doi: 10.26114/sir.iung.2019.60.05

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 60(14): 83-102 **2019**

Adam Węgrzyn, Stanisław Parafiniuk

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

POSTĘP TECHNICZNY W ZAKRESIE APLIKACJI PESTYCYDÓW*

Słowa kluczowe: ochrona roślin, aplikacja pestycydów, budowa opryskiwaczy, postęp techniczny, rolnictwo precyzyjne

Wstęp

Obecny poziom produkcji roślinnej jest w coraz większym stopniu uwarunkowany skutecznością zabiegów chemicznej ochrony roślin. Zastosowanie pestycydów budzi jednak ciągle niespełnione oczekiwania co do poziomu ich wpływu na wzrost wydajności oraz bezpieczeństwo produkcji rolniczej. W tym zakresie przyjęto pewien kompromis pomiędzy zapewnieniem niezbędnej skali produkcji rolniczej, a jakością pozyskiwanych surowców oraz zagrożeniami dla środowiska przyrodniczego związanymi z obecnością w pestycydach aktywnych związków chemicznych. Praktycznym tego przykładem jest systematyczne wdrażanie modelu rolnictwa precyzyjnego, w którym szczególnego znaczenia nabierają zabiegi precyzyjnego aplikowania nawozów mineralnych oraz środków ochrony roślin (9, 22, 44, 50). Ma to na celu nie tylko uzyskanie w danych warunkach możliwie optymalnych plonów, ale również racjonalne oraz bezpieczne dla ludzi i środowiska stosowanie środków plonotwórczych.

Aplikacja pestycydów jest realizowana głównie za pomocą opryskiwaczy, które różnią się ogólną budową, sposobem napędu, zasadą działania oraz przeznaczeniem. W zależności od panujących warunków agrotechnicznych i meteorologicznych, umożliwiają one mniej lub bardziej bezpieczne, wydajne oraz efektywne przeprowadzenie tego zabiegu. Postęp w zakresie budowy i działania opryskiwaczy dotyczy przede wszystkim zwiększania jakości oraz wydajności ich pracy, co ma głównie na celu zapewnienie możliwości skutecznego wykonywania oprysków w jak najkrótszym czasie. Poszukuje się rozwiązań pozwalających na aplikację coraz mniejszych dawek cieczy roboczej i środków ochrony roślin, przy jak największych prędkościach roboczych opryskiwaczy. Zastosowanie opryskiwaczy

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

o niskich wydatkach pozwala bowiem na zmniejszenie zużycia cieczy roboczej, co znacznie poprawia bezpieczeństwo operatora i ogranicza ryzyko skażenia środowiska przyrodniczego.

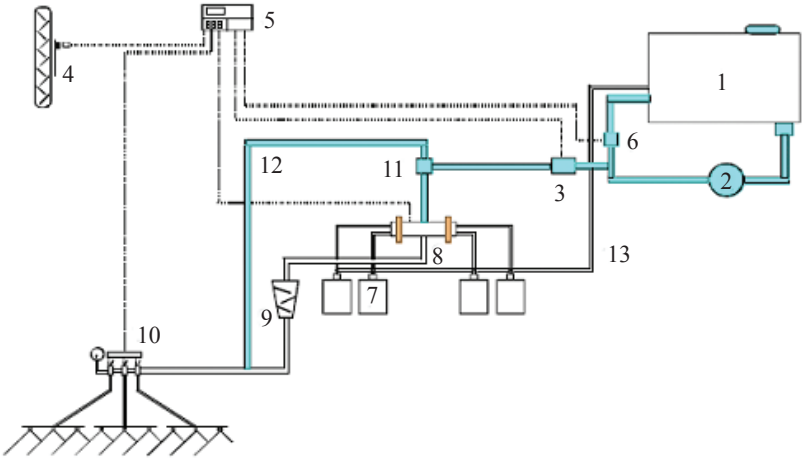
Rośnie również skuteczność działania opryskiwaczy, przede wszystkim w wyniku wdrażania nowych rozwiązań technicznych poprawiających równomierność rozkładu cieczy roboczej, która podlega obecnie kontroli podczas obowiązkowych badań okresowych opryskiwaczy (15, 20, 35, 36, 47). Doskonalone są również rozwiązania umożliwiające prowadzenie zabiegów w niekorzystnych warunkach agrotechnicznych oraz usprawniające czynności związane z obsługą opryskiwaczy i ochroną operatorów przed kontaktem z pestycydami. Jednak szczególną uwagę zwracają zmiany zachodzące w technikach zmniejszania ryzyka skażenia środowiska pestycydami w wyniku redukowania dawek cieczy roboczej i ograniczania niekontrolowanego znoszenia kropel cieczy, a także postęp w zakresie zmiennej aplikacji środków ochrony w zależności od potrzeb oraz warunków panujących podczas zabiegu.

Nowe techniki przygotowania cieczy roboczej

Zalecane do pracy z pestycydami kombinezony, rękawice i maski ochronne budzą najczęściej niechęć ze strony osób, które obowiązane są do ich zakładania. W związku z tym, próbuje się różnymi sposobami całkowicie wyeliminować lub ograniczyć możliwość kontaktu ludzi ze środkami ochrony roślin podczas przygotowywania cieczy roboczej. Prowadzone w tym zakresie prace doprowadziły do opracowania zamkniętych układów mieszania cieczy w opryskiwaczach, które eliminują konieczność ręcznego przelewania i mieszania środków ochrony roślin. Taka technika przygotowania cieczy roboczej nazywana jest iniekcją (43) i polega na zapewnieniu oddzielnego, niezależnego obiegu wody i środka ochrony. Do głównego zbiornika opryskiwacza nalewana jest czysta woda, a środki ochrony roślin znajdują się w oddzielnych pojemnikach (37). Dopiero bezpośrednio przed rozpoczęciem oprysku, pestycydy są pobierane przez specjalną pompę dozującą i podawane do komory, w której następuje ich mieszanie z wodą tłoczoną ze zbiornika głównego opryskiwacza.

Do sterowania takim układem wykorzystywany jest komputer, którego zadaniem jest analiza danych z przepływomierza oraz czujników prędkości jazdy zamontowanych na kołach ciągnika. Po ich przetworzeniu przesyłana jest odpowiednia informacja (sygnał) do układu sterującego pracą pomp dozujących i zaworu regulacyjnego, co zapewnia uzyskanie odpowiedniej dawki preparatu i cieczy roboczej. Wyniki badań systemu iniekcyjnego (33) o nazwie Agro Inject (wyposażonego w proporcjonalną pompę z czterema tłoczkami dozującymi pestycydy pracującą za pompą główną opryskiwacza (rys. 1) i systemu o nazwie CCI – 2000, w którym zastosowano dwurolkową pompę perystaltyczną umieszczoną przed pompą główną) wykazały, że układ wyposażony w pompę proporcjonalną jest rozwiązaniem bardziej perspektywicznym. Na podstawie analizy uzyskanych danych stwierdzono ponadto, że: badane układy wymagają jeszcze sprawniejszej pracy pomp mieszających, obieg cieczy w opryskiwaczach powinien

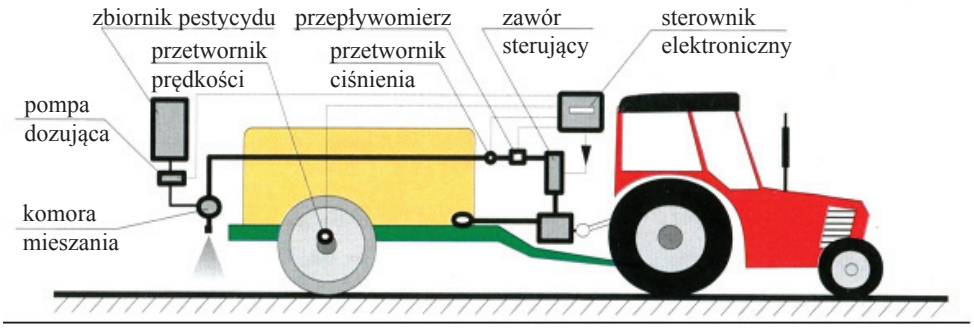
zapewniać szybszą stabilizację stężenia preparatu (homogenizacji) w roztworze cieczy roboczej, a wdrożenie tych układów do praktyki wymaga zastosowania nowej generacji pestycydów o właściwościach dostosowanych do panujących w nich warunków przygotowywania cieczy roboczej.



