o składniki odżywcze niezbędne dla wzrostu i rozwoju rośliny uprawnej (Grygiel i wsp. 2012). Niemniej jednak, nadmierne i nierozważne stosowanie herbicydów powoduje negatywne skutki dla środowiska. Herbicydy, gdy dostaną się do gleby, oddziałują na mikroorganizmy oraz fizykochemiczne właściwości gleby. Wywołują niekorzystne zmiany w zbiorowiskach mikroorganizmów glebowych, aktywności enzymów oraz różnorodności biologicznej, które są istotnymi wskaźnikami równowagi w agrosystemie gleby (Grygiel i wsp. 2012; Tudararo-Aherobo i Ataikiru 2020).

Rozpoznając konieczność rozwiązania problemów środowiskowych i zdrowotnych związanych ze stosowaniem środków ochrony roślin, Unia Europejska podjęła aktywne działania, ustalając cele dotyczące redukcji ich stosowania. W ramach Europejskiego Zielonego Ładu wprowadzono strategię dotyczącą zrównoważonego stosowania środków ochrony roślin, które zakładają redukcję ilości wykorzystywanych środków ochrony roślin na polach o 50% do roku 2030. Ta strategia ma na celu promowanie bardziej zrównoważonych praktyk rolniczych, jednocześnie chroniąc ekosystemy i zdrowie człowieka. Działania te odzwierciedlają zaangażowanie Unii Europejskiej w przekształcenie sektora rolnego w bardziej ekologiczny i świadomy środowiskowo (Korbas i wsp. 2020; Mucha 2021).

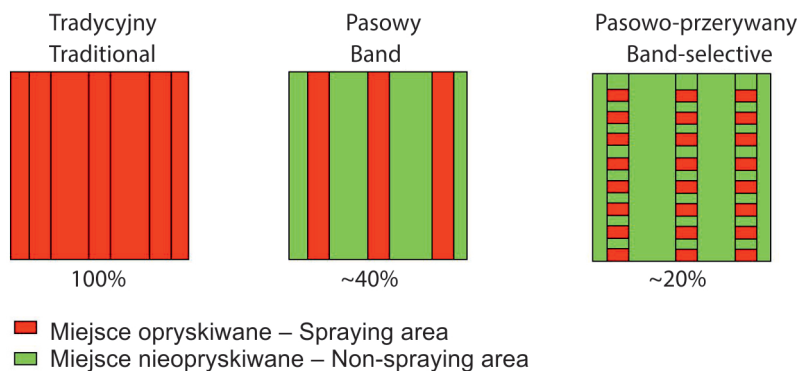
Producenci opryskiwaczy rolniczych wychodząc naprzeciw zmianom ograniczającym stosowanie środków ochrony roślin, prezentują rozwiązania umożliwiające zmniejszenie ilości aplikowanych agrochemikaliów, zwłaszcza herbicydów. Na rynku można spotkać dwa główne rodzaje systemów wspomagających opryskiwanie, w które wyposażane są nowoczesne opryskiwacze. Pierwszy rodzaj są to systemy oparte o rozpoznawanie koloru zielonego, służące do detekcji upraw lub chwastów. Drugim rodzajem są systemy wykorzystujące algorytmy sztucznej inteligencji do precyzyjnego dawkowania środków ochrony roślin. W artykule zostaną przedstawione najnowocześniejsze rozwiązania

tych obu systemów, które mają na celu wspieranie rolników w osiągnięciu lepszych plonów przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości stosowanych herbicydów.

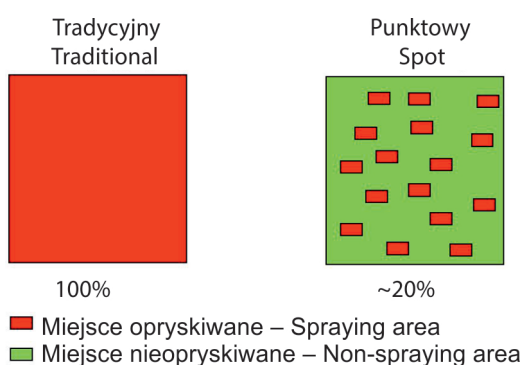
## Zmiany w sposobie opryskiwania / Changes in spraying patterns

