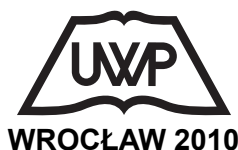


**Analiza ustawienia, parametrów
i warunków pracy rozpylacza
w aspekcie jakości opryskiwania
upraw polowych**

Antoni Szewczyk

**Analiza ustawienia, parametrów
i warunków pracy rozpylacza
w aspekcie jakości opryskiwania
upraw polowych**



Opiniodawca
prof. dr hab. inż. Ryszard Hołownicki

Redaktor merytoryczny
prof. dr hab. Zygmunt Owskiak

Opracowanie redakcyjne
dr Ewa Jaworska

Korekta:
Janina Szydłowska

Łamanie
Teresa Alicja Chmura

Projekt okładki
Halina Sebzda

Monografie XCVII

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2010

ISSN 1898–1151
ISBN 978–83–7717–003–8

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU
Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki
ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel. 71 328–12–77
e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 100 + 16 egz. Ark. wyd. 8,8. Ark. druk. 8,25
Druk i oprawa: F.P.H. „ELMA”

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń.....	7
Wykaz ważniejszych terminów stosowanych w pracy.....	9
1. Wstęp.....	13
2. Przegląd literatury	16
2.1. Ocena pracy opryskiwacza a jakość zabiegu opryskiwania	17
2.2. Wpływ warunków i parametrów pracy opryskiwacza na zjawisko znośności cieczy roboczej.....	22
2.3. Wpływ ustawienia belki polowej na pozycję rozpylacza w stosunku do opryskiwanych obiektów.....	26
2.4. Wpływ warunków i parametrów pracy rozpylacza na rozkład opadu cieczy i jakość opryskiwania	29
2.5. Tendencje rozwojowe w technice ochrony roślin w aspekcie wydajności i jakości opryskiwania	31
3. Sformułowanie problemu badawczego.....	37
4. Cel i zakres pracy	39
5. Metodyka badań	41
5.1. Sposób realizacji celów pracy.....	42
5.2. Metodyka badań laboratoryjnych	44
5.2.1. Badania rozkładu poprzecznego opadu rozpylonej cieczy w warunkach statycznych	44
5.2.2. Badania rozkładu podłużnego opadu rozpylonej cieczy w warunkach statycznych i dynamicznych.....	49
5.2.3. Badania wpływu warunków i parametrów pracy rozpylacza na wartość wskaźnika opadu rozpylonej cieczy W_{so}	51
5.2.4. Badania stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów	52
5.3. Metodyka badań polowych	59
5.3.1. Badania stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów w łanie uprawy wysokiej	60
5.3.2. Badania stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów w warunkach uprawy niskiej	62
6. Wyniki badań.....	63
6.1. Wyniki badań laboratoryjnych.....	63
6.1.1. Wpływ przyjętych parametrów ustawienia rozpylaczy na charakterystykę opadu rozpylonej cieczy	63
6.1.2. Wpływ ustawienia rozpylacza na rozkład podłużny opadu cieczy	70
6.1.3. Wyniki badań stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów	80

6.2. Wyniki badań polowych	89
6.2.1. Wpływ warunków pracy i ustawienia belki polowej na stopień pokrycia w warunkach opryskiwania uprawy wysokiej.....	89
6.2.2. Wpływ warunków pracy i ustawienia belki polowej na stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni w warunkach opryskiwania uprawy niskiej	92
6.3. Wyniki opracowań teoretycznych.....	95
6.3.1. Model matematyczny wskaźnika opadu rozpylonej cieczy W_{so}	96
6.3.2. Model matematyczny wskaźnika stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni P_{sp}	99
6.3.3. Analiza współzależności między wskaźnikiem opadu rozpylonej cieczy W_{so} a wskaźnikiem stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni P_{sp}	105
7. Podsumowanie i dyskusja nad wynikami.....	107
8. Wnioski.....	114
9. Piśmiennictwo	116

Wykaz ważniejszych oznaczeń

A	– opryskiwany obiekt,
A_{pi}	– opryskiwany obiekt pionowy,
A_{nj}	– opryskiwany obiekt pionowy najazdowy,
A_{oj}	– opryskiwany obiekt pionowy odjazdowy,
A_{nw}	– opryskiwany obiekt pionowy nawietrzny,
A_{zw}	– opryskiwany obiekt pionowy zawietrzny,
A_{pig}	– opryskiwany obiekt pionowy górny,
A_{pid}	– opryskiwany obiekt pionowy dolny,
A_w	– opryskiwany obiekt pionowy wewnętrzny
A_z	– opryskiwany obiekt pionowy zewnętrzny,
A_{po}	– opryskiwany obiekt poziomy,
A_{pog}	– opryskiwany obiekt poziomy górny,
A_{pod}	– opryskiwany obiekt poziomy dolny,
B	– szerokość rozpylania [m],
b_i	– współczynnik zmienności i w modelu matematycznym [-],
CV	– wskaźnik nierównomierności rozkładu poprzecznego [%],
D	– średnica kropli [μm],
F	– siła [N],
F_n	– siła lepkości [N],
h	– wysokość pracy rozpylacza (ustawienia) [m],
l	– długość odcinka pomiarowego w osi x, na którym wykonywano pomiar opadu cieczy [m],
k	– współczynnik proporcjonalności zależny od współczynnika lepkości [-],
m	– masa kropli [kg],
MVD	– średnia średnica objętościowa [μm],
p	– ciśnienie cieczy roboczej (ciśnienie rozpylania) [MPa],
P_{sp}	– stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni [%],
Q	– dawka cieczy [$\text{dm}^3 \text{ha}^{-1}$],
Q_c	– siła ciężkości [N],
q	– strumień objętości cieczy (natężenie wypływu cieczy z rozpylacza, wydatek) [$\text{dm}^3 \text{min}^{-1}$],
r	– promień kuli [m],
R^2	– współczynnik determinacji [-],
S_b	– błąd standardowy współczynnika b_i [-],
ś.o.r.	– w skrócie „środki ochrony roślin”,
t	– czas trwania pomiaru [s],

- v_0 – prędkość początkowa kropli [m s^{-1}],
- v_w – prędkość strumienia powietrza [m s^{-1}],
- v_{ww} – prędkość wypadkowa [m s^{-1}],
- v – prędkość przemieszczania nośnika rozpylacza, prędkość opryskiwacza [m s^{-1}],
- V_i – objętość cieczy zmierzona w punkcie pomiarowym [ml],
- V_c – całkowita objętość wykorzystana do pomiaru [ml],
- V_r – objętość opadu cieczy zmierzona na szerokości rozpylania rozpylacza [ml],
- WPB – wskaźnik położenia belki połowej opryskiwacza [$^\circ$],
- W_{so} – wskaźnik opadu cieczy [%],
- α – kąt ustawienia powierzchni opryskiwanej [$^\circ$],
- β – kąt asymetrii rozpylania [$^\circ$],
- γ – kąt odchylenia rozpylonej strugi w płaszczyźnie pionowej równoległej do kierunku ruchu opryskiwacza [$^\circ$],
- η – współczynnik lepkości ośrodka [-],
- φ – kąt rozpylonej strugi w płaszczyźnie poprzecznej [$^\circ$],
- φ_p – kąt rozpylonej strugi w płaszczyźnie podłużnej [$^\circ$],

Wykaz ważniejszych terminów stosowanych w pracy

Agrofag – niepożądany organizm (owad, bakteria, grzyb, nicień, chwast, wirus, gryzoń) szkodliwy dla roślin uprawnych, zwierząt, produktów wytworzonych lub produktów naturalnych [Poradnik ochrony roślin. IOR Poznań, 1994].

Belka polowa – element składowy opryskiwacza przystosowanego do opryskiwania upraw polowych; element, na którym rozmieszczone są króćce, głowice lub oprawy z rozpylaczami; budowa segmentowa belek umożliwia składanie ich do położenia transportowego; w nowoczesnych opryskiwaczach regulowanie odległości belki od ziemi odbywa się hydraulicznie, a utrzymywanie jej w położeniu równoległym do powierzchni pola jest automatyczne dzięki specjalnym urządzeniom stabilizującym [Poradnik ochrony roślin. IOR Poznań, 1994].

Ciecz robocza (ciecz użytkowa, ciecz opryskowa) – roztwór, emulsja lub zawiesina wodna środków ochrony roślin w stężeniu zalecanym do opryskiwania [PN-92/R-36601-ISO5681-1981 Maszyny i urządzenia do ochrony roślin. Terminologia].

Ciśnienie robocze – nacisk cieczy względnie powietrza na ścianki układu przewodzenia cieczy użytkowej, wykazywany na manometrze w czasie opryskiwania. Jednostką ciśnienia jest atmosfera techniczna (at), odpowiadająca ciśnieniu $1 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, odpowiada 1 barowi lub $0,1 \text{ MPa}$ [Poradnik ochrony roślin. IOR Poznań, 1994].

Dawka – ilość środka ochrony roślin stosowana na roślinę, zwierzę, jednostkę powierzchni; zwykle mierzona na hektar, na m^2 , na metr bieżący, lub na m^3 [Poradnik ochrony roślin. IOR Poznań, 1994].

Dawka techniczna – jest to stosunek natężenia przepływu lub wysypu czynnika rozprzestrzenianego z opryskiwacza do ilości stosowanej w trakcie zabiegu, szerokości roboczej i prędkości roboczej opryskiwacza [Rowiński 1994].

Jakość zabiegu – jest to wykonane w terminie agrotechnicznym osadzanie rozprzestrzenianych środków na poddanym zabiegowi obszarze, zgodnie z wymaganiami agrotechnicznymi, w zakresie dawki i równomierności jej rozkładu, przy jednoczesnej minimalizacji zagrożeń dla sąsiadujących obszarów [Rowiński 1994].

Jakość rozpylenia – jest to pojęcie ogólne, które zawiera w sobie z kolei dwa pojęcia konkretne, tj. stopień rozpylenia i jednorodność rozpylenia. Stopień rozpylenia informuje o średniej średnicy kropeł, przy czym większy stopień rozpylenia oznacza mniejszą średnią średnicę kropeł. Jednorodność rozpylenia określa rozrzut średnic kropeł, przy czym większa jednorodność rozpylenia oznacza mniejszy rozrzut średnic kropeł [Orzechowski, Prywer 1991].

Kalibrowanie, kalibracja – w sensie normalizacji: „Proces określania parametrów działania narzędzia, urządzenia lub systemu przez porównanie z normami pomiarowymi.

Kalibracja gwarantuje, że efekty działania urządzenia lub systemu spełniają lub odbiegają od pewnych zdefiniowanych kryteriów przy określaniu stopnia ufnosci. Z kalibracją związane są dwa podstawowe pojęcia dotyczące pomiarów: dokładność i precyzja. Precyzja odnosi się do najmniejszej dostrzegalnej zmiany mierzonego parametru a dokładność do rzeczywistej wielkości błędu występującego podczas kalibracji”. Kalibracja w sensie przygotowania do zabiegu ochrony roślin jest często używana jako synonim regulacji. W niektórych przypadkach w grę może wchodzić zarówno kalibracja, jak i regulacja [Kodeks DPOOR 2007 www.topps-life.org].