Rysunek 1. Schemat działania układu dozowania pestycydów umieszczonego za pompą główną opryskiwacza (Agro Inject): 1 – zbiornik wody, 2 – pompa opryskiwacza, 3 – przepływomierz, 4 – czujnik prędkości, 5 – komputer, 6 – zawór sterujący, 7 – zbiorniki pestycydów, 8 – pompa dozująca, 9 – urządzenie miksujące, 10 – sterownik, 11,12 – elementy obejścia, 13 – przewody mycia układu

Źródło: Mostade i in., 2002 (33)

Konieczność stosowania w jednym gospodarstwie wielu różnych środków ochrony roślin zmusza do częstego płukania opryskiwacza. Dotyczy to zwłaszcza gospodarstw uprawiających wiele gatunków roślin, z których każdy wymaga innego programu ochrony. W takich warunkach praktycznym rozwiązaniem jest możliwość przystosowywania ciśnieniowego opryskiwacza konwencjonalnego do nowego sposobu przygotowania cieczy roboczej. Polega więc ono na tym, aby bez większych zmian można było zastosować w nim iniekcyjny układ przygotowania cieczy roboczej. Najczęściej związane jest to z tym, że na opryskiwaczu montuje się dodatkowe elementy niezbędne do pracy takiego układu, w tym przede wszystkim pompy dozujące i pojemniki ze środkami ochrony roślin (rys. 2).



Rysunek 2. Schemat opryskiwacza z iniekcyjnym układem mieszania cieczy roboczej
Źródło: Hołownicki, 2006 (23)

Takie modułowe układy iniekcyjne są najczęściej skomputeryzowane i przystosowane do operowania kilkoma preparatami. Mieszanie cieczy roboczej następuje w specjalnej komorze zlokalizowanej w sąsiedztwie belki polowej (23). Czysta woda jest podawana pod stałym ciśnieniem, a płynny pestycyd jest wtryskiwany w dawce ustalonej przez sterownik. Takie rozwiązanie pozwala w pełni wykorzystać środek ochrony, ponieważ można w dowolnym momencie przerwać zabieg, nie powodując problemów z zagospodarowaniem nadmiaru cieczy użytkowej. W zbiorniku głównym jest zawsze tylko czysta woda, a płukaniu podlega tylko ta część instalacji, która ma kontakt z pestycydami. Możliwe jest także wykonywanie zabiegów z użyciem dwóch różnych środków ochrony roślin.

Postęp w technice rozpylania cieczy roboczej

Jakość rozpylenia decyduje o efektywności stosowania pestycydów, czyli również o jego skuteczności biologicznej oraz stopniu skażenia środowiska. Skuteczność biologiczna środka ochrony zależy natomiast od jakości opryskiwania roślin (pokrycia substancją czynną), którą określa się (17) liczbą i masą kropli przypadającą na 1 cm^2 oraz stopniem pokrycia powierzchni wyrażonym w procentach. Teoretycznie, gdy zmniejszy się średnicę kropel o połowę to z danej objętości cieczy otrzymujemy osiem razy więcej kropel, które pokrywają dwa razy większą powierzchnię. Na pokrycie określonej powierzchni roślin zużywane jest więc o połowę mniej cieczy niż ma to miejsce wówczas, gdy średnica aplikowanych kropel jest dwukrotnie większa. Szewczyk i in. (39) wykazali, że dla określonej objętości cieczy, im drobniejsze krople uzyskuje się w procesie jej rozpylenia, tym wyższy stopień pokrycia towarzyszy naniesieniu cieczy na obiekt. Jednak drobne krople są bardziej podatne na znoszenie i łatwo przemieszczane przez wiatr lub turbulencje powietrza, które powstają za poruszającym się opryskiwaczem. Grubsze krople są oczywiście mniej podatne na znoszenie, ale nie umożliwiają pokrycia tak samo dużych powierzchni roślin. Ponadto ekstremalnie grube krople mogą ociekać z roślin, co jest tym bardziej niekorzystne, że tracąc część dawki cieczy równocześnie niepotrzebnie wprowadzamy zawartą w niej substancję czynną do środowiska.

Producenci pestycydów zamieszczają obecnie na etykietach między innymi informacje o zalecanej jakości rozpylenia, z jaką należy aplikować ciecz użytkową. W celu sprostania konkretnym zaleceniom oraz zapewnienia możliwości przekazania niezbędnej w tym zakresie informacji, opracowano różne metody określania kroplistości. Jednolitym, międzynarodowym punktem odniesienia, służącym obecnie do określania klas rozpylenia, który powinien być przestrzegany (5, 6) przy podawaniu na ten temat informacji przez producentów środków ochrony roślin, rozpylaczy i opryskiwaczy jest norma ANSI/ASAE S571.1 (1). Na jej podstawie wyszczególniono osiem klas wielkości kropel (tab. 1), dla których określono w mikrometrach zakresy średnicy mediany objętościowej (ang. *Volume Median Diameter*). Jest to taka średnica kropli w strumieniu kropel różnej wielkości, dla której sumaryczna objętość wszystkich kropel mniejszych jest równa sumarycznej objętości wszystkich kropel większych. Poszczególne klasy wielkości kropel są oznaczone symbolami literowymi, a dodatkowo jeszcze różnymi kolorami.

Wiedza z zakresu zalecanej dla danego rodzaju środka ochrony roślin jakości rozpylenia kropel pozwala na prawidłowy dobór typu rozpylacza (30), jego wydatku jednostkowego oraz wpływających na to parametrów pracy opryskiwacza. Najczęściej stosowane w praktyce ciśnieniowe rozpylacze płaskostrumieniowe są znormalizowane według normy ISO (27) pod względem wymiarów zewnętrznych, kolorystyki i wydatków jednostkowych (rys. 3). Producenci innych typów rozpylaczy w informacjach dotyczących ich wydatków jednostkowych zamieszczają również często dane na temat zakresu wielkości kropel, który jest uzyskiwany przy danym ciśnieniu roboczym. Jednak niezależnie od zakresu posiadanych informacji rozpylacze o mniejszym wydatku wytwarzają zawsze drobniejsze krople, a ich udział zmienia się zgodnie ze zmianami ciśnienia cieczy. Postępując zgodnie z obowiązującymi zasadami zrównoważonego stosowaniem pestycydów (16, 24, 34), rozpylacze należy w praktyce dobierać nie tylko pod kątem wymagań dotyczących zapewnienia skuteczności zabiegu, ale także z uwzględnieniem ryzyka znoszenia cieczy roboczej.

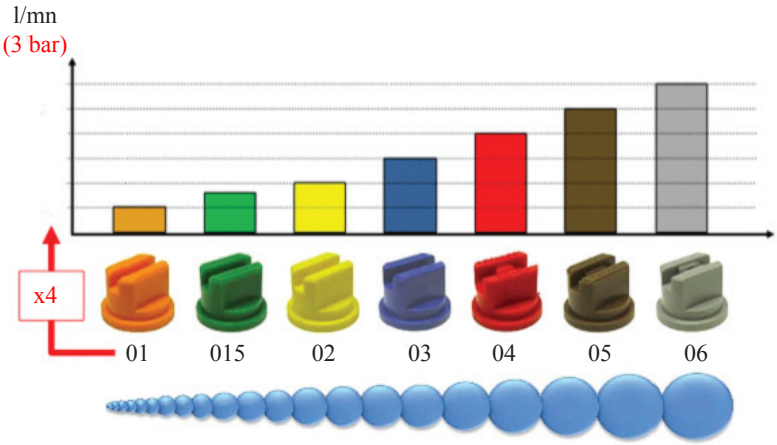
Tabela 1

Klasyfikacja wielkości kropel według średnicy mediany objętościowej

Klasa wielkości kropel	Oznaczenie	Średnica mediany objętościowej VMD (μm)*
Ekstremalnie drobne	XF	<60
Bardzo drobne	VF	60-143
Drobne	F	144-235
Średnie	M	236-340
Grube	C	341-403
Bardzo grube	VC	404-502
Ekstremalnie grube	XC	503-665
Skrajnie grube	UC	>665