Zmniejszenie ilości stosowanych środków ochrony roślin, zwłaszcza herbicydów, jest możliwe poprzez zmianę sposobu opryskiwania. Na przykładzie uprawy rzędowej, przedstawienie się z tradycyjnego opryskiwania na opryskiwanie pasowe pozwala zaoszczędzić znaczną ilość używanego środka. W przypadku opryskiwania pasowego, koncentrujemy się na opryskiwaniu tylko rzędów uprawianych roślin, podczas gdy międzyrzędzia mogą być kontrolowane mechanicznie. Dodatkowo, stosując kamerę z oprogramowaniem do rozpoznawania roślin oraz rozpylacz opryskiwacza z elektrozaworem, można prowadzić opryskiwanie pasowo-selektywne, aplikując środek tylko w przestrzeniach między uprawianymi roślinami. Jak pokazały badania przeprowadzone przez Rybackiego i wsp. (2022), zmiana sposobu opryskiwania na przykładzie uprawy marchwi z opryskiwania całopowierzchniowego na opryskiwanie pasowe nie spowodowała zmniejszenia plonu, ale spowodowała zmniejszenie ilości zużytego środka. Oszczędności wynikające z tego sposobu opryskiwania mogą być różne w zależności od konkretnej uprawy rzędowej. Przykładowo, dla kukurydzy uprawianej na ziarno oszczędności teoretyczne wynoszą nawet 60% dla opryskiwania pasowego (Zheng i wsp. 2023) i 80% dla opryskiwania pasowo-selektywnego (rys. 1). Przykładem takiego systemu jest projekt Polski Robot, realizowany przez konsorcjum naukowo-biznesowe, składające się z Łukasiewicz – Poznańskiego Instytutu Technologicznego, Łukasiewicz – Instytutu Lotnictwa we współpracy z firmą UNIA Sp. z o.o. z Grudziądza (Wojciechowski 2023).

Zmiana sposobu opryskiwania z tradycyjnego zakładającego pokrywanie środkiem ochrony roślin całego pola na opryskiwanie punktowe tylko w miejscu występowania chwastu pozwala znacząco zredukować ilość stosowanego środka. W zależności od stopnia zachwaszczenia teoretyczne oszczędności mogą przekraczać nawet 80% (rys. 2). W tym przypadku wyróżniamy dwa sposoby wykrywania chwastów, tak zwane „zielony na brązowy” oraz „zielony na zielony”. Pierwszy oznacza, że system oparty jest na wykrywaniu koloru zielonego bez możliwości odróżnienia chwastu od rośliny uprawnej, i stosowany głównie w odchwaszczaniu pól przed siewem. Długi sposób pozwala odróżniać chwasty od roślin uprawnych, dzięki czemu opryskiwanie międzyrzędzi może odbywać się w różnych stadiach rozwoju rośliny uprawnej (McCarthy i wsp. 2010; Allmendinger i wsp. 2022).



**Rys. 1.** Metody opryskiwania upraw rzędowych na przykładzie kukurydzy ziarnistej  
**Fig. 1.** Spraying methods for row crops using grain corn as an example



**Rys. 2.** Metody opryskiwania na przykładzie odchwaszczania pola przed siewem

**Fig. 2.** Spraying methods using the example of weeding a field before sowing

### Przykładowe systemy wizyjne wspomagające opryskiwanie / Example vision-based systems supporting spraying

Marka Steketee, przejęta w 2018 roku przez niemieckiego producenta maszyn rolniczych Lemken (Konieczka 2018), oferuje w swoim portfolio system SprayHub i SprayKit (fot. 1), które pozwalają na zwiększenie możliwości i skuteczności mechanicznego pielienia poprzez dodanie rozpylacza w rzędzie uprawianych roślin (SprayKit) oraz zbiornika na przednim TUZie ciągnika (SprayHub), umożliwiając przeprowadzenie opryskiwania herbicydem w rzędzie. Takie podejście eliminuje problem występowania chwastów między roślinami uprawnymi, który występuje przy standardowej opcji pielienia w pełni mechanicznego. Zastoso-



**Fot. 1.** Opryskiwanie w rzędzie za pomocą systemu SprayKit zamontowanego na pielniku mechanicznym EC-Weeder  
**Photo 1.** In-row spraying using the system SprayKit mounted on the EC-Weeder mechanical hoe

wanie metody opryskiwania pasowego zmniejsza zużycie środków chemicznych o 40–60% w porównaniu z tradycyjnym opryskiwaniem całego pola uprawnego (Wołosowicz 2021; Płachta 2022).