Ochrona roślin – zespół przepisów i zabiegów (biologicznych, agrotechnicznych, mechanicznych, hodowlanych, chemicznych) mających na celu zapewnienie maksymalnych zbiorów roślin uprawnych i ich zabezpieczenie w czasie przechowywania drogą stosowania różnych metod zwalczania agrofagów w sposób bezpieczny dla człowieka i środowiska [Poradnik ochrony roślin. IOR Poznań, 1994].

Opryskiwanie – nanoszenie na rośliny, glebę oraz inne obiekty cieczy, zawierającej środek ochrony roślin, rozpylonej na krople o średnicy 50–500 mikrometrów; zależnie od wielkości kropeł wytwarzanych przez urządzenie rozpylające rozróżnia się opryskiwanie: drobnokropliste, średniokropliste i grubokropliste [Poradnik ochrony roślin. IOR Poznań, 1994, s. 148].

Pestycydy – substancje chemiczne lub inne czynniki stosowane w celu zwalczania agrofagów lub ochrony roślin przed agrofagami [Poradnik ochrony roślin. IOR Poznań, 1994].

Pozostałości środków ochrony roślin – jedna lub większa liczba substancji aktywnych znajdujących się w roślinach lub produktach roślinnych, jadalnych produktach zwierzęcych, lub na tych roślinach, lub produktach roślinnych, jadalnych produktach zwierzęcych, lub gdziekolwiek w środowisku, stanowiące wynik stosowania środka ochrony roślin, w tym również jego metabolity oraz produkty rozpadu lub reakcji [Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin: Dz. U. z 2004 r. Nr 11, poz. 94, ze zmian.].

Rozpylanie cieczy – rozpad pod wpływem sił aerodynamicznych, przy dużych liczbach Reynoldsa, czyli przy prędkościach ok. 100 m/s następuje rozpad strugi cieczy w niedużej odległości od wylotu z rozpylacza [Orzechowski, Prywer 2008].

Stopień pokrycia powierzchni – określa procent powierzchni liścia pokrytej kroplami w stosunku do całkowitej powierzchni liścia. Wskaźnik ten można podawać w odniesieniu do obu stron liścia – górnej i dolnej [Gajtkowski 2000].

Średnia średnica kropeł – jest to wielkość umowna, która charakteryzuje zbiór jednorodnych kropeł w zastępstwie zbioru rzeczywistego (widma rozpylenia). W zależności od sposobu obliczania średnia średnica kropeł określa takie ich własności, jak liczba, średnica, powierzchnia i objętość kropeł. Wybór średniej średnicy zależy od dziedziny zastosowania rozpylonej cieczy. Średnia średnica nie daje wprawdzie informacji o samym zbiorze kropeł, lecz pomimo to jest najbardziej poglądową wielkością służącą do oceny jakości rozpylenia [Orzechowski, Prywer 2008].

Średnia średnica objętościowa – jest to średnica kropeł jednorodnego zbioru zastępczego o tej samej liczbie kropeł i takiej samej sumarycznej objętości wszystkich kropeł co w zbiorze rzeczywistym [Orzechowski, Prywer 2008].

Środki ochrony roślin, ś.o.r. – substancje aktywne lub preparaty zawierające jedną lub więcej substancji aktywnych, w postaci dostarczonej użytkownikowi, przeznaczone do: a) ochrony roślin, produktów roślinnych lub przedmiotów przed organizmami szkodliwymi lub zapobiegania występowaniu tych organizmów, b) wpływania na procesy życiowe roślin w inny sposób niż składnik pokarmowy, w tym regulator wzrostu jest substancją aktywną, przeznaczone do stosowania jako środek ochrony roślin [Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin: Dz. U. z 2004 r. Nr 11, poz. 94, ze zmian.].

Substancje aktywne, s.a. – substancje lub mikroorganizmy, łącznie z wirusami, o działaniu ogólnym lub specyficznym na organizmy szkodliwe lub rośliny, lub części roślin, lub produkty roślinne [Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin: Dz. U. z 2004 r. Nr 11, poz. 94, ze zmian.].

Strumień objętości cieczy lub strumień masy cieczy (wydatek rozpylacza) – jest cechą charakterystyczną rozpylacza i jest mierzony różnymi metodami. Najczęściej stosuje się zwężki miernicze, rotometry i różnego rodzaju przepływomierze. Największą dokładność można uzyskać przy zastosowaniu metody objętościowej, która polega na pomiarze objętości cieczy wylapanej do naczynia pomiarowego w określonym czasie, lub na pomiarze czasu napełniania naczynia pomiarowego o określonej objętości [Orzechowski, Prywer 2008].

Widmo rozpylenia – krople tworzą zbiór statystyczny, w którym zmienną losową jest średnica kropeł D. Rozkład średnic kropeł tworzy widmo rozpylenia [Orzechowski, Prywer 2008].

Wskaźnik nierównomierności rozkładu – oznacza stopień zróżnicowania ilości środka naniesionego na powierzchnię uprawy (gleby). Odnosić się on może do osiadłej dawki, gęstości oprysku lub innych wielkości. Wskaźnik nierównomierności rozkładu wyrażany jest również za pomocą współczynnika zmienności [Rowiński 1994].

Zabieg chemiczny – czynność polegająca na stosowaniu środków chemicznych w celu uzyskania pożądanego efektu biologicznego [PN-92/R-36601 – ISO 5681–1981 Maszyny i urządzenia do ochrony roślin. Terminologia].

Znoszenie – jest to niezamierzony efekt zabiegu, przejawiający się przemieszczeniem części masy rozprzestrzenionego czynnika poza obszar poddany zabiegowi [Rowiński 1994].

1. WSTĘP

Jakość zabiegów związanych z chemiczną ochroną roślin jest ważna z wielu względów. Chodzi głównie o skuteczność zabiegu, ale trzeba jednocześnie mieć na uwadze ochronę środowiska, konsumenta oraz operatora sprzętu do stosowania środków ochrony roślin. Waga tego problemu jest również niebagatelna w związku z wprowadzaniem nowych, proekologicznych metod uprawy i ochrony roślin.

Największy postęp w ochronie roślin nastąpił dzięki stosowaniu metody chemicznej i związanej z nią techniki ochrony roślin. Zmiana asortymentu środków ochrony roślin, wprowadzenie nowych, bezpieczniejszych grup chemicznych, obniżenie dawek czy zmiana formulacji w połączeniu z olbrzymim postępowaniem w precyzji i technice stosowania środków są niepodważalnymi osiągnięciami w rolnictwie, ochronie roślin i środowiska [Czaplicki 2003, Olszak i in. 2003].

Obecnie ponad 95% zabiegów i programów ochrony roślin opartych jest na stosowaniu środków chemicznych, a wartość światowego rynku ochrony roślin jest oceniana na 25 mld dolarów USA [Pruszyński 2003a]. Planowane regulacje prawne w UE mogą, niestety, doprowadzić do istotnego ograniczenia dostępności środków ochrony roślin na unijnym rynku. Według najnowszych badań włoskiego instytutu badawczego Nomisma skutkiem tych uregulowań produkcja pszenicy, ziemniaków i winogron może spaść odpowiednio o 29, 33 i 10% jeszcze przed 2020 r. [Schmider 2008].

Konieczność stosowania ochrony roślin do stabilizacji plonów oraz ochrony przechowywanych produktów nie podlega obecnie dyskusji, a przekonującym dowodem na to są dane przedstawione przez Oerke E.C. i in. [Pruszyński 2003b, Özkan 2008]. Według tych autorów, przyjmując potencjalne zbiory wszystkich upraw na świecie na 100%, bez ochrony roślin można byłoby zebrać jedynie 30,3% całości. Zabiegi ochrony roślin ograniczają straty i pozwalają zebrać kolejne 27,6%, natomiast nadal z braku ochrony, jej niewystarczającej skuteczności lub nieopłacalności ekonomicznej traci się 42,1% wszystkich plonów [Pruszyński 2003a].

Potrzeba stosowania zabiegów ochrony roślin jest rozumiana przez wszystkich, natomiast znaczne różnice dotyczą zakresu wykorzystania poszczególnych metod, szczególnie uwzględniających rezygnację ze stosowania syntetycznych środków ochrony roślin w rolnictwie ekologicznym [Pruszyński 2003b].

Poziom produkcji rolniczej jest coraz bardziej uwarunkowany stosowaniem pestycydów, należy zatem czynić możliwie jak najwięcej, by został w tym zakresie przyjęty kompromis pomiędzy zapewnieniem największych plonów, jakością produkowanych surowców oraz zagrożeniami dla środowiska, które wynikają z obecności w pestycydach

aktywnych biologicznie związków chemicznych. Te kierunki działań wpisują się w upowszechnianie idei rolnictwa zrównoważonego, którego podstawowymi elementami powinny być zrównoważone stosowanie pestycydów i technologie integrowanej produkcji roślinnej [Krawczyk i in. 2008, Mrówczyński, Roth 2009].

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele prac podkreślających znaczenie właściwie wykonanego zabiegu chemicznej ochrony roślin w aspekcie ryzyka, jakie takie działanie stwarza dla środowiska, konsumenta i operatora sprzętu [Spugnoli, Vieri 1998, Özkan 2008]. Oprócz niewątpliwych korzyści środki ochrony roślin, szczególnie stosowane nieracjonalnie, mogą powodować wiele ujemnych efektów ubocznych, w tym stanowić zagrożenie dla człowieka oraz środowiska zarówno na etapie produkcji, jak i dystrybucji, a zwłaszcza w trakcie i po ich użyciu [Oszmiańska, Mielczarek 2006, Olszak 1994, Pruszyński 2005]. Podczas oraz po aplikacji środki ochrony roślin przedostają się do środowiska, powodując jego zanieczyszczenie, są również obecne w agrocenozach. Może to prowadzić do daleko idących i trudno przewidywalnych skutków, których przykładem jest akumulacja toksycznych związków w kolejnych ogniwach łańcucha pokarmowego. Na szczególne zagrożenie narażona jest fauna glebowa i wodna [Jaworska 2000].

Osiągnięcie efektu biologicznego chemicznej ochrony roślin zależy od wielu czynników. Do najważniejszych należą rodzaj i dawka pestycydu oraz termin i warunki wykonania zabiegu. Często jednak zamierzony efekt biologiczny nie jest osiąganym z powodu niewłaściwej techniki opryskiwania [Tadel 2002b]. Technika opryskiwania roślin obejmuje szereg zagadnień związanych z doбором odpowiedniego środka technicznego (opryskiwacza) i zasad jego użycia w zależności od gatunku, fazy rozwoju chronionej rośliny, wymagań agrotechnicznych, warunków wykonania zabiegów oraz rodzaju zastosowanego pestycydu. Nowoczesne rolnictwo i wymogi ochrony środowiska naturalnego wymuszają na rolnikach i sadownikach potrzebę stałego pogłębiania wiedzy w zakresie techniki opryskiwania roślin [Matthews 2005]. Zabiegi chemicznej ochrony roślin, ze względu na ogromną wagę tego problemu w odróżnieniu od innych prac w rolnictwie, podlegają różnorodnym uregulowaniom prawnym oraz są przedmiotem licznych standardów międzynarodowych dotyczących zwłaszcza aparatury ochrony roślin [Balsari 2005].