* zakresy VMD dla klas oszacowane na podstawie wykresu z normy ASABE S572.1

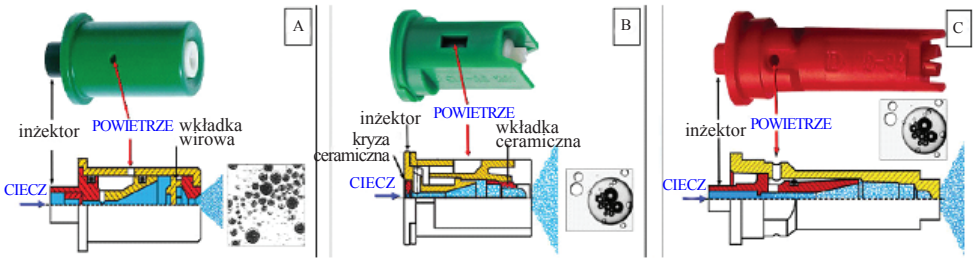
Źródło: Hołownicki i in., 2016 (25)



Rysunek 3. Ilustracja zależność wielkości kropel cieczy od wydatku rozpylaczy szczelinowych płaskostrumieniowych

Źródło: Doruchowski, 2015 (12)

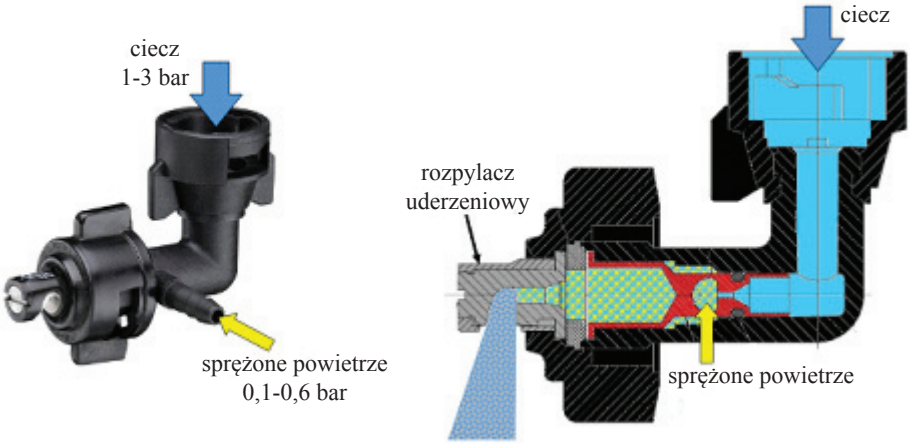
Należy zatem racjonalnie wybierać pomiędzy uzyskiwanym spektrum drobnych i bardzo drobnych kropel o wysokiej skuteczności, a zakresem kropel grubych, które głębiej penetrują opryskiwaną powierzchnię oraz są mniej podatne na znoszenie (3, 4, 17). Stosowane obecnie różnej budowy rozpylacze eżektorowe (rys. 4) wytwarzają przede wszystkim grube i średnie krople, które − jeśli są dodatkowo wypełnione powietrzem − to przy kontakcie z opryskiwaną powierzchnią pękają na mniejsze. Jednak według literatury przedmiotu (18, 41), niewiele cieczy wykazuje zdolność wytwarzania pęcherzyków powietrza w kroplach. Dorr i in. (8) wykazali, że w wyniku tego zjawiska dawka masy różnych cieczy aplikowanych rozpylaczami eżektorowymi może być do 20% niższa od dawki objętościowej. Ilość i wielkość powstających w kroplach pęcherzyków jest więc różna, co wpływa na jakość rozpylania i prędkość kropel. Ponadto oprysk grubokroplisty daje z tej samej objętości cieczy wielokrotnie mniejszą liczbę kropel, co zmniejsza skuteczność zabiegu oraz zwiększa ryzyko ich ściekania z roślin, szczególnie podczas aplikacji większych dawek cieczy.



Rysunek 4. Rodzaje rozpylaczy eżektorowych:
a) wirowy, b) płaskostrumieniowy kompaktowy, c) płaskostrumieniowy tradycyjny

Źródło: Doruchowski, 2009 (10)

Znaczne możliwości w zakresie uzyskiwania optymalnej wielkości kropli, niezależnie od rodzaju oprysku oraz aktualnych warunków pogodowych, dają rozpylacze ciśnieniowo-pneumatyczne (rys. 5). Wewnątrz ich korpusu znajduje się komora mieszania z kryzą dozującą ciecz, odpowiednią rozmiarowo wkładką oraz rozpylacz uderzeniowy. Rozmiar rozpylacza oraz wkładki decyduje o wydatku rozpylacza i wielkości powstających kropel cieczy, które charakteryzują się dobrą penetracją roślin. Rozpylacze tego typu wymagają zastosowania dodatkowego układu dostarczającego pod odpowiednim ciśnieniem powietrze, który zbudowany jest ze sprężarki, zaworów, czujnika ciśnienia oraz panelu sterowania. Specjalna konstrukcja korpusu i rozpylacza uderzeniowego umożliwiają regulacje wielkości kropli przez zmianę ciśnienia powietrza. Pozwala to na dostosowanie wielkości emitowanych kropel do prędkości wiatru bez potrzeby wymiany rozpylacza. Pomimo takich możliwości skala zastosowania tych rozpylaczy jest niewielka (23). Wynika to przede wszystkim z dość skomplikowanej konstrukcji i stosunkowo wysokiej ceny.



Rysunek 5. Rozpylacze ciśnieniowo-pneumatyczne wymagają stałego dopływu powietrza pod odpowiednim ciśnieniem

Źródło: Doruchowski, 2014 (11)

W praktyce stosowana jest również metoda rozpylania cieczy za pomocą strumienia powietrza o bardzo dużej prędkości. W celu osiągniecia efektu rozpylenia wykorzystuje się odpowiednio profilowane kanały (dyfuzory), w których mocowany jest dozownik w postaci cienkiej płytki (restryktora)m zasilanej cieczą roboczą pod małym ciśnieniem (0,5÷1,2 bar). W wyniku działania dużej energii kinetycznej przepływającego strumieniem powietrza (o prędkości wynoszącej około 80 $m \cdot s^{-1}$, czyli ponad 2 razy większej niż w przypadku pomocniczego strumienia powietrza) na cienką powłokę cieczy gromadzącej się na dozowniku, następuje nie tylko jej rozpylenie, ale i równoczesne przemieszczenie na znaczne odległości. Wytwarzane przez rozpylacze pneumatyczne krople są jednak w większości drobne i podatne na znoszenie (23), a ich wielkość maleje ze wzrostem prędkości powietrza. Taka zależność pomiędzy prędkością powietrza i wielkością kropel nie daje niestety

możliwości niezależnej regulacji wydajności powietrza, co jest szczególnie ważne w ochronie sadów. Natomiast już od kilku dekad firma duńska wykorzystuje efektywnie technikę pneumatycznego rozpylania cieczy w opryskiwaczach polowych. Stosuje w nich rozpylacze o nazwie Eurofoil (46), które są montowane w dolnej części rury będącej dla nich belką nośną i równocześnie kanałem doprowadzającym powietrze. Z pracującej poziomo nad roślinami rury powietrze wypływa pionowo w dół przez rozpylacze (rys. 6), które mają kształt dyfuzorów z zamontowanymi wewnątrz płytkami dozującymi. Dopływająca do nich ciecz robocza zostaje rozpylona energią kinetyczną przepływającego przez nie powietrza. Ciecz rozpylana jest na drobne krople, które są nanoszone na rośliny w wypływjących w dół strumieniach powietrza. Zapewnia do możliwość prowadzenia oprysków dawkami wynoszącymi tylko 30÷80 $l \cdot ha^{-1}$, ale zapewniającymi skuteczność osiąganą przy dawkach standardowych.