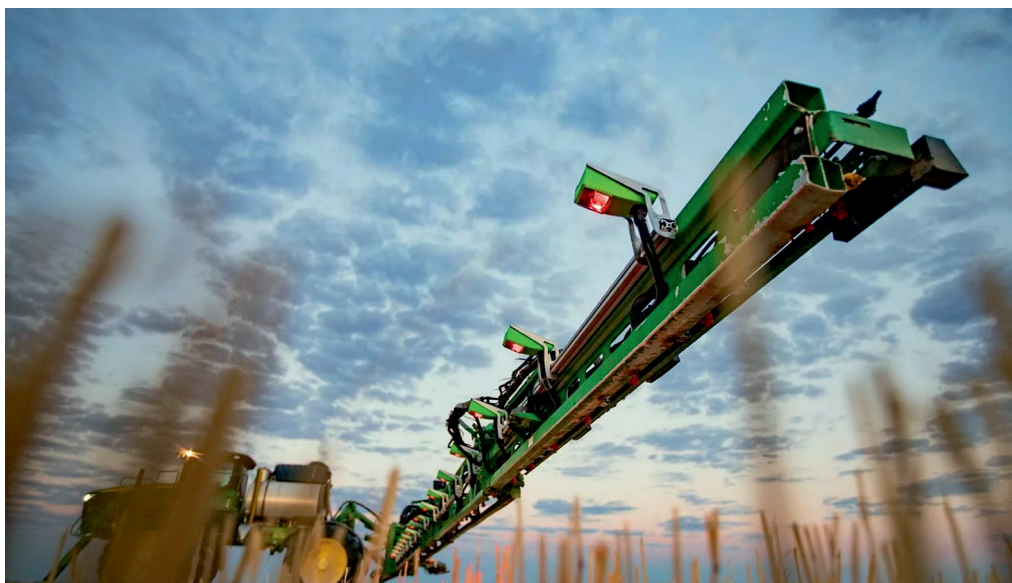
Zestaw SprayHub składa się ze zbiornika o pojemności 1100 lub 1500 litrów, wyposażonego w mieszadło, system płukania zbiornika, zbiornika na czystą wodę oraz zbiornika do mycia rąk dla użytkowników. Tak kompleksowe wyposażenie zapewnia użytkownikowi nie tylko funkcjonalność, ale również wygodę i higienę podczas korzystania z systemu. System SprayKit natomiast składa się z rozpylaczy wraz z zestawem uchwytów, które umożliwiają dostosowanie wysokości i kąta położenia rozpylaczy w zależności od rozstawu rzędów, uprawianej rośliny oraz stosowanego środka. Ta elastyczność pozwala na optymalne dopasowanie systemu do różnych warunków uprawnych, zapewniając precyzyjne i efektywne aplikowanie substancji chemicznych (Wołosowicz 2021; Płachta 2022).

Połączenie pielnika mechanicznego oraz systemów SprayHub i SprayKit może dodatkowo wspomóc system wizyjny IC-Light utrzymujący sekcje pielące w środkach międzyrzędzi oraz jednocześnie korygować położenie rozpylaczy nad rzędami uprawianych roślin niezależnie od toru jazdy ciągnika. IC-Light wykorzystuje zamontowaną na pielniku mechanicznym kamerę do określenia na pojedynczej klatce filmu rzędów roślin za pomocą analizy kolorów odcienia zielonego. Analiza koloru pozwala na określenie przesunięcia względem środka międzyrzędzi i korektę prowadzenia za pomocą siłownika hydraulicznego na ruchomej ramie (Claver 2022; Jakubek 2022). Takie połączenie różnych technologii, tj. pielnika mechanicznego, systemów SprayHub i SprayKit oraz systemu wizyjnego IC-Light,

tworzy kompleksowe rozwiązanie umożliwiające precyzyjne i efektywne usuwanie chwastów w uprawach rzędowych.

Połączenie pielnika mechanicznego z opryskiwaniem rzędowym i systemem wizyjnym może stanowić alternatywę w porównaniu do tradycyjnego opryskiwacza stosowanego do opryskiwania pól herbicydem. Wykorzystanie systemu wizyjnego przyczynia się do zwiększenia komfortu pracy operatora, ograniczenia strat wynikających z manewrowania ciągnikiem (Zawada i wsp. 2021) oraz poprawy precyzji utrzymania rozpylacza nad rzędem. Dzięki temu możliwe jest zastosowanie dysz o mniejszym kącie opryskiwania, co przekłada się na zmniejszenie zużycia agrochemikaliów. System wizyjny umożliwia dokładne śledzenie i analizę rzędów roślin, co pozwala na precyzyjne dostosowanie położenia gęsiostopek względem międzyrzędzi. Dzięki temu minimalizuje się ryzyko uszkodzenia upraw, a także ogranicza sytuacje, w których opryskiwacz nie trafia w rząd uprawianej rośliny.