Coraz powszechniejsza staje się wśród rolników opinia, że zabieg opryskiwania musi odbywać się z uwzględnieniem trzech podstawowych zasad:

- opryskiwać tam, gdzie jest to konieczne;
- w takiej ilości, jaka jest niezbędna;
- przy minimalnej emisji ś.o.r. do środowiska [Hołownicki 2000].

Jednak spełnienie tych zasad nie leży jedynie w gestii rolnika, wymaga nieustannego doskonalenia techniki opryskiwania oraz wdrażania najnowszych osiągnięć naukowych, dotyczących rodzaju i sposobu wykonania zabiegu.

Głównym celem opryskiwania jest ochrona potencjalnego plonu. Będzie on tym skuteczniej osiąganym, im lepsze będą parametry jakości opryskiwania. Przy ocenie zabiegu należy mieć na uwadze to, że proces nanoszenia cieczy użytkowej na opryskiwaną powierzchnię jest dość skomplikowany. Dokładne poznanie tego zjawiska przynieść może

nieocenione korzyści w postaci zwiększenia efektywności zabiegu przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości emitowanych do środowiska pestycydów.

Zabieg opryskiwania jest wykonywany w zmieniających się warunkach, często bardzo niesprzyjających procesowi nanoszenia cieczy na opryskiwane obiekty. O wydajności zabiegu decyduje nie tylko ilość środka wypryskanego na daną powierzchnię, ale też jakość samego zabiegu, która uzależniona jest od warunków pracy oraz parametrów technicznych i technologicznych zastosowanych podczas opryskiwania. Jakość zabiegu, równoznaczna z wysoką skutecznością biologiczną, uzależniona jest również od wielkości i równomierności naniesienia.

Jak dotychczas efektywność procesu opryskiwania przy uwzględnieniu bardzo dużych strat środków ochrony roślin podczas zabiegów jest bardzo niska [Rowiński 1994, Giles, Slaughter 1997, Bahrouni i in. 2008, Kierzek, Wachowiak 2009]. Wszelkie próby poprawienia tego stanu rzeczy są więc oczekiwane przez współczesne rolnictwo.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Skuteczność zabiegów chemicznej ochrony roślin przy użyciu opryskiwaczy należy łączyć z ochroną środowiska naturalnego, pozyskiwaniem zdrowej żywności, zabezpieczeniem zdrowia operatora. Niezbędne jest też przestrzeganie przepisów prawnych. W porównaniu z innymi technologiami stosowanymi w produkcji rolniczej technika ochrony roślin jest jedną z najmniej rozpoznanych dziedzin [Doruchowski i in. 1995, Tadel 2002a, 2002b].

Przy przeprowadzaniu zabiegów chemicznej ochrony roślin najistotniejsze znaczenie dla rolnika ma efektywność zabiegu. Okazuje się jednak, że jej ocena jest dość względna, tak jak w przypadku określenia progu ekonomicznej szkodliwości zagrożenia ze strony agrofagów [Krawczyk i in. 2008].

Bez względu na rodzaj i dawkę aplikowanego środka istotną pozostaje relacja zachodząca między techniką wykonywania zabiegu, a jego skutecznością. Choć wielu specjalistów z techniki ochrony roślin twierdzi, że np. takie czy inne działanie herbicydów zależy od wielkości naniesienia na opryskiwane rośliny oraz stężenia s.o.r., nie wszyscy są przekonani, że jest to tylko taka prosta relacja [Kierzek 2001, 2002], ponieważ na skuteczność zabiegów ochrony roślin, oprócz wyboru odpowiedniego środka ochrony roślin i terminu wykonania zabiegu, istotny wpływ ma dobór odpowiedniej aparatury w powiązaniu z precyzją wykonywania zabiegów. Niewłaściwie dobrana aparatura czy nieodpowiednie wykonywanie zabiegu mogą prowadzić do poważnych uszkodzeń roślin uprawnych, gdyż wiele z nich odznacza się dużą podatnością na uszkodzenia powstające w trakcie opryskiwania [Kierzek 2003, Wachowiak 2003].

Zaostrzające się regulacje prawne z zakresu ochrony środowiska naturalnego, zmierzające do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska naturalnego pestycydami, wywołały w ostatnich latach zainteresowanie nowymi technikami ochrony, które ograniczają emisję s.o.r. poza strefę opryskiwaną.

Realizowane są też programy rządowe mające na celu zmniejszenie zużycia środków ochrony i ograniczenie ich emisji do środowiska naturalnego. Skutkiem tych działań w Polsce, a także w innych krajach, jest wprowadzenie obowiązkowych szkoleń dla operatorów aparatury ochrony roślin oraz okresowe badania techniczne opryskiwaczy [Hołownicki i in. 2006, Braekman, Sonck 2005, Bolintineanu i in. 2008, Bayat i in. 2008].

Skuteczność zabiegu, w dużej mierze, zależy od stanu technicznego i przygotowania sprzętu, którym zabieg zostaje wykonany. Przygotowując opryskiwacz do pracy, należy zwrócić szczególną uwagę na przyjęcie odpowiednich do panujących warunków oraz typu opryskiwacza, parametrów pracy. O skuteczności zabiegu można prognozować

na podstawie poziomu i równomierności naniesienia cieczy roboczej, równomierności rozkładu poprzecznego oraz stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni [Hołownicki, Doruchowski 2000, Lipiński i in. 2007a, 2007b].

W praktyce rolniczej, przygotowując opryskiwacz do pracy, użytkownik zazwyczaj ustawia go zgodnie z zaleceniami, uwzględniając typ i wielkość rozpylacza, wysokość belki połowej nad opryskiwaną powierzchnią oraz w sposób orientacyjny poziomuje opryskiwacz, tak by płaszczyzna opryskiwania rozpylaczy była ustawiona pionowo do podłoża. Prawidłowy dobór rozpylaczy [Lipiński i in. 2007b] oraz ciśnienia zapewnia uzyskanie odpowiedniej wielkości kropeł [Gajtkowski 1999, Zasiewski 2001]. Najpopularniejsze kryteria doboru opryskiwacza i jego podzespołów roboczych, w tym rozpylaczy, mając na uwadze skuteczność zabiegu, przedstawił w swoim artykule Kamionka [2001].

2.1. Ocena pracy opryskiwacza a jakość zabiegu opryskiwania

Na jakość pracy opryskiwaczy ma wpływ szereg czynników technicznych, technologicznych i klimatycznych. Do najistotniejszych można zaliczyć: rodzaj sprzętu, jego stan techniczny, dobór rozpylacza, właściwe parametry oprysku, temperatura, wilgotność oraz przestrzeganie zaleceń producenta s.o.r.

Właściwe funkcjonowanie opryskiwacza jest oceniane przede wszystkim poprzez poziom i równomierność naniesienia oraz odpowiedni stopień pokrycia opryskiwanych obiektów [Szulec 1996, 1997, Gajtkowski 1999, 2000, Szewczyk, Sadło 1996, Czaczyk, Gajtkowski 2001, Langenakens i in. 1999]. Do najczęściej stosowanych kryteriów oceny jakości pracy opryskiwaczy należy wskaźnik zmienności rozkładu poprzecznego oraz stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni, ilość kropli na cm^2 oraz naniesienie cieczy opryskowej mierzone w mikrogramach na cm^2 [Langenakens i in. 1995, Szewczyk 1998, 1999, Clijmans i in. 2000a, Gajtkowski 2000, Gajtkowski, Czaczyk 2001].

Posiadanie choćby najlepszego z dostępnych na rynku sprzętu nie gwarantuje automatycznie osiągnięcia oczekiwanych rezultatów tak pod względem ekonomicznym, jak ekologicznym. Dotyczy to zarówno zabiegów ochrony roślin, jak i nawożenia mineralnego.

Osoba wykonująca zabieg ochrony roślin powinna dokonać wyboru dawki cieczy, rozpylacza oraz ciśnienia roboczego. Wybór ten ma wpływ na spektrum rozpylonej cieczy, jej jednorodność oraz zapewnia dostosowanie parametrów roboczych opryskiwacza do rodzaju wykonywanego zabiegu i panujących warunków podczas opryskiwania [Gajtkowski, Czaczyk 2001]. Parametry pracy opryskiwacza muszą być zawsze dobrane do gatunku i fazy rozwojowej rośliny uprawnej, wymagań agrotechnicznych, warunków wykonania zabiegu oraz rodzaju zastosowanego środka ochrony roślin. Bardzo pomocnym w utrzymaniu i kontroli właściwych parametrów pracy opryskiwacza jest tzw. komputer pokładowy, który ułatwia obsługę opryskiwacza oraz poprawia jakość zabiegu [Szewczyk, Sadło 1996].

Sprzyjające warunki atmosferyczne oraz sprawnie działający i należycie wyregulowany opryskiwacz powinny dawać gwarancję prawidłowego i skutecznego zabiegu. Jednak w trakcie opryskiwania, w warunkach polowych, występuje wiele czynników, które negatywnie wpływają na jakość zabiegu. Są to czynniki meteorologiczne szczególnie wiatr, którego nadmierna prędkość może nawet całkowicie uniemożliwić opryskiwanie. Jednak zupełny brak ruchu powietrza także niekorzystnie wpływa na proces pokrywania rozpyloną strugą opryskiwanych powierzchni. Zarówno z praktycznego, jak i naukowego punktu widzenia przydatna staje się więc znajomość wpływu zastosowania parametrów pracy opryskiwaczy na jakość opryskiwania.

Skuteczność działania środków ochrony roślin zależy również od stopnia pokrycia chronionych roślin. Na podstawie stopnia pokrycia rozpyloną strugą dokonuje się oceny poprawności doboru parametrów roboczych opryskiwacza, tak w przypadku opryskiwaczy polowych, jak i sadowniczych. Dlatego w wielu publikacjach naukowych i popularnonaukowych podkreślane jest znaczenie wiedzy na temat stopnia pokrycia podczas opryskiwania w zmiennych warunkach zewnętrznych oraz przy różnych nastawach opryskiwacza [Langenakens i in. 1995, Pergher i in. 1999, Zasiewski 2001, Rowiński 2002, Szewczyk 2002]. Mimo że temu zagadnieniu poświęcono wiele prac badawczych, problem nie został całkowicie wyjaśniony [Cross, Berrie 1993, Godyń i in. 2008].