Rysunek 6. Rozpylacze pneumatyczne Eurofoil zbudowane są z dyfuzora i płytkowego dozownika
Źródło: https://www.farmer.pl, 2019 (26)

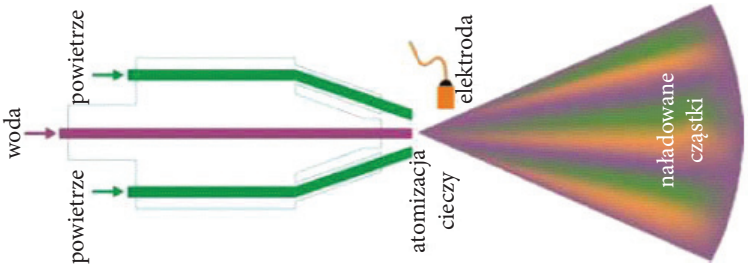
Znaczący postęp dokonał się budowie rozpylaczy rotacyjnych, w których ciecz robocza doprowadzana jest do obracającej się tarczy pełniącej funkcję rozpylacza. Ciecz poddawana jest działaniu siły odśrodkowej i przybiera postać cienkiej błony przemieszczającej się z dużą prędkością na zewnętrzne krawędzie tarczy, gdzie jej energia kinetyczna powoduje odrywanie się kropel. Są one stosunkowo jednorodne, a ich wielkość maleje ze wzrostem prędkości obrotowej tarczy rozpylającej. Taka technika rozpylania nazywana jest CDA (ang. *Controlled Droplet Aplication*), a same rozpylacze rotacyjne atomizerami. Rozpylana nimi ciecz nanoszona może być na rośliny w pomocniczym strumieniu powietrza, co skutkuje większym zasięgiem strumienia, a także jego mniejszą podatnością na znoszenie. Opryskiwacze wyposażone w takie rozpylacze pozwalają na prowadzenie zabiegów bardzo małymi dawkami cieczy roboczej, co wynika z bardzo dobrej jakości jej rozpylenia.

Technika CDA znalazła zastosowane w opryskiwaczach polowych, sadowniczych, komunalnych, agrolotniczych, szklarniowych i plecakowych (32). Interesującym rozwiązaniem są rozpylacze o nazwie Mikromax (rys. 7), które mogą by montowane także w opryskiwaczach używanych. Decydująca o wielkości kropel cieczy prędkość

obrotowa dysku tego rozpylacza jest zmieniana za pomocą przekładni. Możliwe są do ustawienia trzy zakresy prędkości: niskie (2000÷2500 obr·min^{-1} zapewniające krople 200÷300 µm), średnie (3000÷4000 obr·min^{-1} zapewniające krople 100÷200 µm) i wysokie (4500÷5000 obr·min^{-1} zapewniające krople 75÷150 µm). Uzyskiwany zakres wielkości emitowanych kropel (75÷300 µm) umożliwia aplikację dawek cieczy wynoszących 20÷200 l·ha^{-1} i zalecanych w przypadku większości środków ochrony roślin. Małe dawki cieczy pozwalają pełnym zbiornikiem opryskiwacza polowego na opryskanie nawet kilkudziesięciu hektarów.

Rysunek 7. Rozpylacz rotacyjny Micromax i zmodernizowany z jego użyciem opryskiwacz polowy
Źródło: Micro-system, 2016 (32)

Prowadzone są również badania nad wdrożeniem do praktyki technologii opryskiwania elekroareozolowego, w której na rośliny aplikowana jest ciecz w stanie naładowanego elektrostatycznie areozolu (rys. 8). Duża prędkość początkowa strumienia cząstek areozolu zapewnia dobrą penetrację łanu, a wprowadzenie na cząstki cieczy ładunku elektrycznego zapewnia lepsze jego pokrycie, ponieważ jako naelektryzowane ujemnie przyciągane są przez opryskiwane rośliny na zasadzie różnicy potencjału. Elektroda ujemna znajduje się obok dyszy rozpylającej, blisko przepływającego strumienia cieczy roboczej. Ładunki dodatnie skierowane są natomiast w stronę metalowych części opryskiwacza mających również potencjał dodatni, dlatego krople cieczy nie osiadają na nich.



Rysunek 8. Schemat działania rozpylacza wytwarzającego elektroareozol
Źródło: Szulc i Sobkowiak, 2010 (42)

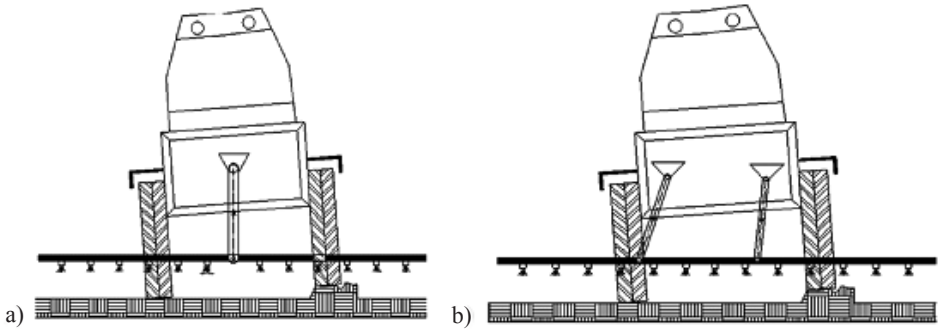
W naszym kraju opracowano i przebadano prototyp opryskiwacza elektroareozolowego, przeznaczonego do ochrony zwartych i wysokich upraw polowych. Badania (45) przeprowadzone na plantacji kukurydzy, rzepaku oraz ziemniaków z zastosowaniem różnych pestycydów polegały na porównaniu skuteczności niskoobjętościowego opryskiwania dyszami naddźwiękowymi z systemem elektrostatycznego ładowania kropel cieczy ze skutecznością opryskiwania tradycyjnym opryskiwaczem. Stwierdzono, że skuteczność ochrony kukurydzy tą techniką była wyższa, gdy stosowano ładowanie elektrostatyczne cieczy użytkowej. Efektywność zwalczania szkodników rzepaku dawką 40 $l \cdot ha^{-1}$ po zastosowaniu drobnokroplistego oprysku z użyciem głowic naddźwiękowych z ładowaniem elekrostatycznym była równie wysoka jak standardowy zabieg wykonany tradycyjną techniką i dawką 320 $l \cdot ha^{-1}$. Natomiast opryskiwanie tą techniką ziemniaka zapewniło lepsze pokrycie spodnich stron blaszek liściowych niż opryskiwanie wykonane z użyciem tradycyjnej techniki. Wyniki badań pokazały, że technologia wytwarzania strumienia cieczy naładowanego elektrycznie jest obiecująca i umożliwia lepsze pokrycie trudno dostępnych partii roślin.

Rozwój zespołów do aplikacji pestycydów

Zwiększanie wydajności i efektywności pracy opryskiwaczy uzyskiwane jest głównie w wyniku stosowania coraz większych prędkości i szerokości roboczych. W związku z tym, niezbędne stało się stosowanie nowych rozwiązań mechanizmów zawieszenia belek polowych, które zapewniają odpowiednie ich położenie nad opryskiwanymi roślinami. Prócz mechanizmów do regulacji wysokość pracy belki stosuje się takie układy ich zawieszenia, które zapewniają utrzymanie belki polowej na stałej wysokości, niezależnie od chwilowych wychyleń opryskiwacza na polu. W chwili obecnej sztywne zawieszanie belki polowej stosowane jest tylko w opryskiwaczach o szerokości roboczej nie większej niż 12 m. Natomiast w opryskiwaczach o większych szerokościach roboczych stosowane są układy (37, 38, 40), które podczas pracy utrzymują ich równoległe położenie w stosunku do opryskiwanej powierzchni, niezależnie od jej pochylenia. W praktyce stosowane są układy zawieszenia trapezowego oraz wahadłowego (rys. 9). W najprostszych mechanizmach tego typu utrzymanie poziomego położenia belki nad opryskiwaną powierzchnię następuje samoczynnie w wyniku siły grawitacji. W bardziej skomplikowanych rozwiązaniach stosowane są ponadto układy elektryczne lub hydrauliczne, które dają możliwość ustawienie kąta pochylenia belki polowej także operatorowi opryskiwacza.