Kolejnym przykładem systemu wizyjnego jest produkt holenderskiej firmy WEED-IT, która posiada w swojej ofercie zaawansowane rozwiązanie z zakresu systemów wizyjnych o nazwie WEED-IT Quadro (fot. 2), które stanowi innowacyjny sensor do wykrywania zielonej roślinności. Sensory rozmieszczone są wzdłuż belki opryskiwacza co 25 cm oraz połączone z rozpylaczami PWM, umożliwiającymi natychmiastowe uruchomienie odpowiednich rozpylaczy opryskiwacza po wykryciu chwastów. Rozstawa sensorów jest dostatecznie mała, aby wykryć nawet najmniejsze obiekty roślinne (Hart 2021). WEED-IT Quadro wykorzystuje zaawansowaną technologię „zielony na brązowy”, która pozwala na precyzyjne wykrywanie wszystkich roślin zielonych zawierających chlorofil, jednocześnie ignorując



**Fot. 2.** System WEED-IT Quadro zamontowany na samojezdnym opryskiwaczu  
**Photo 2.** The WEED-IT Quadro system mounted on a self-propelled sprayer

inne elementy, takie jak odkryta gleba, pozostałości po żniwach czy zasychające części roślin. Dzięki temu, system jest w stanie skoncentrować się na eliminacji chwastów, minimalizując jednocześnie wpływ na pozostałą roślinność. Warto zaznaczyć, że WEED-IT Quadro umożliwia skuteczne prowadzenie opryskiwania zarówno w ciągu dnia, jak i w nocy. Zastosowanie niebieskich diod LED pozwala na wykonywanie operacji bez zakłóceń, zapewniając optymalną widoczność i precyzję bez względu na warunki oświetleniowe (Hart 2021; Milkovich 2023). Sensor działa w trzech trybach pracy, które zostały zaprojektowane w celu zwiększenia możliwości i efektywności rozwiązania. W pierwszym trybie wszystkie rozpylacze pozostają wyłączone, a aktywacja konkretnego rozpylacza następuje w momencie wykrycia obecności chwastów przez któryś z czujników. Ten tryb minimalizuje zużycie środków chemicznych, skupiając opryskiwanie jedynie na niepożądanym rośliności. W drugim trybie, wszystkie rozpylacze są włączone na minimalną moc, a lokalne zwiększenie dawki następuje w momencie wykrycia chwastów przez sensor. Ostatni tryb umożliwia opryskiwanie pola tak jak w tradycyjnym opryskiwaczu rolniczym, wykorzystując pełne możliwości rozpylaczy PWM oraz standardu ISOBUS (Claver 2020; Hart 2021). Rozwiązanie stale jest rozwijane przez producenta, który dodaje nowe możliwości i rozszerzenia. System WEED-IT Quadro przeszedł rygorystyczne testy certyfikacyjne zgodnie ze standardem ISOBUS i stał się pierwszym oficjalnie certyfikowanym systemem opryskiwania punktowego, wpisanym do bazy danych AEF ISOBUS. Ta certyfikacja umożliwia rolnikom sterowanie systemem z własnego terminala i daje możliwość wprowadzenia kontroli sekcji, czyli wyłączenia sekcji w miejscach na polu, na których już przeprowadzono opryskiwanie (Claver 2021b). Firma

WEED-IT twierdzi, że ich system wizyjny może być zamontowany na dowolnym opryskiwaczu rolniczym. Przykładem nietypowej aplikacji jest wykorzystanie systemu WEED-IT Quadro na robocie rolniczym SwarmBot, który pozwala na utworzenie autonomicznego opryskiwacza (Groeneveld 2023). Kolejne zastosowanie systemu wizyjnego powstało na podstawie współpracy z firmą AgriFac, specjalizującą się w produkcji samojezdnych opryskiwaczy polowych (Józefowicz 2021).

Dzięki wykorzystaniu zaawansowanej technologii wizyjnej, WEED-IT Quadro stanowi efektywne narzędzie do eliminacji chwastów, przyczyniając się do zwiększenia efektywności i precyzji opryskiwania. Wykorzystanie systemu WEED-IT Quadro pozwala skupić się na niepożądanym rośliności, minimalizując tym samym zużycie środków chemicznych i ograniczając wpływ na otaczające środowisko. Należy zwrócić uwagę na fakt, że system WEED-IT Quadro działa efektywnie tylko w przypadku braku roślin uprawnych, zeschniętych części roślin lub po zbiorach. Oznacza to, że w momencie, gdy rośliny uprawne posiadają aktywny fotosyntetyczny aparat chlorofilowy, wykrywanie chwastów przez ten system staje się ograniczone.