Podstawowe znaczenie ma sposób określania rozłożenia cieczy użytkowej na organach opryskiwanych roślin. Często stosowaną metodą jest zastosowanie próbników w postaci papierków wodoczułych [Jiang, Derksen 1995, Hołownicki i in. 2002, Womac i in. 2004, Fietsam i in. 2004, Crowe i in. 2005]. Stopień pokrycia oceniano najczęściej za pomocą komputerowej analizy obrazu. Jest to metoda, jak stwierdza wielu badaczy, bardzo praktyczna i dość dokładna. Niesie jednak niebezpieczeństwo uzyskania wyników nie zawsze porównywalnych ze sobą, jeżeli nie zostaną zachowane jednakowe kryteria identyfikacji i interpretacji obrazów [Abbaspour-Fard i in. 2008, Chojnacki 2008, Godyń i in. 2008, Rut, Szwedziak 2008]. Laserowa analiza widma rozpylenia pozwala na uzyskanie dużych dokładności w oznaczeniu zakresu pokrycia i przemieszczania się kropeł cieczy [Guler i in. 2007]. Niektórzy badacze stosowali metodę pokrywania roślin i sztucznych szkodników kolorową cieczą, która umożliwia ocenę ilości opadłych kropeł [Rocamora i in. 2002]. W badaniach penetracji, rozkładu rozpylonej cieczy i jej retencji na poszczególnych częściach roślin wykorzystywano także obserwacje mikroskopem elektronowym oraz określenie stopnia przewodności wiązki elektronów na próbnikach z różnym stopniem naniesienia [Krause i in. 2004]. W wielu pracach próbniki do określenia naniesienia czy też stopnia pokrycia mocowano do sztucznych roślin, zapewniając tym samym uzyskiwanie porównywalnych wyników badań [Derksen i in. 2008].

Retencja kropeł rozpylanej cieczy jest zależna od wielu czynników i jest konsekwencją współdziałania składu cieczy, jej fizycznych właściwości, zachowania się kropli podczas lotu i przy uderzeniu w obiekt oraz morfologii powierzchni i orientacji liścia. Forester i in. [2005] założyli w swoich badaniach, że możliwe jest stworzenie uniwersalnego modelu procesu przylegania kropli do typowej powierzchni liścia uwzględniającego najistotniejsze dane wyjściowe charakteryzujące proces rozpylania i opryskiwania roślin. Jak podali autorzy, opracowany model weryfikował się w 72%.

Symulacja modelowa zagrożenia, z uwzględnieniem kosztów ochrony upraw i strat wynikających z braku ochrony, wskazywała na potencjalne duże korzyści z modelowania, zwłaszcza w sadownictwie i leśnictwie, gdzie przeprowadzenie badań w warunkach naturalnych jest bardzo kosztowne [Dahab, Callaghan 1997, Richardson, Thistle 2006].

W literaturze można znaleźć niewiele przykładów badań zjawiska wpływu wiatru na jakość opryskiwania. W praktyce rolniczej spotyka się różne rozwiązania techniczne, które wspomagają proces nanoszenia substancji aktywnej na obiekty i jednocześnie ograniczają znoszenie. Począwszy od zastosowania specjalnych rozpylaczy antyznoszeniowych do drogich systemów z pomocniczym strumieniem powietrza. Ostatecznie jednak sam wpływ ruchu powietrza na rozpyloną strugę nie został w pełni rozpoznany [Ade, Rondelli 2007].

Na skuteczność stosowanych środków ochrony roślin wpływa ustalenie i utrzymanie dawki cieczy użytkowej. Stała dawka na opryskiwanej powierzchni ma decydujący wpływ, przede wszystkim, na:

- poziom naniesienia środka ochrony roślin,
- stopień pokrycia opryskiwanej powierzchni,
- równomierność naniesienia cieczy.

Obecnie panuje silna tendencja do ograniczania ilości cieczy użytkowej, a związane to jest przede wszystkim z mniejszym zużyciem wody i większą wydajnością. Dawka cieczy roboczej powinna być tak dopasowana, żeby z jednej strony nie dopuścić do ociekania kropli z roślin (straty oraz negatywny wpływ na środowisko), a z drugiej strony ograniczyć do minimum efekt znoszenia. Szczególnie jest to ważne w zabiegach sadowniczych i polowych przy stosowaniu herbicydów. Ilość wody użyta do zabiegu, a tym samym dawka cieczy opryskowej powinny być ściśle dopasowane do zaleceń zawartych na etykiecie lub instrukcji stosowania danego pestycydu. Istnieje wiele metod określania dawki cieczy do zabiegu. Zastosowana metoda TRV (Tree Row Volume) wraz z analizą obrazu oceniającą nasilenie występowania chwastów może przynieść konkretne oszczędności ś.o.r. Udowodnili to wynikami swoich badań Thorp i Tian [2004], stosując tę metodę przy zwalczaniu chwastów i różnicując dawkę herbicydu w proporcjach 100, 67 i 33% na określoną objętość cieczy roboczej. Oprócz stosowanej dotychczas w praktyce sadowniczej metody TRV jedną z najprecyzyjniejszych, stosowanych jak na razie eksperymentalnie, jest wykorzystanie systemu LIDAR (Light Detection and Range) bazującego na skanowaniu koron drzew. W Silsoe Research Institute wykorzystano LIDAR do pomiarów cech dotyczących powierzchni i głębokości upraw oraz fazy ich rozwoju. W badaniach uzyskano aż 78% skuteczność tej metody w porównaniu do 43% przy zastosowaniu modeli bazujących na różnych parametrach geometrycznych oraz 9% przy zastosowaniu tradycyjnych metod, opartych na analizie liniowej [Walklate i in. 2002]. W praktyce w większości zabiegów polowych używa się dawki cieczy użytkowej w zakresie 200–400 litrów na hektar. Ważnym elementem w stosowaniu środków ochrony roślin jest właściwa wielkość kropli i ciśnienie robocze. Zwiększenie ciśnienia, w przypadku rozpylaczy ciśnieniowych, zmniejsza wielkość kropli, ale zwiększa się wtedy niebezpieczeństwo znoszenia cieczy. Większe krople osiągają natomiast większy zasięg, ale równocześnie zwiększają możliwość splywania na glebę. Wiadomo, że mniejsze krople, które są

podatniejsze na znoszenie i odparowanie, są skuteczniejsze w ochronie roślin, ponieważ gwarantują wyższy stopień pokrycia roślin. Z drugiej strony zbyt duże ciśnienie robocze potrzebne do ich wytworzenia powoduje straty środka ochrony roślin spowodowane odbijaniem się kropeł od powierzchni roślin. Potrzebną wielkość rozpylenia uzyskuje się zwłaszcza dzięki odpowiedniemu doborowi rozmiaru rozpylacza i ciśnienia roboczego, o czym informują użytkowników wszystkie katalogi producentów rozpylaczy.

Równomierny rozkład powinny zapewnić starannie dobrane do danych warunków i potrzeb końcówki rozpylające. Jednak i wtedy na skutek niewłaściwie dobranej wysokości pracy czy niesymetrycznej pozycji względem płaszczyzny prostopadłej do opryskiwanej powierzchni, np. przy wychyleniu belki, pogarsza się jakość oprysku. Z obserwacji i badań wynika, że belka polowa zajmuje bardzo często inną pozycję niż do powierzchni pola równoległa. Taką sytuację obserwuje użytkownik opryskiwacza podczas każdego zabiegu. Powoduje to w konsekwencji dużą zmienność naniesienia cieczy użytkowej na opryskiwane obiekty. Zjawisko to można w znacznym stopniu ograniczyć poprzez właściwy dobór parametrów pracy opryskiwacza oraz dobór rozpylaczy charakteryzujących się najmniejszą wrażliwością na niewłaściwe ustawienie względem opryskiwanej powierzchni, a przede wszystkim stosowaniem kosztownych systemów stabilizacji belki [Szewczyk 1998, Sadło, Surma 2000b].

O skuteczności chemicznej ochrony roślin w zabiegach polowych i sadowniczych decyduje oprócz wspomnianego już rozkładu oprysku także spektrum rozpylonej strugi wytwarzanej przez rozpylacz [Szewczyk 1998, Koszel, Sawa 2006, Langman, Pedryc 2006]. Rozkład poprzeczny i podłużny ma nie tylko silny związek z efektem zabiegów opryskiwania, ale również może wpływać na poziom zużycia środków ochrony roślin. Decydujące znaczenie odgrywa tu współdziałanie szeregu czynników technicznych i technologicznych [Sadło, Surma 2000a, Basista i in. 2002, Nuyttens i in. 2007a, 2007b].

Często niedoceniany jest problem właściwej pracy urządzeń do mieszania cieczy roboczej, w jakie wyposażony jest opryskiwacz. Niejednorodność mieszaniny może mieć niekorzystny wpływ na tworzenie się kropli w rozpylaczach oraz przestrzenne rozmieszczenie ś.o.r. [Ucar i in. 2000].

Szczególnie istotny jest właściwy wybór rozpylaczy, który zapewniłby użytkownikom najlepsze efekty zabiegów dokonywanych w określonych warunkach, nie zawsze sprzyjających opryskiwaniu [Koszel 2006, Nuyttens i in. 2007a]. Jak wiadomo, mimo stosowania najlepszych rozwiązań technicznych stabilizujących belkę polową, przyjmuje ona w trakcie pracy często pozycje zdecydowanie różne od optymalnej. Gdy jedna część belki pracuje niżej, to rozpylona struga na drugim końcu jest bardziej narażona na działanie wiatru [Ramon, De Baerdemaeker 1995, Dwiliński, Pietrzyk 1999, Szewczyk 1999, 2001, 2002, Gajtkowski 2000, Kierzek 2001].

Duże znaczenie w odniesieniu do jakości i wydajności zabiegów ma prędkość robocza opryskiwacza. Im wyższa prędkość, tym większa wydajność i tym samym krótszy czas zabiegu, co ma niebagatelne znaczenie w zwalczaniu agrofagów, szczególnie szkodników i chorób. Natomiast duża prędkość stwarza szczególnie trudne warunki pracy belki opryskowej, zwłaszcza możliwości stabilizacji na określonej wysokości. Prędkość roboczą należy dostosować do warunków panujących na polu. Zbyt wysoka prędkość

(ponad 8 km/godz.) powoduje również zwiększenie niebezpieczeństwa znoszenia wywołane miejscowym zawirowaniem powietrza i skierowaniem strumienia cieczy ku tyłowi. Gdy prędkość wiatru wzrasta w trakcie opryskiwania, to prędkość roboczą należy w związku z tym odpowiednio zmniejszyć. Jak wynika z przeglądu literatury problem wpływu wiatru na rozpylaną ciecz nie jest jeszcze dokładnie zbadany. Analiza tego zagadnienia nasuwa wiele pytań, na które nie znaleziono odpowiedzi w przestudiowanej literaturze, a mianowicie:

- jeżeli strumień powietrza działający na rozpyloną strugę, emitowaną przez opryskiwacz, może zakłócać proces nanoszenia kropli na obiekty opryskiwane, to w jakim stopniu proces opryskiwania jest modyfikowany przez ruch powietrza i czy występują wtedy tylko zjawiska niekorzystne w związku z jakością wykonywanej pracy?
- jaki wpływ zmiana prędkości powietrza, występująca prawie zawsze w trakcie pracy opryskiwacza, może mieć na stopień pokrycia cieczą użytkową opryskiwanych obiektów?
- jeżeli ruch powietrza jest czynnikiem negatywnie wpływającym na jakość opryskiwania, to w jakim stopniu można temu zjawisku przeciwdziałać?