W układach zawieszenia belek o bardzo dużych szerokościach roboczych, stosowane są często dodatkowe elementy konstrukcyjne, które utrzymują niezależnie od siebie położenie prawej i lewej strony belki opryskiwacza. Zazwyczaj w tego typu rozwiązaniach wykorzystuje się urządzenia elektroniczne (np. czujniki ultradźwiękowe), mierzące na bieżąco położenie belki nad opryskiwanym łanem roślin

i przekazujące zebrane dane do komputera, który wysyła sygnały do mechanizmów hydraulicznych lub pneumatycznych, decydujących o położeniu belki polowej (7, 28). Niezależnie od zastosowanego rozwiązania układu poziomowania belki polowej niezbędne jest zamontowanie na jej końcach ograniczników przechylenia lub osłon korpusu rozpylaczy, które mają na celu zabezpieczenie przed uderzeniem o ziemię skrajnych segmentów belki w czasie gwałtownych pionowych ruchów (15). Odpowiednie ustawienie belki polowej nad opryskiwanym łanem wpływa na zmniejszenie ryzyka znoszenia rozpylonej cieczy. W chwili obecnej zaleca się, aby belkę polową prowadzić na wysokości 40÷60 cm od opryskiwanej powierzchni. Wyniki badań wskazują, że zastosowanie rozpylaczy o większym kącie oprysku, z równoczesnym zmniejszeniem wysokości nad opryskiwaną powierzchnią poprawia równomierność naniesienia cieczy roboczej i redukuje znoszenie (20).



Rysunek 9. Schematy działania układów zawieszenia belek: a) wahadłowego, b) trapezowego
Źródło: Lipiński i in. 2011 (31)

W polowych opryskiwaczach ciśnieniowych coraz częstszym rozwiązaniem jest zastosowanie pomocniczego strumienia powietrza (PSP), który poprawia penetrację roślin i ogranicza znoszenie kropel cieczy. Strumień powietrza wytwarzany jest przez odpowiednio skonstruowany i wydajny wentylator lub zespół dwóch wentylatorów, które wtłaczają go z dużą prędkością w zwężający się stopniowo rękaw. W przypadku opryskiwaczy polowych rękaw jest składany i rozkładany wraz z belką, a podczas pracy powietrze wypływa przez specjalne otwory lub szczeliny i porywa krople cieczy wytwarzane przez rozpylacze szczelinowe lub wirowe usytuowane poniżej rękawa. Mała odległość belki od roślin oraz transportowanie kropel cieczy w strumieniu powietrza powoduje ich rozchylanie, co pozwala na skuteczniejsze naniesienie preparatu oraz mniejsze znoszenie przez wiatr. Taka technika oprysku znalazła również zastosowanie w opryskiwaczach sadowniczych, w których rękawy montowane są na rozkładanej ramie mocowanej na tylnym układzie zawieszenia ciągnika. Każdy rękaw ma po bokach dwie szczeliny, w których zamontowane się rozpylacze. Przed rozpoczęciem oprysku są one opuszczane pionowo w dół, a następnie każdy zasilany jest niezależnie w powietrze przez pracujący u góry wentylator. Opryskiwacz jednorzędowy posiada dwa rękawy, a dwurzędowy cztery, przy czym odległość

każdego z nich od rzędów drzew jest niezależnie regulowana. Podczas pracy z lewej i prawej szczeliny roboczej rękawa pracującego w danym międzyrzędziu następuje emisja strumieni powietrza, które porywają krople rozpylonej cieczy roboczej i nanoszą je na rzędy drzew.

W opryskiwaczach sadowniczych doskonalone są systematycznie podzespoły decydujące o efektywności i skuteczności wykonywanych zabiegów, na przykład konstrukcje zespołów wentylatorów osiowych. Opracowano wiele rozwiązań opryskiwaczy wielowentylatorowych, ale także różne wersje wentylatorów dwuwirnikowych (23). Najprostsze z nich to wentylatory z dwoma wirnikami zamocowanymi na jednym wałku, ale o przeciwnie pochylonych łopatkach wirnika. Podczas pracy każdy z wirników wytwarza strumień powietrza skierowany tylko na jedną stronę opryskiwacza. W ten sposób ograniczono wirowanie i niesymetryczny wypływ powietrza, co jest zasadniczą wadą wentylatorów osiowych. Poprawiło to znacznie równomierność przepływu powietrza, ale przy obrotach wirnika przeciwnych do ruchu wskazówek zegara z lewej strony strumień powietrza był skierowany ku dołowi, a z prawej ku górze. Dopiero zastosowanie przekładni z dwoma współosiowymi, ale przeciwnie skierowanymi wałkami pozwoliło na skonstruowanie wentylatorów dwuwirnikowych o niemal symetrycznym wypływie strumieni powietrza z lewej i prawej szczeliny wylotowej.

Jednym z ciekawszych rozwiązań stosowanych w opryskiwaczach z kolumnowym systemem emisji powietrza jest stosowanie wentylatorów z odwrotnym ciągiem strumienia powietrza. Koncepcja kierowania powietrza ku tyłowi, czyli przeciwnie do kierunku ruchu opryskiwacza, znalazła ostatnio szersze zastosowanie (23). Odchylenie kierunku strumienia powietrza ku tyłowi zwiększa czas penetracji korony oraz umożliwia regulację kierunku strumienia powietrza. Opryskiwacz jest wówczas wyposażony w deflektory z zawiasowo mocowaną szczeliną wylotową powietrza, która pozwala na zmianę kierunku emisji jego strumienia. Regulacja przeprowadzana może być ręcznie, ale możliwa jest także przy użyciu siłowników hydraulicznych lub elektrycznych. Służy ona lepszemu wykorzystaniu środków ochrony roślin oraz ograniczeniu zjawiska znoszenia kropel cieczy.

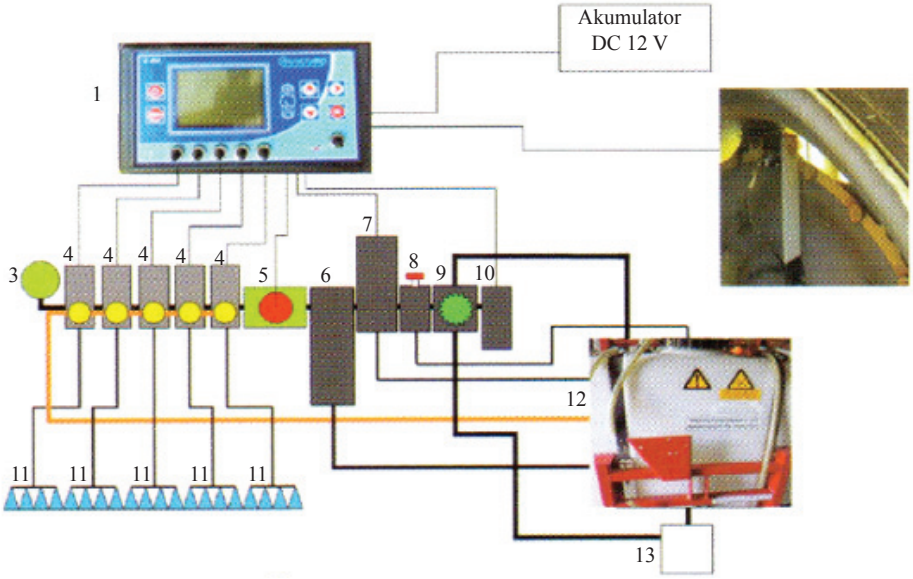
W związku z tym, że intercepcja strumienia cieczy roboczej przez uprawy sadownicze zależy od ulistnienia drzew i jest znacznie niższa w okresie kwitnienia (5÷10%), a stosowanie tradycyjnych opryskiwaczy wentylatorowych nie daje możliwości ograniczenia związanych z tym strat, opracowane zostały bardziej efektywne rozwiązania. Są to różniące się konstrukcją opryskiwacze recyrkulacyjne (tunelowe, kolektorowe i reflektorowe), które umożliwiają odzyskanie i powtórne wykorzystanie znacznej części traconej przez standardowy opryskiwacz cieczy. Najbardziej efektywne po tym względem, a zarazem najbardziej bezpieczne dla środowiska okazały się opryskiwacze tunelowe (21), w których zastosowanie układu recyrkulacji cieczy opryskowej zmniejsza zużycie pestycydów o 20% w fazie pełnego ulistnienia i o 40% w okresie kwitnienia.