### Przykładowe systemy wspomagające opryskiwanie oparte o sztuczną inteligencję / Example ai-based systems supporting spraying

Na rynku opryskiwaczy rolniczych coraz częściej pojawiają się rozwiązania działające w oparciu o sztuczną inteligencję. Jednym z przykładów jest system francuskiej firmy Exxact Robotic o nazwie handlowej 3S Spray Spot Sensor® (fot. 3), który w czasie rzeczywistym analizuje pole upraw-



**Fot. 3.** Opryskiwacz samojezdny firmy Agrifac z zamontowanym systemem wizyjnym 3S Spray Spot Sensor®  
**Photo 3.** The self-propelled sprayer by Agrifac equipped with the 3S Spray Spot Sensor® vision system mounted

ne, wykrywając i lokalizując anomalie. Firma współpracuje z wiodącymi producentami opryskiwaczy rolniczych na świecie, takimi jak Hardi czy Agrifac (Roberts 2021).

Sensory, montowane na belce opryskiwacza, mogą być ustawiane co 3 metry dla standardowej dokładności wykrywania. Jednak dla tych, którzy wymagają jeszcze większej rozdzielczości obrazu i precyzji, istnieje możliwość zamontowania sensorów co 1 metr. Pozwala to na jeszcze dokładniejsze monitorowanie pola i precyzyjne reagowanie na zidentyfikowane anomalie. Podczas pracy wszystkie rozpylacze opryskiwacza są wyłączone, ich włączenie następuje lokalnie w miejscu wystąpienia anomalii (np. ogniska choroby, zachwaszczenia itp.). Analiza obrazu może odbywać się zarówno w dzień, jak i w nocy, przy prędkości jazdy do 25 km/h (ATR Express 2021; Begeman 2021; Roberts 2021).

Wspomniana technologia wykrywania anomalii w uprawie roślin nosi nazwę „zielone na zielone”, co oznacza, że dzięki zastosowaniu algorytmów sztucznej inteligencji możliwe jest rozpoznawanie chwastów, chorób lub szkodników wśród roślin uprawnych w różnych stadiach rozwoju. Sensor 3S Spray Spot Sensor<sup>®</sup> obecnie współpracuje tylko z herbicydami w celu wykrywania i zwalczania chwastów. Producent zapewnia, że prowadzone są prace umożliwiające w przyszłości wykrywanie patogenów grzybowych na roślinach i prowadzenie opryskiwania fungicydem, a także analiza niedoboru azotu i prowadzenie nawożenia dolistnego (Herrmann i wsp. 2021; Roberts 2021; Garvey 2022). Exxact Robotic 3S Spray Spot Sensor<sup>®</sup> to obiecujący kierunek rozwoju opryskiwaczy rolniczych, umożliwiający zwiększenie precyzji, efektywności i zrównoważonego zarządzania, ograniczającego wpływ na środowisko naturalne.

Kolejnym przykładem rozwiązania bazującego na sztucznej inteligencji, umożliwiającego wykrywanie chwastów wśród roślin uprawnych w różnych stadiach wzrostu, jest system oferowany przez izraelską firmę Greeneye Technology. Rozwiązanie to składa się ze specjalnie zaprojektowanej belki opryskiwacza, którą można zamontować na dowolnym komercyjnym opryskiwaczu samojezdnym. Przykładowa belka aluminiowa o długości 120 stóp, czyli około 36,5 metra, jest wyposażona w 24 kamery o wysokiej rozdzielczości oraz 72 oświetlacze. Kamery generują około 4000 klatek obrazu na sekundę, które analizowane są przez 12 procesorów graficznych. Belka jest również wyposażona w 144 rozpylacze, które działają indywidualnie i umożliwiają lokalne opryskiwanie w momencie wykrycia chwastu przez kamery monitorujące (Paukner 2022). Według producenta poziom dokładności wykrywania chwastów wynosi 95,7%, natomiast system działa z prędkością do 20 km/h (Claver 2021a; Rosenbaum 2021; Miller 2022).