Jakość pracy opryskiwacza, zgodnie z wymaganiami technicznymi, ocenia się, między innymi, na podstawie rozkładu poprzecznego rozpylanej cieczy [Rozp. Ministra R. i R.W. 2001]. Wielu autorów w swoich opracowaniach podkreśla znaczenie rozkładu poprzecznego opadu cieczy użytkowej w ocenie jakości pracy rozpylaczy i przewidywanej skuteczności opryskiwania. Podstawowym warunkiem właściwego rozkładu cieczy użytkowej jest ustawienie poziome belki polowej, przy której oś symetrii rozpylacza przyjmuje pozycję pionową. W badaniach dotyczących tego tematu porównuje się zastosowaną do badań aparaturę, ponieważ stoły rowkowe służące do pomiaru rozkładu różnią się często długością i szerokością rowków oraz sposobem odczytu objętości rozpylonej cieczy opadłej na ich powierzchnię. Najwięcej kontrowersji wzbudza porównanie wyników uzyskanych tzw. stołem ręcznym i elektronicznym, choć, zdaniem autora, uzyskuje się wtedy różne dane. W przypadku stołu ręcznego mamy do czynienia z miarą względną (tzn. w normie lub poza normą), natomiast zastosowanie stołu elektronicznego daje wynik w postaci współczynnika zmienności, jako rezultat obliczeń statystycznych rozkładu [Sawa i in. 2001, Sawa i in. 2002a, Świechowski i in. 2006]. Dużo uwagi poświęcono również badaniom nierównomierności rozkładu cieczy przy różnych parametrach ustawienia belki i parametrach oprysku oraz ich wzajemnej zależności. Wynikiem tych badań były stwierdzenia o istotnym wpływie badanych czynników na rozkład opadu cieczy. Najcenniejszym jest jednak wniosek o dużej współzależności badanych parametrów na rozkład poprzeczny cieczy [Nowakowski 2007]. Jak można sądzić na podstawie doniesień zamieszczonych w dostępnej literaturze przedmiotu, metoda pomiaru rozkładu poprzecznego za pomocą stołu rowkowego nie jest jedynym sposobem oceny jakości rozpylania. W literaturze można znaleźć przykłady zastosowania innych metod do tego celu. Kuna-Browniowski i Plichta [2005] wykorzystali do oceny rozkładu poprzecznego metodę opartą na analizie wyników pomiarów wielkości kropli na podstawie unoszonego przez nie ładunku elektrycznego. Opracowany program komputerowy jako wirtualny instrument pomiarowy umożliwił przedstawienie ogromnej ilości danych w postaci

graficznej, wizualizując rozkład liczby kropeł w poszczególnych punktach powierzchni oraz wykresu poprzecznego rozkładu liczby kropli.

Metodę badania rozkładu poprzecznego zastosował również Chojnacki [2006, 2008] do oceny rozkładu biologicznego środka ochrony roślin. Na podstawie analizy wyników tych badań stwierdził, że nie istnieje zależność między rozkładem poprzecznym owadożernych nicieni, a rozkładem poprzecznym cieczy użytkowej zawierającej te nicienie.

2.2. Wpływ warunków i parametrów pracy opryskiwacza na zjawisko znoszenia cieczy roboczej

Główną przyczyną zagrożenia środowiska ze strony chemicznej ochrony roślin jest, oprócz skażeń miejscowych, znoszenie cieczy opryskowej [Hołownicki, Doruchowski 2006, Bahrouni i in. 2008]. Również Özkan [2008] w swojej publikacji wymienia szereg przyczyn niebezpieczeństw wynikających ze stosowania pestycydów, podając jednocześnie możliwe rozwiązania tego problemu. Według niego zagrożenia powstają głównie w procesie dozowania, przechowywania, znoszenia i stosowania zbyt dużej ilości różnorodnych związków zawartych w ś.o.r.

Zjawisko znoszenia cieczy opryskowej do dnia dzisiejszego nie zostało jednoznacznie zdefiniowane. Jednak większość definicji spotykanych w literaturze dobrze oddaje jego fizyczne znaczenie. Hewitt [2000] uważa, że znoszenie jest fizycznym przemieszczaniem się środka ochrony w powietrzu, podczas wykonywania zabiegu lub bezpośrednio po nim, z opryskiwanego obiektu na obiekt nie opryskiwany. Według niego znoszenie nie obejmuje przemieszczania się środków ochrony wywołanego przez erozję, migrację lub ulatnianie się, choć procesy takie zdarzają się po zabiegu. Jest ono uważane za efekt niezamierzony i nieunikniony w opryskiwaniu roślin. Jeszcze do niedawna znoszoną ciecz roboczą rozpatrywano wyłącznie jako źródło strat w wymiarze ekonomicznym oraz zagrożenie dla sąsiadujących upraw. Znoszona ciecz jest także źródłem wtórnego naniesienia na sąsiadujące rośliny, choć efekt przedawkowania środka ochrony jest trudny do uchwycenia. Może ona wpływać na efekt biologiczny zabiegu opryskiwania, a nadmierna dawka środka ochrony, której źródłem jest znoszona ciecz, może zagrażać faunie pożytecznej. Decydującego znaczenia nabiera wymiar ekologiczny, czyli niebezpieczeństwo dla ludzi, zwierząt oraz wód, gleby i powietrza. Aby można było określić stopień zagrożenia wynikający ze zjawiska znoszenia części cieczy opryskowej, trzeba przede wszystkim mieć możliwość oszacowania masy naniesienia na obiekty opryskiwane i do tej wielkości porównać masę cieczy, która została przemieszczona na skutek znoszenia [Balsari i in. 2005, Salyani i in. 2006, 2007].

Przeprowadzone dotychczas badania wykazały, że na efekt znoszenia może mieć wpływ szereg czynników technicznych i technologicznych oraz rodzaj zastosowanej techniki opryskiwania. Hołownicki i Doruchowski [2006] w swoich badaniach jednoznacznie stwierdzili, że stosowanie tzw. technik ograniczających znoszenie (TOZ) przyczynia się

zdecydowanie do ograniczenia tego zjawiska. W skład tych technik wchodzi stosowanie rozpylaczy eżektorowych, techniki PSP oraz w sadownictwie opryskiwaczy tunelowych. Zastosowanie opryskiwaczy tunelowych nie tylko zdecydowanie redukuje znoszenia, ale zmniejsza również opad cieczy użytkowej na glebę [Molari i in. 2005]. Wykorzystanie TOZ umożliwia pozostawienie węższych stref buforowych lub je redukuje całkowicie [Wenneker i in. 2005, Hołownicki, Doruchowski 2006, Ade i in. 2007, Ade, Rondelli 2007, Zhu i in. 2006b].

Wielu badaczy uważa i potwierdza to uzyskanymi wynikami, podczas badań polowych, że nawet przy tradycyjnym sposobie opryskiwania i standardowym wyposażeniu opryskiwaczy można przyjąć takie parametry pracy, które w normalnych warunkach zabiegu umożliwią znaczne zmniejszenie znoszenia przy zachowaniu wystarczających cech jakościowych opryskiwania [Nuyttens i in 2007a, Derksen i in. 2007]. Do podobnych wniosków doszli inni badacze podczas wykonywania oprysków lotniczych [Hoffmann, Kirk 2005]. Jednym z istotniejszych czynników wpływających na wielkość znoszenia jest chociażby prędkość opryskiwacza. Van de Zende i in. [2005a] w swoich badaniach, stosując rozpylacze uniwersalne i antyznoszeniowe, wykazali, że zmniejszenie prędkości z $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ spowodowało, we wszystkich przypadkach, nawet kilkakrotną redukcję znoszenia.

Przy ograniczaniu znoszenia należy zwrócić uwagę na wielkość kropeł, prędkość roboczą opryskiwacza, rodzaj i położenie rozpylaczy nad opryskiwanym obiektem [Gajtkowski 2001c]. W tym celu stosuje się różne rozwiązania techniczne. Jednym z nich jest zastosowanie odpowiednich rozpylaczy antyznoszeniowych. Tradycyjne urządzenia pozwalają w Polsce na wykonywanie oprysków do prędkości wiatru 3 m/s. Zgodnie z obowiązującymi przepisami zabieg opryskiwania można przeprowadzać w Polsce przy prędkości wiatru nieprzekraczającej 3 m/s [Ustawa o Ochronie Roślin 2003, Kierzek 2008a]. Rozpylacze antyznoszeniowe są wyposażone w dyszę wstępną wytwarzającą większe krople oraz ograniczającą ilość drobnych kropeł podatnych na działanie wiatru. Inny kierunek to koncepcja rozpylacza eżektorowego wytwarzającego duże krople. Rozpylacze eżektorowe pracują przy wyższych ciśnieniach cieczy roboczej, zapewniając większą energię kropli, w wyniku czego mają większy zasięg i są mniej podatne na wiatr. Dzięki specjalnej konstrukcji rozpylacza wyposażonego we wkładkę eżektorową następuje zassanie z zewnątrz powietrza i napowietrzenie kropeł, przez co powstają duże krople o zredukowanej masie, gdyż krople wytwarzane przez rozpylacz są wypełnione pęcherzykami powietrza. W momencie zderzenia z powierzchnią opryskiwaną pęcherzyki powietrza pękają, powodując zwiększenie stopnia rozpylenia cieczy. Krople wytwarzane przez rozpylacz eżektorowy charakteryzują się nieco gorszym pokryciem powierzchni roślin oraz doskonałą penetracją łąnu [Rocamora i in. 2002]. Dzięki temu idealnie nadają się do zabiegów herbicydami doglebowymi przed i powoschodowymi oraz do stosowania herbicydów systemicznych, insektycydów i fungicydów systemicznych jak również, przy niskim zakresie ciśnienia, do nawozów płynnych. Stosowanie tych rozpylaczy pozwala terminowo wykonać zabieg ochrony roślin przy wietrze do $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [Huyghebaert, Bally 2004, Nowakowski 2005a, Kierzek 2008b]. Również Gajtkowski [2001a], porównując grupę rozpylaczy antyznoszeniowych i eżektorowych z rozpylaczami standardowymi,

wykazał ich przydatność w ograniczaniu zjawiska znoszenia na podstawie oceny mikroparametrów rozpylonej strugi.