Postęp w precyzyjnej aplikacji pestycydów

W warunkach terenowych uzyskanie optymalnych parametrów pracy opryskiwaczy jest bardzo utrudnione, głównie z powodu zmian nachylenia pól, poślizgu oraz oporów toczenia kół napędowych. W związku z tym, wykorzystywane są coraz częściej elektroniczne układy do pomiaru prędkości roboczej, wydatków i ilości zużytej cieczy oraz opryskanej powierzchni. Ułatwiają one operatorowi przeprowadzanie odpowiednich korekt parametrów ich pracy podczas wykonywania zabiegu. Problemy z tym związane w pełni rozwiązały dopiero układy automatycznego sterowania dawką cieczy, czyli tzw. komputery pokładowe (48, 49). Składają się one z programowanego sterownika mikroprocesorowego, czujników prędkości roboczej i ciśnienia, przepływomierza i elektrycznych zaworów regulacji ciśnienia (rys. 10).

Zasada działania elektronicznego zespołu sterującego umożliwia utrzymanie stałej dawki cieczy przez zmianę ciśnienia, w zależności od prędkości roboczej. Przed rozpoczęciem pracy założone parametry oprysku wprowadzane są do sterownika (dawka cieczy, ciśnienie robocze). Podczas zabiegu czujniki prędkości dokładnie monitorują prędkość rzeczywistą agregatu. Przy spadku prędkości układ automatycznie ogranicza przepływ cieczy do rozpylaczy przez obniżenie ciśnienia. Natomiast zwiększa przepływ podnosząc ciśnienie, gdy prędkość robocza się zwiększa. Automatyczną regulację dawki cieczy przez zmianę ciśnienia można jednak przeprowadzać tylko w ograniczonym do pewnego zakresu wydatku jednostkowym rozpylaczy. Pełny zakres regulacji wymaga zmiany rozpylaczy, bowiem przy zmianie ciśnienia następuje zmiana wielkości kropli.

Znacznym postępem w zakresie możliwości poszerzenia zakresu regulacji dawki oprysku było zastosowanie w praktyce dwu- oraz czterorozpylaczowych głowic VarioSelect z układem pneumatycznym, który umożliwia automatyczną zmianę rozpylaczy i aplikację zmiennych dawek cieczy roboczej. Praca w trybie Vario zapewnia w pełni automatyczne sterowanie poszczególnymi rozpylaczami, co pozwala na regulację dawki cieczy roboczej zgodnie z mapą aplikacji bez względu na prędkość roboczą. Praca w trybie Select polega na zdalnym ręcznym włączaniu i wyłączaniu poszczególnych rozpylaczy lub kombinacji rozpylaczy.

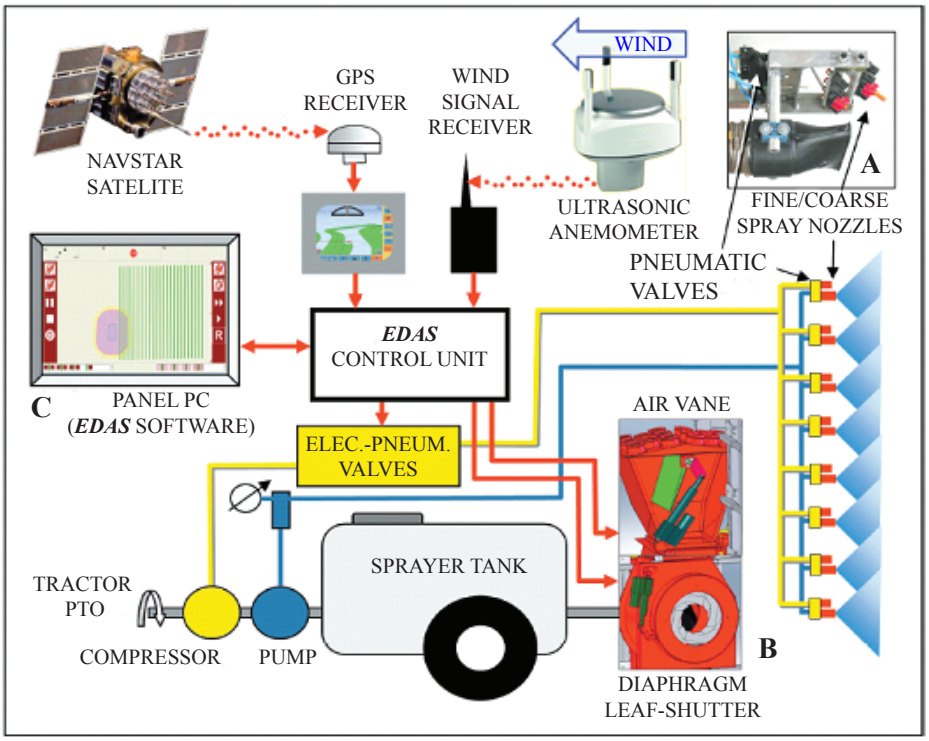


Rysunek 10. Schemat układu automatycznego sterowania dozowaniem cieczy:
1 – komputer sterujący, 2 – czyjnik prędkości jazdy, 3 – manometr, 4 – elektrozawór kompensacyjny sekcji, 5 – przepływomierz, 6 – filtr ciśnieniowy, 7 – elektrozawór do regulacji ciśnienia cieczy, 8 – zawór rozadniacza, 9 – zawór regulacji ciśnienia, 10 – elektrozawór odcinający, 11 – sekcja belki, 12 – zbiornik, 13 – pompa

Źródło: Zagórda i Walczykowa, 2015 (48)

W Polsce opracowano ponadto układ o nazwie VarioWindSelect, który służy do automatycznej zamiany rozpylaczy w opryskiwaczu sadowniczym, w zależności od prędkości wiatru. Zastosowano w nim pneumatycznie sterowaną głowicę dwurozpylaczową i sterownik połączony z elektronicznym miernikiem prędkości wiatru. Gdy podczas pracy opryskiwacza prędkość wiatru nadmiernie wzrasta, to sygnał ze sterownika odcina dopływ cieczy do rozpylaczy tradycyjnych i kieruje ją do rozpylaczy eżektorowych, które wytwarzają krople mniej podatne na znoszenie. Opracowano również system automatycznego sterowania parametrami pomocniczego strumienia powietrza opryskiwacza sadowniczego (rys. 11). W zależności od kierunku wiatru układ ten za pomocą kierownicy kieruje na boki strumień powietrza asymetrycznie lub symetrycznie, a ponadto za pomocą specjalnej diafragmy płynnie reguluje ilość powietrza emitowanego przez wentylator.

Kierowanie cieczy roboczej w miejsca, w których nie ma chronionych roślin uprawnych lub chwastów jest nieuzasadnione, ale nie byłoby możliwe bez wykorzystania osiągnięć elektroniki, informatyki, telekomunikacji, mechaniki precyzyjnej i automatyki. Szczególnie duży postęp jaki się dokonał w tych dziedzinach przyśpiesza rozwój precyzyjnej techniki ochrony roślin polegającej na stosowaniu zabiegów tylko w miejscu plantacji, gdzie jest to konieczne, zastosowaniu optymalnej ilości środka niezbędnego do ograniczenia agrofaga i wykonaniu zabiegu w optymalnym terminie (2, 13, 14, 19, 29).



Rysunek 11. Schemat układu automatycznej regulacji strumienia cieczy roboczej i pomocniczego strumienia powietrza

Źródło: Doruchowski i in., 2009 (14)

Wdrożenie precyzyjnych technik ochrony roślin do praktyki wymaga zastosowania nowoczesnych technologii do realizacji takich niezbędnych czynności jak: identyfikacja zmienności miejscowej, określenie jej położenia na polu (pozycjonowanie) i sporządzenie mapy zmienności. Uzyskane podczas tych analiz dane są dopiero podstawą do realizacji procesu zmiennego dozowania środka ochrony roślin. Zmienną aplikację preparatów można realizować w oparciu o zdjęcia satelitarne i układy pozycjonowania lub bezpośrednio podczas ruchu maszyny, czyli w rzeczywistym czasie pracy.