Badania przeprowadzone przez University of Nebraska-Lincoln potwierdzają skuteczność systemu Greeneye Technology w redukcji poziomu zachwaszczenia. Porównanie systemu z tradycyjnymi opryskiwaczami rol-

niczymi wykazało zbliżoną skuteczność w przypadku chwastów, natomiast opryskiwacz tradycyjny osiągnął wynik około 3% lepszy niż system Greeneye Technology w zwalczaniu chwastów trawowych. Dzięki precyzyjnemu i lokalnemu opryskiwaniu w momencie wykrycia chwastu, system Greeneye Technology umożliwia oszczędność herbicydów na poziomie 87% przy opryskiwaniu roślin po wschodach oraz redukcję herbicydów do zwalczania chwastów przed wschodami roślin uprawnych o 94% w porównaniu do tradycyjnego opryskiwania. Oszczędności jakie może osiągnąć rolnik na rynku amerykańskim przy opryskiwaniu herbicydem z wykorzystaniem systemu mogą sięgać nawet 40 dolarów na akr w zależności od aktualnie obowiązujących cen agrochemikaliów (Rosenbaum 2021; Miller 2022; Paukner 2022).

Greeneye Technology kontynuuje rozwój systemu opryskiwacza, dążąc do jeszcze większej funkcjonalności. Jednym z planowanych rozszerzeń jest precyzyjne opryskiwanie fungicydami oraz mikroelementami, umożliwiające skoncentrowane i skuteczne zwalczanie patogenów i odżywienie roślin w przypadku niedoboru składników odżywczych w uprawach rolniczych. Wraz z tymi ulepszeniami, 24 kamery wysokiej rozdzielczości będą mogły gromadzić dane dotyczące pola uprawnego, co pozwoli rolnikom na generowanie szczegółowych map, zawierających informacje o rodzajach chwastów, poziomie zachwaszczenia i stresu roślin, a także wskaźnikach jakości gleby (Paukner 2022).

Wprowadzenie systemu Greeneye Technology na rynek rolniczy wiąże się z wieloma korzyściami. Redukcja zużycia herbicydów i innych środków ochrony roślin przyczynia się nie tylko do obniżenia kosztów produkcji, ale także do ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko. Zwiększona precyzja i skuteczność opryskiwania, dzięki wykorzystaniu sztucznej inteligencji i zaawansowanych technologii wizyjnych, przyczynia się do poprawy efektywności procesów agrochemicznych oraz minimalizacji strat w produkcji rolniczej.

W artykule przedstawiono zbiór najciekawszych systemów wspomagających opryskiwanie (tab. 1), które pojawiły się na rynku w ciągu ostatnich pięciu lat. Widoczna jest wyraźna tendencja do redukcji zużycia środków ochrony roślin na polu oraz precyzyjnej aplikacji, zgodnie z zasadami rolnictwa precyzyjnego. Autorzy uważają, że systemy działające w oparciu o sztuczną inteligencję mają największy potencjał do dalszego rozwoju, umożliwiając redukcję nie tylko herbicydów, ale również fungicydów i insektycydów. Dodatkowo, obraz z kamery może być analizowany pod kątem identyfikacji rodzaju chwastów oraz generowania map zachwaszczenia, co umożliwi rolnikom analizę i wnioskowanie np. o dawkowaniu nawozów lub środków ochrony roślin. Wraz z dalszym rozwojem sztucznej inteligencji, obraz z kamer może być analizowany również pod innymi kątami rozszerzając zdolności zbierania i analizy danych dla rolnika. Ważnym aspektem jest fakt, że producenci sys-

**Tabela 1.** Zbiór opisanych w artykule systemów wizyjnych  
**Table 1.** Collection of described vision systems in the article

Lp. No.	Producent Producer	Produkt Product	Technologia systemu wizyjnego Vision system technology	Opis Description
1.	Steketee (Lemken)	Spray Hub, Spray Kit, IC-Light	wykrywanie rzędów za pomocą koloru rośliny uprawnej row detection using crop color	przewodzenie opryskiwania tylko w pasie uprawianej rośliny spraying only in the zone of the cultivated plant
2.	WEED-IT	WEED-IT Quadro	zielony na brązowy green to brown	przewodzenie opryskiwania lokalnego bez widocznej rośliny uprawnej conducting local spraying without a visible crop
3.	Exxact Robotic	3S Spray Spot Sensor®	zielony na zielony (AI) green to green (AI)	przewodzenie opryskiwania lokalnego wśród rośliny uprawnej conducting local spraying among cultivated plants
4.	Greeneye Technology	Greeneye Technology	zielony na zielony (AI) green to green (AI)	przewodzenie opryskiwania lokalnego wśród rośliny uprawnej conducting local spraying among cultivated plants

temów wspomagających opryskiwanie projektują systemy w sposób uniwersalny, pozwalający na implementację na różnych opryskiwaczach, nawet tych starszych, bez potrzeby kupowania całej konstrukcji maszyny. Przedstawione w artykule systemy mogą również współpracować z robotami polowymi, rozszerzając ich możliwości i tworząc kompleksowe urządzenia dbające o stan pól uprawnych.