Analizując wszystkie uwarunkowania mające wpływ na zjawisko znoszenia, nie można zapominać o decydującym często wpływie warunków meteorologicznych takich jak: wiatr, temperatura, wilgotność względna oraz tzw. stabilność atmosferyczna. Warunki atmosferyczne mają decydujące znaczenie podczas realizacji oprysków agrolotniczych [Fritz 2006].

Najłatwiej proces znoszenia można prześledzić w warunkach badań laboratoryjnych, które umożliwiają określenie wpływu zastosowania różnego rodzaju rozwiązań na redukcję znoszenia. W jednym z takich badań, działając na rozpyloną strugę strumieniem powietrza o prędkości w zakresie 0–3 m·s⁻¹, wykazano, że na znoszenie ma wpływ również rodzaj belki polowej oraz rozstaw rozpylaczy [Murphy i in. 2000, Guler i in. 2007]. Ciekawe badania znoszenia wykonano w Silsoe Research Institute, gdzie porównywano badania laboratoryjne w tunelu aerodynamicznym i badania polowe, uzyskując w obu przypadkach podobne rezultaty. Okazało się, że największe straty cieczy roboczej w wyniku znoszenia występowały na wysokości 0,1–0,2 m nad powierzchnią opryskiwaną i dochodziły nawet do kilku procent wydatku rozpylaczy, choć na tych wysokościach odnotowano najmniejsze prędkości powietrza [Phillips, Miller 2000].

W wielu publikacjach przedstawiono wyniki badań nad efektami zastosowania osłon ograniczających działanie wiatru bezpośrednio na rozpyloną strugę [Sidahmed i in. 2004]. Może to być rozwiązanie istotnie zmniejszające znoszenie cieczy opryskowej poza miejsce przeznaczenia. Badania te najczęściej były realizowane w tunelach aerodynamicznych. Do określenia wielkości znoszenia zastosowano symulację komputerową efektu znoszenia cieczy. Największe ograniczenie tej wielkości uzyskano przy ruchu osłon pod wiatr i zastosowaniu podwójnych osłon elastycznych [Tsay i in. 2002a, 2002c]. Ci sami autorzy prowadzili badania z zastosowaniem osłon pneumatycznych. Wyniki, oceniane za pomocą programu komputerowego FLUENT, nie były jednak tak dobre jak w przypadku osłon elastycznych. Aby uzyskać podobną redukcję znoszenia, trzeba było zastosować prędkość strumienia powietrza w osłonach 40 m/s, natężenie przepływu 1,7 m³/s, na 1 m belki i ustawić strumień powietrza pod kątem 15° do przodu [Tsay i in. 2002b]. Wśród systemów osłonowych na uwagę zasługuje szwedzki wynalazek ze sztywnymi osłonami na belce polowej, tzw. Släpduk. Zastosowanie systemu Släpduk powoduje skierowanie strumienia cieczy w dolne części rośliny, zwiększając całkowite pokrycie rośliny z jednoczesnym wyrównaniem rozkładu cieczy na całej wysokości roślin. Dobre efekty ograniczenia znoszenia tym systemem pozwalają na stosowanie drobnych kropeł, a co za tym idzie zmniejszenie dawek cieczy z jednoczesnym zwiększeniem wydajności pracy. W Szwecji duża redukcja znoszenia pozwala użytkownikom systemu Släpduk, przy zachowaniu prawidłowej techniki, zmniejszać strefy ochronne oddzielające obszar opryskiwany od terenów chronionych, w obrębie których stosowanie środków ochrony roślin jest zabronione. Przydatność systemu Släpduk z powodzeniem zastosowano również w Holandii [Van de Zande i in. 2005b], gdzie potwierdzono wyraźne różnice w wielkości znoszenia, choć uzależnione jest to od rodzaju zastosowanych rozpylaczy. W przypadku rozpylaczy eżektorowych (AI) uzyskano prawie dwukrotnie mniejsze znoszenie niż przy rozpylaczach uniwersalnych (XR) [Van de Zande i in. 2005a].

W trakcie oprysku często zmieniają się warunki atmosferyczne. Nawet podczas sprzyjającej pogody występują okresowe porywy wiatru, które przekraczają dopuszczalne wartości. Do tego dochodzi ruch powietrza, który jest składową wiatru atmosferycznego i tzw. wiatru pozornego powstającego podczas przemieszczania się opryskiwacza. Operator opryskiwacza w praktyce nie jest w stanie każdorazowo dokonywać zmiany rozpylaczy. Dlatego dobór wielkości kropeł powinien odbywać się automatycznie. Jednym z rozwiązań w dziedzinie ograniczających znoszenia cieczy jest system Vario-Wind-Select, który samoczynnie zmienia rozpylacze w zależności od chwilowej prędkości wiatru. System opracowany w Instytucie Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach i wykonany przez Kujawską Fabrykę Maszyn Rolniczych „Krukowiak” we współpracy z niemieckimi firmami Lechler i Müller Elektronik, wykorzystuje pneumatycznie sterowaną głowicę dwurozpylaczową VarioSelect firmy Lechler. Pneumatyczne zawory zapewniają natychmiastowe odcięcie dopływu cieczy do wybranych rozpylaczy. Układ wyposażony jest w anemometr mierzący prędkość wiatru podczas ruchu opryskiwacza. Gdy zmierzona wartość przekracza ustaloną prędkość wiatru, następuje automatyczne odłączenie rozpylaczy tradycyjnych z jednoczesnym włączeniem rozpylaczy eżektorowych [Hołownicki i in. 2004].

Istotnym krokiem w kierunku zmniejszenia znoszenia było zastosowanie opryskiwaczy z wykorzystaniem techniki PSP (Pomocniczy Strumień Powietrza) w opryskach polowych. Urządzenia te już na stałe weszły do techniki ochrony roślin, umożliwiając bezpieczne wykonywanie zabiegów nawet przy wietrze do $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a często i większym, choć nie jest to zgodne z polskimi przepisami. Pomocniczy strumień powietrza dodatkowo istotnie zwiększa stopień pokrycia opryskiwanych roślin oraz pozwala na wykonywanie zabiegów ze zmniejszoną dawką cieczy, zwiększając tym samym wydajność opryskiwaczy [Gajtkowski 2001b,c, 2002, Ade, Rondelli 2007, Kierzek 2008a]. Przy zastosowaniu PSP duże znaczenie ma odpowiedni dobór nie tylko prędkości powietrza, ale również kąta oddziaływania strumienia powietrza na rozpyloną strugę. Tsay i in. w swojej publikacji [2004] przedstawili wyniki badań, które za cel miały określenie parametrów PSP oraz zmiany kąta odchylenia strumienia powietrza na efekt znoszenia rozpylonej cieczy w warunkach opryskiwania „bez roślin” (no-canopy condition) z zastosowaniem symulacji CFD i oprogramowania FLUET. W ich publikacji zostały podane wartości opracowanego na potrzeby badań tzw. względnego współczynnika znoszenia (relativ drift index) przy różnych prędkościach PSP, kąta nachylenia strumienia powietrza oraz prędkości roboczej. Z tych badań wynika, że najmniejszy wpływ na zmniejszenie znoszenia, ze stosowanych parametrów, miał kąt ustawienia strumienia powietrza w stosunku do rozpylonej strugi.

Oprócz czynników technicznych i technologicznych oraz różnych rozwiązań konstrukcyjnych ograniczających szkodliwe zjawisko znoszenia według niektórych badaczy można stosować specjalne substancje jako adjuwanty w celu zmniejszenia wrażliwości rozpylonej strugi na wiatr. Fietsam i in. [2004], stosując substancje ograniczające znoszenie DCA w różnych proporcjach z wykorzystaniem różnych typów rozpylaczy, uzyskali pozytywne efekty w postaci ograniczenia znoszenia przy użyciu rozpylaczy eżektorowych typu AI, natomiast przy rozpylaczach standardowych nie było widać wyraźnych zmian. Celowość szerszego wykorzystania odpowiednich adjuwantów, jako środków

poprawiających aktywność herbicydów oraz rozpylaczy eżektorowych do zminimalizowania ryzyka znoszenia, szczególnie w warunkach opryskiwania przy niskiej wilgotności powietrza, podkreślają w swojej publikacji Kierzek i Wachowiak [2009].

Wenneker i in. [2006] podają, że w Holandii CTD (Komisja ds. rejestracji ś.o.r.) i inne instytucje kontrolne akceptują następujące metody uprawniające do zmniejszenia 9-metrowej strefy wolnej od upraw do:

- 3 m przy zastosowaniu: opryskiwaczy tunelowych, wiatrochronów, upraw ekologicznych, rozpylaczy eżektorowych oraz przy jednostronnym opryskiwaniu zewnętrznego rzędu;
- 4,5 m stosując opryskiwacze ze ścianami refleksyjnymi.

W Polsce nie ma jeszcze regulacji prawnych, które pozwalałyby użytkownikom nowoczesnych rozwiązań technicznych redukujących znoszenie na zmniejszenie stref ochronnych [Nowakowski 2005b].

Na podstawie dokonanego przeglądu prac badawczych dotyczących zjawiska znoszenia cieczy opryskowej można stwierdzić, że zauważalny jest duży postęp w technice ochrony w celu zmniejszenia tego szkodliwego efektu ubocznego opryskiwania. Proponowane metodyki badań są dość skomplikowane technicznie i ich realizacja wymaga bardzo dużych nakładów pracy i środków. Badania nowych rozwiązań technicznych ograniczających znoszenie w zasadzie polegają na pomiarach naniesienia przy użyciu dużej liczby próbników umieszczonych na różnej wysokości i odległości od urządzenia rozpylającego ciecz. W pracach tych nie natrafiono na rozwiązania, które pracochłonne i kosztowne badania zastąpiłyby jakąś łatwiejszą w realizacji i mniej kosztowną metodą dającą równie wiarygodne wyniki. Taką zastępczą metodą mogą być badania bazujące na określaniu rozkładu przestrzennego lub płaskiego rozpylanej cieczy w tunelach aerodynamicznych weryfikowane weryfikowo w warunkach polowych.

2.3. Wpływ ustawienia belki polowej na pozycję rozpylacza w stosunku do opryskiwanych obiektów

Jednym z najważniejszych zespołów roboczych opryskiwacza polowego jest zespół belki polowej wraz z układem zawieszenia, który swoim zachowaniem podczas pracy w znaczący sposób może wpływać na rozkład ś.o.r. na opryskiwanej powierzchni [Ramon, De Baerdemaeker 1995]. Do najistotniejszych przyczyn nieprawidłowego rozkładu cieczy roboczej można zaliczyć wibracje i ruchy belki, wywołane przede wszystkim nierównościami terenu. Ich wielkość uzależniona jest między innymi, od rozwiązań konstrukcyjnych zespołu zawieszenia belki polowej. Z tego powodu podczas ruchu opryskiwacza po polu zmienia się rozkład cieczy nie tylko w płaszczyźnie poprzecznej, ale również wzdłuż przejazdu opryskiwacza. Wagę tego zjawiska dostrzeżono już wcześniej próbując rozwiązać ten problem poprzez zastosowanie modelu matematycznego do opisanego zachowania się belki, a następnie laboratoryjnej weryfikacji opracowanego modelu rozkładu cieczy [Ramon, De Baerdemaeker 1997a, 1997b].