Powszechnie stosowany jest już system nawigacji satelitarnej GPS (ang. *Global Positioning System*), który umożliwia użytkownikom nie dysponującym systemami korekcyjnymi lokalizację obiektów na ziemi z dokładnością od 3 do 12 m. Pozwala to na nawigację w transporcie lądowym i morskim, a w rolnictwie jedynie na zarządzanie parkiem maszynowym. Wiarygodne mapowanie plonu oraz cech gleb lub upraw zaczyna się od dokładności pozycjonowania rzędu 1 m, a automatyczne sterowanie maszynami rolniczymi wymaga dokładności poniżej 1 m (10). Wymaga to korygowania sygnałów GPS przez zewnętrzne systemy wspomagające, zwane systemami różnicowymi DGPS (ang. *Differentia GPS*). Poprawki różnicowe wysyłane są przez naziemne stacje o dokładnie znanym położeniu lub satelity geostacjonarne.

W pierwszym przypadku zasięg sygnałów korygujących jest ograniczony do kilku lub kilkunastu kilometrów, w zależności od mocy nadajnika stacji bazowej. O wiele większe możliwości daje kombinacja stacji naziemnych i satelitów geostacjonarnych, które tworzą zintegrowany system różnicowy.

Systemy wykorzystujące sygnał z satelity i stacji naziemnej, stanowiącej punkt odniesienia, pracują z dokładnością rozdzielczości wykonanej fotografii pola (satelitarnej lub lotniczej). Podczas zabiegu komputer analizuje fotografię i steruje parametrami pracy opryskiwacza tak, aby dawki cieczy odpowiadały w danym miejscu rzeczywistym potrzebom. Sporządzanie i ocena map zmiennej aplikacji są niestety często długotrwałe, trwają kilka dni albo dłużej. Dlatego bardziej przydatne są rozwiązania pracujące w czasie rzeczywistym, które określają na bieżąco w danym miejscu potrzebną dawkę środka ochrony i bezpośrednio po tym ją aplikują. Jedynym ich ograniczeniem jest zapewnienie odpowiedniej szybkość analizy danych, która musi być dostosowana do prędkości roboczej opryskiwacza.

Nanoszenie preparatów tylko na chronione rośliny z pominięciem ich otoczenia jest istotą precyzyjnej techniki opryskiwania. Takie rozwiązania są możliwe tylko dzięki wykorzystaniu najnowocześniejszych technologii. Umieszczone na inteligentnym opryskiwaczu sensorowym czujniki (rys. 12), najczęściej po kilka z każdej strony maszyny, podczas jazdy skanują rośliny, monitorując równocześnie odbicie fali świetlnej lub dźwiękowej. Zgodnie z otrzymywanymi z czujników sygnałami, rozpylacze lub sekcje rozpylaczy umieszczone obok nich włączają się lub wyłączają w zależności od tego, czy przed rozpylaczami znajduje się obiekt ochrony czy wolna przestrzeń. Pozwala to na różnicowanie ilości emitowanej cieczy roboczej, ale z zachowaniem odpowiedniej dawki oprysku na zlokalizowane przez czujniki rośliny.

Rysunek 12. Ogólny widok prototypu inteligentnego opryskiwacza sadowniczego CASA
Źródło: opracowanie własne

Inteligentne opryskiwacze sensorowe budzą zainteresowanie ze względu na duże możliwości ograniczenia dawek cieczy i środków ochrony roślin oraz zmniejszenie ryzyka znoszenia cieczy. Oszczędności są tym większe, im większa jest zmienność zagęszczenia opryskiwanych roślin. W zależności od terminu zabiegu oraz wieku i gatunku drzew, przy użyciu czujników ultradźwiękowych uzyskiwane są w sadzie oszczędności od około 20 do 60%. Na uwagę zasługuje fakt, że oszczędności te nie pociągają za sobą pogorszenia skuteczności zabiegów zwalczających choroby i szkodniki, ale umożliwiają znaczną redukcję emisji środków ochrony do środowiska (2, 14).

Podsumowanie

W technice aplikacji pestycydów za pomocą opryskiwaczy kluczowe znaczenie ma jakość rozpylenia cieczy roboczej, która decyduje o wielkości i jednorodności kropel oraz możliwość regulacji tych parametrów. Bardzo istotny jest także sposób emisji strumienia rozpylonej cieczy w kierunku opryskiwanej powierzchni roślin z uwzględnieniem jego odporności na znoszenie, odparowanie, zdolności do penetracji i równomierności naniesienia. Zdecydowanie najbardziej powszechnym rozwiązaniem są rozpylacze ciśnieniowe, które są systematycznie doskonalone pod kątem poprawy parametrów pracy. Znajdują one zastosowanie również w układach z pomocniczym strumieniem powietrza (PSP), polem elektrycznym czy też rozpylaczach dwuczynnikowych. Stosowane są także rozpylacze pneumatyczne, a ze względu wysoką jakość rozpylania cieczy coraz szersze zastosowanie w praktyce znajdują rozpylacze rotacyjne.

W zakresie precyzyjnego sterowania opryskiwaczami największy postęp widoczny jest w kolejnych generacjach komputerów pokładowych, które łączą w sobie coraz więcej funkcji. Umożliwiają one regulację wydatku rozpylaczy w celu zachowania stałej dawki cieczy, nawigację satelitarną i wizualizację ruchu opryskiwacza na mapie pola, obsługują sygnały GSM oraz rejestrują parametry zabiegów. Dlatego zamiast stosowania kilku urządzeń i rozbudowy magistrali komunikacyjnej między nimi, w kabinie ciągnika znajduje się najczęściej jedno urządzenie z dużym wyświetlaczem ciekłokrystalicznym, który umożliwia jego obsługę poprzez ekran dotykowy.

Poziom zainteresowania precyzyjnymi technikami ochrony roślin systematycznie rośnie, ale skala praktycznego zastosowania jest ograniczona do grona dysponujących odpowiednimi możliwościami technicznymi specjalistów. Należy jednak stwierdzić, że w miarę zmniejszania się kosztów zaawansowanych systemów elektronicznych oraz informatycznych, rosnącego poziomu wykształcenia producentów i zaostrzających się wymagań w zakresie bezpieczeństwa produktów i środowiska, techniki te będą wdrażane do praktyki coraz szybciej.

Literatura

1. ANSI/ASAE S572.1: 2009. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. ASABE Standards, pp. 4.
2. Balsari, P., Doruchowski, G., Marucco, P., Tamagnone, M., Van de Zande, J., Wenneker, M.: The development of a Crop Identification System (CIS) able to adjust the spray application to the target characteristics. 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Technique in Fruit Growing, 2007, Alnarp, Sweden, Book of Abstracts: 17-18.
3. Bolly G., Huyghebaert B., Mostade O., Oger R.: Comparative study of anti-drift nozzles wear. Meded. Fac. Landbouww University, Gent, 2002.
4. Bott J.: Nowe rozwiązania w konstrukcji rozpylaczy marki Albuz. Mat. Konf. Racjonalna Technika Ochrony Roślin, Poznań, 2007: 128-130.
5. Czaczyk Z.: Drop-size classification according to requirements of pesticides labels. Progres in Plant Protection, 2014, **54(1)**: 111-120.
6. Czaczyk Z., Fritz B.K., Hoffmann W.C.: Problems with determination of spraying characteristics. International Advances Pesticide Application, Aspect of Applied Biology, 2014, **122**: 405-410.
7. Deprez K., Anthonis J., Ramon H., Van Brussel H.: Development of a Slow Active Suspension for Stabilizing the Roll of Spray Booms, Part 1: Controller Design. Biosystems Engineering, 2002, **81(3)**: 273-279.
8. Dorr G. J., Hewitt A.J., Adkins S.W., Hanan J., Zhang H., Noller B.: A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. Crop Prot., 2013, 53: 109-117.
9. Doruchowski G.: Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. Inżynieria Rolnicza, 2008, **9(107)**: 19-31.
10. Doruchowski G.: Faktyczne i potencjalne innowacje w technice ochrony upraw przestrzennych – ekspertyza. Dostępne on-line: www.agengpol.pl, 2009.
11. Doruchowski G.: Rozpylacze. Mat. Akademia Albuz, Karpacz, 2014.
12. Doruchowski G.: Technika opryskiwania w kontekście wymagań skutecznej i bezpiecznej ochrony roślin. Mat. Konf. Farmer, Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice, 2015.
13. Doruchowski G., Balsari P., Van De Zande J. C.: Development of a Crop Adapted Spray Application system for sustainable plant protection in fruit growing. Proceedings of the International Symposiumon Precision Agriculture for Fruits and Vegetables. Orlando, FL, USA. Acta Horticulturae, 2009, **824**: 251–259.
14. Doruchowski G., Świechowski W., Hołownicki R., Godyń A.: Environmentally- Dependent Application System (EDAS) for safer spray application in fruit growing. J. Hortic.Sci. Biotechnol., ISAFRUIT Special Issue, 2009, **84(6)**: 107-112.
15. Douzals J., Polveche V., Czaczyk Z.: The importance of a harmonized sprayers inspection: The SPISE manual. SPISE 7 European Worshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe Athens, Greece, 2018, September 26-28: 90-96.
16. Dziennik Urzędowy UE L 309/71. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 roku ustanawiająca ramy wspólnotowego działania na rzecz zrównoważonego stosowania pestycydów.
17. Gajtkowski A.: Technika ochrony roślin. Wyd. AR w Poznaniu, 2000.
18. Guler H., Zhu H., Ozkan H.E., Derksen R.C., Yu Y., Krause C.R.: Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. Transactions of the ASABE, 2007, **50(3)**: 745-754.
19. Hammer K.-H.: Sensing Plant Parameters and Variable Rate Fungicide and Herbicide Sprayingin Real Time. Book of Abstracts: 2nd Conference on Precision Crop Protection. Bonn, 2007: 10-12.
20. Herbst A.: SPISE guidelines on how make sprayer adjustment at the Workshop as an addition to the functional inspection of field crop sprayers. Fifth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe SPISE5. October 15-17, Montpellier, France, 2014: 110-119.