### Podsumowanie / Summary

Wykorzystanie systemów wizyjnych w opryskiwaczach rolniczych przynosi realne korzyści zarówno dla rolników, jak i dla środowiska. Daje to możliwość precyzyjnej i zrównoważonej kontroli chwastów, redukując jednocześnie zu-

życie środków ochrony roślin. Wraz z rosnącym rozwojem sztucznej inteligencji i technologii wizyjnych, można spodziewać się dalszego udoskonalania tych rozwiązań, a także zwiększania wydajności i dokładności pracy.

### Podziękowanie / Acknowledgements

Autorzy dziękują Ministerstwu Edukacji i Nauki za wsparcie finansowe w ramach Programu Doktorat Wdrożeniowy Ministerstwa Edukacji i Nauki realizowanego w latach 2020–2024 (Umowa nr DWD/4/22/2020), 2021–2025 (Umowa nr DWD/5/0016/2021), 2022–2026 (Umowa nr DWD/6/0046/2022).

### Literatura / References

- Allmendinger A., Spaeth M., Saile M., Peteinatos G.G., Gerhards R. 2022. Precision chemical weed management strategies: a review and a design of a new CNN-based modular spot sprayer. *Agronomy* 12 (7): 1620. DOI: 10.3390/agronomy12071620
- ATR Express 2021. Czujnik 3S do precyzyjnego oprysku firmy Exxact Robotics. <https://atrexpress.com.pl/artykul/czujnik-3s-do-precyzyjnego-oprysku-firmy-exxact-robotics> [dostęp: 14.06.2023].
- Begeman H. 2021. Exxact Robotics presenteert 3S Spot Spray Sensor op Agrifac spuit. <https://www.deloonwerker.be/gewasbescherming/exxact-robotics-presenteert-3s-spot-spray-sensor-op-agrifac-spuut/> [dostęp: 14.06.2023].
- Claver H. 2020. WEED-IT: Full coverage spraying and stepless nozzle control. <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/weed-it-full-coverage-spraying-and-stepless-nozzle-control/> [dostęp: 14.06.2023].
- Claver H. 2021a. AI precision spraying technology to cut herbicide use by 78%. <https://www.futurefarming.com/crop-solutions/weed-pest-control/ai-precision-spraying-technology-to-cut-herbicide-use-by-78/> [dostęp: 14.06.2023].
- Claver H. 2021b. Weed-It isobus implementation certified by AEF. <https://www.futurefarming.com/smart-farming/tools-data/weed-it-isobus-implementation-certified-by-aef/> [dostęp: 14.06.2023].
- Claver H. 2022. Lemken equips hoeing implements with camera-steering. <https://www.futurefarming.com/crop-solutions/lemken-equips-hoeing-implements-with-camera-steering/> [dostęp: 14.06.2023].
- Garvey S. 2022. Agrifac to offer green-on-green spray technology in 2022. <https://farmtario.com/machinery/agrifac-to-offer-green-on-green-spray-technology-in-2022/> [dostęp: 14.06.2023].