Użytkownik standardowego opryskiwacza polowego nie ma większego wpływu na czynniki techniczne determinujące położenie belki w trakcie pracy, ponieważ jest to najczęściej sprzęt, w którym belka ma określony system zawieszenia. Może on natomiast oddziaływać na parametry pracy i wybierać takie warunki pracy opryskiwacza, które będą sprzyjać utrzymaniu belki w płaszczyźnie zbliżonej do poziomej [Szewczyk 1998, 2001]. Znajomość pozycji, jaką belka polowa opryskiwacza przyjmuje w trakcie ruchu agregatu w zależności od warunków i przyjętych parametrów pracy agregatu jest istotna. Tematyka ta była przedmiotem badań prowadzonych przez autora, których celem było określenie wpływu wybranych parametrów pracy opryskiwaczy polowych zawieszanych i przyczepianych na położenie belki polowej w czasie ruchu agregatu. Analizowano wpływ takich parametrów pracy jak:

- wysokość ustawienia belki,
- stopień napełnienia zbiornika opryskiwacza,
- ciśnienie w ogumieniu ciągnika w przypadku opryskiwaczy zawieszanych i ciśnienie w ogumieniu opryskiwaczy przyczepianych,
- prędkość robocza.

Analiza wyników badań wykazała, że prędkość robocza, w zakresie stosowanych w praktyce wielkości, nie wpływa na położenie belki polowej w płaszczyźnie pionowej w takim stopniu, co ciśnienie w ogumieniu ciągnika, gdy mamy do czynienia z opryskiwaczem zawieszonym, lub w ogumieniu opryskiwaczy przyczepianych [Szewczyk 2002]. Tymi zagadnieniami zajmowali się również Gohlich i Westphal [1991] oraz Langnakens i in. [1995].

Nierównomierny ruch agregatu powoduje deformacje belki, jej ruchy w płaszczyźnie poziomej i pionowej oraz ruchy skrętne, co istotnie pogarsza warunki opryskiwania. Stwarza to sytuację, w której występuje zjawisko niedostatecznego opryskania lub przedawkowania w różnych częściach pola oraz zwiększa się znoszenie cieczy roboczej poza miejsce przeznaczenia [Lardoux i in. 2007a, 2007b]. Użytkownik opryskiwacza często nie zdaje sobie sprawy z tego, jak zachowuje się belka polowa i jak duże ma to znaczenie dla równomierności rozkładu cieczy opryskowej. O ile ruchy belki w płaszczyźnie pionowej są wyraźnie widoczne, to ruchy w płaszczyźnie poziomej są mniej zauważalne, a one również przyczyniają się istotnie do dużej nierównomierności rozkładu rozpylanej cieczy na opryskiwanej powierzchni [Ramon i in. 1998].

Duże wartości poznawcze mają wyniki badań przedstawiające sposób określenia wielkości zmian położenia belki polowej w zależności od warunków, w jakich pracuje opryskiwacz. Zainstalowanie mierników przyspieszenia daje możliwości określenia drgań w centrum obrotu oraz na końcach belki, w trzech płaszczyznach: pionowej, poprzecznej i wzdłużnej. Ultradźwiękowy czujnik odległości daje satysfakcjonujące wyniki pomiarów wysokości belki przesuwającej się nad powierzchnią uprawy. Fotoelektryczny, pozycjonowany wzdłużnie czujnik trakcji umożliwia zlokalizowanie belki z dużą dokładnością. Po scharakteryzowaniu drogi przejazdu i współpracy z komputerem otrzymuje się obraz zmian położenia belki przy przejeździe po nierównościach podłoża. Przy zastosowaniu takiego oprzyrządowania stwierdzono, że dwudziestocentymetrowy uskok na ścieżce przejazdu opryskiwacza powoduje dziewiętnastokrotne przyspieszenie końców belki w porównaniu z przejazdem po równym podłożu [Jeon i in. 2004b].

Badania polowe wpływu różnych czynników na zachowanie belki opryskiwacza są pracochłonne i mogą być obciążone dużymi błędami pomiarowymi, dlatego też wielu badaczy starało się opisać modelem matematycznym ruch belki w warunkach laboratoryjnych. Badania takie dostarczyły wielu cennych informacji na temat zachowania się belki pod wpływem symulowanych sztucznie wibracji [Kennes i in. 1999, Clijmans i in. 2000b, Parloo i in. 2003a, 2003b]. Istnieje jednak konieczność właściwego wyskalowania modeli wejściowych, co w połączeniu z możliwością wyskalowania modeli operacyjnych pozwala na właściwą kalkulację modeli modalnych [Deprez i in. 2002a, 2002b]. Interesujące wyniki uzyskano przy wykorzystaniu jednocześnie badań laboratoryjnych i polowych. Do weryfikacji wyników symulacji użyto przetworników potencjometrycznych umożliwiających w warunkach polowych określenie z dość dużą dokładnością położenia belki polowej [Pochi, Vaanucci 2001, 2002].

Wykazano dużą przydatność symulacji modelowych przy wnioskowaniu o położeniu belki w trzech płaszczyznach w połączeniu z rozkładem rozpylanej cieczy mierzonym wskaźnikiem nierównomierności poprzecznej CV [Ramon, De Baerdemaeker 1995, Langenakens i in. 1999].

Rozkład rozpylanej cieczy i pokrycie opryskiwanych powierzchni przy zmianie położenia belki uzależnione jest również od wielkości kropeł emitowanych przez rozpylacze. W danych warunkach, w zależności od wysokości przeszkód na drodze opryskiwacza i z tego wynikającego wychylenia belki, mniejszą nierównomierność rozkładu poprzecznego i lepsze pokrycie osiągnięto przy zastosowaniu oprysku drobnokroplistego w porównaniu z rozpyleniem grubokroplistym [Jeon i in. 2004a].

Warunkiem dopuszczenia opryskiwacza polowego do użytkowania jest spełnienie wymogu uzyskania wartości wskaźnika zmienności $CV \leq 10\%$ podczas kontroli okresowej [Sawa i in. 2002, Hołownicki i in. 2006]. W trakcie badań płaszczyznę rozpylania rozpylaczy kieruje się pionowo do powierzchni stołu rowkowego. Powstaje jednak pytanie, jak zmienia się wskaźnik nierównomierności poprzecznej, gdy belka polowa będzie ustawiona tak, że płaszczyzna rozpylania zostanie skierowana do przodu lub do tyłu o dowolny kąt technicznie możliwy do uzyskania bez powodowania samooprysku. Tym zagadnieniem dotychczas się nie zajmowano z wyjątkiem badań przeprowadzonych przez Lipińskiego i in. [2007a], którzy oceniali rozkład poprzeczny rozpylaczy Syngenta Potato z konstrukcyjnie odchylną od osi rozpylacza rozpyloną strugą. Wielu użytkowników dokonuje poziomowania opryskiwaczy orientacyjnie. Można by się więc zastanawiać, czy w przypadku niedokładnego wypoziomowania opryskiwacza w płaszczyźnie podłużnej, popełniają oni duży błąd. W literaturze można znaleźć wiele opracowań dotyczących wpływu ustawienia belki polowej w płaszczyźnie pionowej i prostopadłej do powierzchni opryskiwanej na równomierność rozkładu poprzecznego, jednak brak opracowań związanych z wpływem odchylenia płaszczyzny opryskiwania rozpylaczy prostopadłej do osi agregatu na rozkład cieczy roboczej.

2.4. Wpływ warunków i parametrów pracy rozpylacza na rozkład opadu cieczy i jakość opryskiwania

Niezmiernie ważnym problemem poznawczym oraz użytkowym jest zagadnienie wpływu zmiany ustawienia rozpylacza w stosunku do pionu w płaszczyźnie prostopadłej do osi symetrii agregatu czy równoległej do osi i tym samym równoległej do kierunku pracy opryskiwacza. Sytuacja taka stwarza całkowicie odmienne warunki pracy rozpylacza, co może powodować zmianę nie tylko charakterystyki rozkładu, ale również naniesienia środka poprzez jednoczesną zmianę stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów.

O zużyciu środków ochrony roślin i skuteczności zabiegów w największej mierze decyduje rozkład poprzeczny i podłużny oprysku wyrażany wskaźnikiem nierównomierności. Na wartość wskaźnika nierównomierności podczas opryskiwania upraw, oprócz szeregu czynników technicznych i technologicznych, może mieć wiatr, który jest najuciążliwszym zjawiskiem atmosferycznym dla rozpylanej cieczy. Wiatr powoduje, między innymi, znoszenie rozpylanej strugi, różnicując równomierność nanoszenia substancji aktywnej na polu. Przyczynia się to także do uszkodzania sąsiednich plantacji [Van de Zande, Achten 2005]. Jeżeli ruch powietrza o niewielkim natężeniu może spowodować nawet poprawę procesu nanoszenia cieczy, to jednak silniejszy wiatr jest zawsze zjawiskiem niekorzystnym, a wręcz szkodliwym dla jakości zabiegu.

Opryskiwanie wykonane opryskiwaczem polowym zawsze połączone jest z przemieszczaniem się agregatu po polu. W takiej sytuacji nawet przy bezwietrznej pogodzie i tak występuje ruch powietrza względem rozpylacza, tzw. wiatr pozorny o natężeniu wynikającym z prędkości roboczej maszyny. Tym samym praca przy prędkości $7,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ powoduje wiatr pozorny o wartości około $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Przy dopuszczalnej przepisami sile wiatru $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, gdy wieje on przeciwnie do ruchu opryskiwacza, mamy do czynienia z ruchem powietrza o prędkości $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ względem rozpylacza. Taka prędkość powietrza może oddziaływać dość intensywnie na rozpylaną ciecz, a stopień tych zakłóceń zależy będzie od wielu czynników. Oddziaływanie wiatru na rozpyloną strugę zależy, w dużej mierze, od parametrów pracy rozpylacza i warunków, w jakich odbywa się zabieg opryskiwania, a to oznacza, że czynników mających wpływ na proces opryskiwania jest wiele i istnieje wzajemna interakcja między nimi. Prowadzenie badań wyjaśniających wpływ poszczególnych czynników na jakość pracy opryskiwacza jest pracochłonne, uciążliwe i kosztowne. Znacznie lepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie do tego celu metod polegających na modelowaniu badanych zjawisk, gdzie można ująć szereg zależności między parametrami konstrukcyjnymi, funkcjonalnymi, technologicznymi oraz użytkowymi opryskiwacza a wybranymi cechami charakteryzującymi jakość opryskiwania [Clijmans i in. 2000a,b, Lodwik 2004, Delele i in. 2005]. Stosowanie modelowania przy doborze parametrów roboczych podczas opryskiwania jest wykorzystywane od wielu lat i przyczyniło się niejednokrotnie do odpowiedniejszego doboru nastaw zespołów roboczych opryskiwaczy [Derksen, Gray 1995]. Tak było w przypadku określenia kompensacji dawki cieczy przy zmieniającej się prędkości roboczej [Tian, Zheng 2000]. Innym zastosowaniem modelowania jest opis rozkładu cieczy w koronach drzew

w wyniku prowadzenia zabiegów w sadach i lasach. Uzyskano duże dopasowanie wyników symulacji modelowej do wartości rzeczywistych [Nuyttens i in. 2004, Farooq, Salyani 2004, Salyani i in. 2006, 2007]. W trakcie prowadzenia badań w uprawach sadowniczych używano również programu komputerowego FLUENT do modelowania trajektorii i charakterystyki osadzania się kropeł rozpylanej cieczy w koronach drzew [Sidahmed, Brown 2001a, 2001b].