21. Hołownicki R.: Tunelowa technika ochrony sadów intensywnych jako metoda ograniczenia zużycia pestycydów i zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Rozprawa habilitacyjna, Skierniewice, 1996.
22. Hołownicki R.: Perspektywy zastosowania koncepcji rolnictwa precyzyjnego w ochronie roślin. Postępy w Ochronie Roślin, 2004, **44(1)**: 104-113.
23. Hołownicki R.: Technika opryskiwania roślin dla praktyków. Wyd. Plantpress. Kraków, 2006.
24. Hołownicki R., Doruchowski G.: Rola techniki opryskiwania w ograniczaniu skażenia środowiska środkami ochrony roślin. Inżynieria Rolnicza, 2006, **5**: 239-247.
25. Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W., Godyń A.: Dobra Praktyka - ograniczanie znoszenia środków ochrony roślin w uprawach sadowniczych. Wyd. Instytutu Ogrodnictwa, Skierniewice, 2016.
26. https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/tylko-30l-ha-cieczy-roboczej-zobacz-opryskiwacz-danfoil,77329.html (data dostępu: 28.05.2019 r.)
27. ISO 10625: 2018. Equipment for crop protection – Sprayer nozzles – Colour coding for identification, pp. 5.
28. Jeon H.Y., Womac A.R., Wilkerson J.B., Hart W.E.: Sprayer boom instrumentation for field use. Transactions of the ASABE, 2004, **47(3)** : 659– 666.
29. Knewitz, H., Weisser, P., Koch, H.: Drift-reducing spray application in orchard and biological efficacy of pesticides. International advances in pesticide application. Asp. Appl. Biol, 2002, **66**: 231–236.
30. Langman J., Pedryc N.: Ocena rozpylaczy płaskostrumieniowych na podstawie charakterystyki rozkładu poprzecznego strugi cieczy. Inżynieria Rolnicza, 2003, **10(52)**: 269-276.
31. Lipiński A. J., Sobotka M., Lipiński S.: Przegląd systemów stabilizacji belek polowych opryskiwaczy. Inżynieria Rolnicza, 2011, **8(133)**: 181-187.
32. Micro-system: Zastosowanie atomizerów rotacyjnych w ochronie roślin. SGGW, Warszawa, 2016.
33. Mostade O., Huyghebaert B., Miserque O., Sawa J.: Iniekcyjne dozowanie pestycydów w opryskiwaczach rolniczych. Acta Sci. Pol. Technica Agraria, 2002, **1(2)**: 13-21.
34. Mrówczyński M., Roth M.: Zrównoważone stosowanie środków ochrony roślin. Problemy Inzynierii Rolniczej, 2009, **2**: 93-97
35. PN-EN ISO 16122-1: 2015-07. Maszyny rolnicze i leśne – Badania kontrolne opryskiwaczy w sferze użytkowania. Część 1: Postanowienia ogólne
36. PN-EN ISO 16122-2: 2015-07. Maszyny rolnicze i leśne – Badania kontrolne opryskiwaczy w sferze użytkowania. Część 2: Opryskiwacze z belką poziomą.
37. Popławski Z., Szulc T.: Innowacyjne rozwiązania w technice ochrony roślin. Cz.1. Elementy wyposażenia rolniczych opryskiwaczy polowych. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2010, **1**: 17-22.
38. Sobotka, M., Lipiński, A. J.: Nowa konstrukcja układu stabilizacji belki polowej opryskiwacza zawieszanego. Inżynieria Rolnicza, 2015, **1(153)**: 127-132.
39. Szewczyk A., Łuczycka D., Owsiak Z., Cieniawska B.: Effect of droplet size on coverage of sprayed objects. Progres in Plant Protection, 2013, **53(4)**: 822-828.
40. Szulc T.: Systemy stabilizacji belek polowych – cel równomierny oprysk. Rolniczy Przegląd Techniczny, 2011, **3(145)**: 52-54.
41. Szulc T., Czaczyk Z.: Problematyka określania klas jakości rozpylania dla potrzeb etykiet środków ochrony roślin. Mat. XI Konf. Racjonalna Technika Ochrony Roślin. Inst. Ogrodnictwa, Skierniewice, 2013.
42. Szulc T., Sobkowiak B.: Wyniki badań polowych i laboratoryjnych opryskiwacza wykorzystującego system oprysku z użyciem elektroareozoli. Mat. IX Konf. Racjonalna Technika Ochrony Roślin. Inst. Ochr. Roślin, Poznań, 2010.
43. Ukleja M.: Prosta iniekcja. Rolniczy Przegląd Techniczny, 2002, **1**: 16.

44. Wachowiak M., Kierzak R.: Progres in plant protection techniques – selected issues. Progres in Plant Protection, 2010, **50(4)**: 1661-1670.
45. Wachowiak M., Kierzak R., Kacprzyk R.: Application of electro-aerosol spray to pest control in high and dense crops. Progres in Plant Protection, 2011, **51(4)**: 1497-1504.
46. Werner T.: Opryskiwacze. Hasło Ogrodnicze, 2005, 1 (https://www.ho.haslo.pl/).
47. Węgrzyn A., Leszczyński N.: Nowe wymagania w zakresie bezpiecznego stosowania środków ochrony roślin. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2013, **4**: 16-17.
48. Zagórda M., Walczykowa M.: Techniczne i ekonomiczne aspekty dostosowania opryskiwacza polowego do celów rolnictwa precyzyjnego. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2015, **6**: 18-22.
49. Zagórda M., Juliszewski T., Kiełbasa P., Nawara P., Dróżdż T., Trzyniec K.: Sterowanie sygnałem elektrozaworów na podstawie sygnału z panelu nawigacyjnego Trimble CFX-750 z modułem Field-IQ. Przegląd Elektrotechniczny, 2017, **12(93)**: 199-202.
50. Zalewski P.: Problemy rolnictwa precyzyjnego. Inżynieria Rolnicza, 2000, **8(19)**: 15-23.

Adres do korespondencji:

dr inż. Adam Węgrzyn
Zakład Maszyn Ogrodniczych i Leśnych
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin
tel.: 81 531 96 52
*e-mail: adam.wegrzyn@up.lublin.*pl

AUTOR	ORCID
Stanisław Parafiniuk	0000-0002-8566-6527
Adam Węgrzyn	0000-0001-6524-1428