- Groeneveld R. 2023. SwarmFarm to launch its SwarmBot technology in North America this year. <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/field-robots/swarmfarm-to-launch-its-swarmbot-technology-in-north-america-this-year/> [dostęp: 14.06.2023].
- Grygiel K., Sadowski J., Snopczyński T., Wysocki A. 2012. Pozostałości herbicydów w płodach rolnych i glebie. [Herbicide residues in agricultural products and in the soil]. *Journal of Ecology and Health* 16 (4): 159–163.
- Hart L. 2021. New spot-spray technology in Canada. <https://www.grainews.ca/news/new-spot-spray-technology-in-canada/> [dostęp: 14.06.2023].
- Herrmann D., Dillschneider E.-M., Niemann J.-U., Tomforde M., Wegener J.K. 2021. Innovationen in der Pflanzenschutztechnik. s. 1–13. W: *Jahrbuch Agrartechnik* (L. Frerichs, red.). Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. DOI: 10.24355/dbbs.084-202202030954-0
- Jakubek A. 2022. Steketee: precyzyjne prowadzenie dla wszystkich! <https://profitechnika.pl/articles/aktualnosci-profi/steketee-precyzyjne-prowadzenie-dla-wszystkich-2346831> [dostęp: 14.06.2023].
- Józefowicz J. 2021. Agrifac rozszerza oprysk punktowy. <https://profitechnika.pl/articles/aktualnosci-profi/agrifac-rozszerza-oprysk-punktowy-2343202> [dostęp: 14.06.2023].
- Konieczka D. 2018. Lemken przejmuje firmę Steketee. <https://www.topagrar.pl/articles/aktualnosci-branzowe-technika/lemken-przejmuje-firme-steketee/> [dostęp: 14.06.2023].
- Korbas M., Mrówczyński M., Węgorok P., Kierzek R., Tratwal A., Danielewicz J., Roik K. 2020. Kodeks dobrej praktyki ochrony roślin. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa, 59 ss.
- McCarthy C., Rees S., Baillie C. 2010. Machine vision-based weed spot spraying: a review and where next for sugarcane? s. 424–432. W: *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists (ASSCT 2010)*. 11–14 May 2010, Bundaberg, Australia.
- Milkovich M. 2023. High-tech weed spraying with sensors and sensibilities. <https://www.goodfruit.com/high-tech-weed-spraying-with-sensors-and-sensibilities/> [dostęp: 14.06.2023].
- Miller D. 2022. Greeneye precision matches broadcast. Greeneye technology's AI-enabled spray system matches broadcast weed control. <https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/equipment/article/2022/08/26/greeneye-technologys-ai-enabled-weed> [dostęp: 14.06.2023].
- Mucha S. 2021. Integrowana ochrona roślin. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. <https://www.goy.pl/web/rolnictwo/integrowana-ochrona-roslin> [dostęp: 14.06.2023].
- Paukner M. 2022. Greeneye's precision sprayer saves \$65/acre on herbicides. <https://www.precisionfarmingdealer.com/articles/5214-technology-corner-greeneyes-precision-sprayer-saves-65acre-on-herbicides> [dostęp: 14.06.2023].
- Płachta A. 2022. Steketee SprayHub – oprysk i pielnie w jednym przejeździe. <https://profitechnika.pl/articles/aktualnosci-profi/steketee-sprayhub-oprysk-i-pielnie-w-jednym-przejeździe-2346950> [dostęp: 14.06.2023].
- Roberts M. 2021. Spot spraying on target to cut inputs. <https://www.futurefarming.com/crop-solutions/weed-pest-control/spot-spraying-on-target-to-cut-inputs/> [dostęp: 14.06.2023].
- Rosenbaum A. 2021. Greeneye technology by JVP raises \$22 for AI precision spraying system. <https://www.jpost.com/environment-and-climate-change/greeneye-technology-by-jvp-raises-22-for-ai-precision-spraying-system-688934> [dostęp: 14.06.2023].
- Rybacki P., Przygodziński P., Blecharczyk A., Kowalik I., Osuch A., Osuch E. 2022. Strip spraying technology for precise herbicide application in carrot fields. *Open Chemistry* 20 (1): 287–296. DOI: 10.1515/chem-2022-0135
- Tostado L., Bollmohr S. 2022. *Pesticide Atlas 2022*. 1st edition. Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin, Germany. Friends of the Earth Europe, Brussels, Belgium. Bund für Umwelt und Naturschutz, Berlin, Germany. PAN Europe, Brussels, Belgium, 60 ss. ISBN 978-9-46400747-3.
- Tudararo-Aherobo L.E., Ataikiru L. 2020. Effects of chronic use of herbicides on soil physicochemical and microbiological characteristics. *Microbiology Research Journal International* 30 (5): 9–19. DOI: 10.9734/MRJI/2020/v30i530215
- Wojciechowski J. 2023. Polski Robot odpowiedzią na wyzwania współczesnego rolnictwa. *Rolnictwo Przyszłości* 1: 20–23.
- Wołosowicz M. 2021. Oprysk podczas pielienia. <https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/oprysk-podczas-pielienia,113592.html> [dostęp: 14.06.2023].
- Zawada M., Legutko S., Szczepaniak J., Rogacki R., Wojciechowski J., Szymczyk S. 2021. Possibilities of using automatic systems for correcting the position of working units of tools including soil cultivation. *MATEC Web of Conferences* 343: 08010. DOI: 10.1051/mateconf/202134308010
- Zheng S., Zhao X., Zhang X., Fu H., Yi K., Zhai C. 2023. Design of an intermittent herbicide spray system for open-field cabbage and plant protection effect experiments. *Agronomy* 13 (2): 286. DOI: 10.3390/agronomy13020286