Ze względu na duże koszty związane z prowadzeniem badań polowych opisywanych zjawisk rozkładu rozpylanej cieczy i pokrycia opryskiwanych powierzchni do wyznaczania optymalnych parametrów pracy opryskiwaczy wykorzystuje się rezultaty badań laboratoryjnych [Wolf i in. 2001]. Szczególnie wyniki dotyczące wpływu cech konstrukcyjnych rozpylaczy na parametry rozpylenia odgrywają istotną rolę przy ocenie rozpylaczy oferowanych przez przemysł. Ważnym parametrem jest kąt rozpylenia, który często decyduje o wysokości ustawienia belki nad powierzchnią opryskiwaną. Jak wykazali Nowakowski i Chlebowski [2008], mimo podawania go przez producenta jako stałego w określonej konstrukcji rozpylaczu, kąt rozpylenia zmienia się wraz ze zmianą ciśnienia. Im większe ciśnienie cieczy, tym większy kąt, przy czym zmienność ta dotyczy w większym stopniu rozpylaczy szczelinowych standardowych niż eżektorowych.

W praktycznym użytkowaniu rozpylaczy duże znaczenie ma ich wydatek. Zmienność wydatku cieczy może uniemożliwić precyzyjne dozowanie ś.o.r. na opryskiwane powierzchnie. W związku z tym ważne dla użytkowników opryskiwaczy są dane uzyskane podczas badań wykorzystania różnych systemów diagnostycznych do oceny pracy rozpylaczy. Langman i Pedryc [2008] przeprowadzili próby zastosowania opracowanej przez nich metody diagnostycznego wnioskowania on-line dotyczącego natężenia wpływu cieczy z rozpylacza. Jak istotne znaczenie pragmatyczne ma znajomość natężenia wpływu z rozpylacza potwierdziły wyniki badań Koszela i Hanusz [2008], którzy przeprowadzili porównanie wydatków cieczy z rozpylaczy zamontowanych na belce oraz po ich wymontowaniu. Badaniami objęto 5 kompletów po 20 szt. rozpylaczy użytkowanych przez rolników. Autorzy podkreślili we wnioskach, że pomiar natężenia wpływu był najbardziej miarodajny przy zastosowaniu tzw. metody Gembloux – jednej z dwóch stosowanych podczas badań okresowych opryskiwaczy. Ważną informacją dla użytkowników opryskiwaczy jest to, że nie stwierdzono w tych badaniach istotnej różnicy w natężeniu wpływu z rozpylaczy zamontowanych na belce oraz po ich wymontowaniu. Jednocześnie z badaniami natężenia wpływu prowadzono pomiary wielkości śladów kropeł przy rozpylaczach nowych i użytkowanych. Wraz ze wzrostem natężenia wpływu, w zależności od czasu użytkowania, stwierdzono również, że następuje zmiana wielkości śladów kropeł. Powoduje to ekologiczne zagrożenie dla środowiska [Koszel, Sawa. 2005].

Duże znaczenie praktyczne mają badania modelowe zużycia rozpylaczy i wpływu zużycia na natężenie przepływu cieczy. Ogranicza to koszty i pracochłonność badań. Wykorzystując sztuczne sieci neuronowe, uzyskano dużą korelację między wynikami modelowania a badaniami eksperymentalnymi [Krishnaswamy, Krishnan 2002].

Trudne zadanie dla rozpylonej strugi stanowi zwarty łań roślin. Aby rozpylona ciecz równomiernie pokryła opryskiwane rośliny, należy zapewnić warunki do skutecznego wnikania w głąb łań. W literaturze poświęcono wiele miejsca na opisanie badań z zastosowaniem różnych sposobów zwiększenia penetracji rozpylonej strugi w rosną-

cych zwarto roślinach. Duże znaczenie, przy doborze rozpylaczy, odgrywa znajomość np.: indeksu liściowego uprawy, fazy wzrostu oraz tzw. wskaźnika budowy rośliny (pierzwiastek kwadratowy ilorazu wysokości i szerokości rośliny) [Zhu i in. 2002]. W celu zwiększenia penetracji cieczy w łanie stosowano również odchylenie strumienia rozpylanej cieczy [Kierzek 2002].

Wiele prac poświęcono określeniu właściwej i najodpowiedniejszej w danych warunkach charakterystyce rozpylonej strugi, a przede wszystkim zależności wytwarzanych wielkości kropeł od konstrukcji i parametrów pracy rozpylaczy. W tym celu, na potrzeby charakterystyki przedstawianej przez British Crop Protection Council (BCPC), by dokonać klasyfikacji użytkowej [Nuyttens i in. 2007a], przebadano 32 typy i rodzaje rozpylaczy w kombinacji z całym zakresem stosowanych ciśnień roboczych. W przypadku rozpylaczy eżektorowych bardzo ważny jest dobór otworu dozującego w stosunku do dyszy rozpylacza. Decyduje to o prędkości kropli i stosunku cieczy do powietrza [Butler Ellis i in. 2002]. Rozpylanie cieczy na krople jest istotnym elementem w procesie nanoszenia preparatów na opryskiwane rośliny. Wielkość kropeł może zmieniać się także w zależności od zmiennych warunków atmosferycznych, co wpływa na zróżnicowane działanie herbicydów, szczególnie stosowanych nalistnie. Skuteczność działania substancji aktywnej zależy od ilości zastosowanej cieczy użytkowej czy też właściwości fizykochemicznych cieczy i budowy morfologicznej opryskiwanych powierzchni roślin [Butler Ellis i in. 2002]. Ciekawe wyniki uzyskali Agüera i in. [2006], którzy przy zastosowaniu modelowania matematycznego na podstawie cech geometrycznych rozpylaczy hydraulicznych otrzymali dużą zgodność symulowanego spektrum rozpylenia z rzeczywistymi wynikami badań.

W prezentowanym w tym rozdziale przeglądzie wyników badań wpływu warunków i parametrów pracy rozpylacza na rozkład opadu cieczy i jakość rozpylania nie znaleziono wzmianki o skutkach wpływu ustawienia rozpylacza innego niż pionowe w stosunku do opryskiwanej powierzchni na rozkład poprzeczny rozpylanej cieczy, a tym bardziej zauważalny jest brak danych dotyczących skutków wpływu np. wiatru na zachowanie się rozpylonej strugi emitowanej przez rozpylacz zmieniający podczas pracy swoje położenie nad opryskiwaną powierzchnią wraz z ruchami belki polowej.

2.5. Tendencje rozwojowe w technice ochrony roślin w aspekcie wydajności i jakości opryskiwania

Tendencje rozwojowe w konstrukcji aparatury ochrony roślin obejmują praktycznie wszystkie zespoły i podzespoły opryskiwaczy. Kierunek i cel zmian to przede wszystkim: uzyskanie lepszej jakości pracy, zwiększenie wydajności oraz zredukowanie do minimum zagrożeń dla środowiska naturalnego.

Powszechne staje się stosowanie systemów wspomaganie decyzji DDS (System Decision Support), dążąc do zmniejszania liczby wykonywanych zabiegów oraz zwiększania efektywności ich wykonywania. Potrzeba coraz szerszego stosowania systemów wspomaganie decyzji przy chemicznej ochronie roślin wynika z faktu, że obecnie prawi-

dłowe wykonywanie zabiegów wymaga od rolnika wysokich kwalifikacji i dużej wiedzy na temat chorób, szkodników, chwastów, preparatów ochrony roślin oraz metod i terminów ich stosowania. Jest więc oczywiste, że na pytanie o jedne z najprzydatniejszych instrumentów wspomagających decyzje w praktyce rolniczej rolnicy wymieniają specjalistyczne programy komputerowe [Cupiał 2007].

Coraz powszechniejsze staje się wyposażanie opryskiwaczy w elektroniczną aparaturę sterującą, która, po uprzednim wprowadzeniu do układu wymaganych parametrów jego pracy, zdecydowanie ułatwia użytkownikom obsługę opryskiwacza.

Według Van de Zande i Achten [2005] w przyszłości technika ochrony roślin w zakresie rolnictwa precyzyjnego będzie rozwijać się w następujących kierunkach:

- wprowadzenia systemów DGPS o dokładności do jednego centymetra,
- wykorzystania robotów polowych,
- identyfikacji różnych gatunków roślin,
- identyfikacji stanów fizjologicznych roślin.

Naciski społeczne i idące za tym uregulowania prawne wymuszające zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego pestycydami wywołały w ostatnich latach znaczne zainteresowanie nowymi technikami ochrony roślin. Część z nich znalazło już praktyczne zastosowanie, a inne są wdrażane do praktyki lub są przedmiotem prac badawczych i konstrukcyjnych. Wiele z tych metod wyprzedza aktualne potrzeby i oczekiwania współczesnego rolnictwa. Poznanie najważniejszych rozwiązań w tej dziedzinie ułatwi zapoznanie się z aktualnymi kierunkami prac badawczych i konstrukcyjnych nad nowymi metodami ochrony roślin [Hołownicki 1999] oraz nowymi konstrukcjami sprzętu i oprzyrządowania [Zhu i in. 2006a, 2006b]. Na tle tych dużych zmian w technice i technologii ochrony roślin dostrzec można nie tylko sukcesy, ale również zagrożenia i porażki, o czym wspomina Matthews [2005] w swoim opracowaniu, zastanawiając się również nad tym, co nas czeka w tej dziedzinie w najbliższych latach.

Duże nadzieje na ograniczenie zużycia środków ochrony roślin i zmniejszenie zagrożenia zanieczyszczenia środowiska dają próby ze stosowaniem bezpośredniego wtrysku pestycydów przed ich rozpylaniem [Mostade i in. 2002, Womac i in. 2002, Gillis i in. 2003, Özkan 2008]. Systemy bezpośredniego dozowania ś.o.r. do czystej wody przed rozpylaniem dzielą się na takie, które wprowadzają środki do układu cieczowego belki lub bezpośrednio przed rozpylaczem. Najtrudniejsze zadania stoją przed konstruktorami takich systemów, w których bezpośredni wtrysk znajduje się tuż przed rozpylaczem, ponieważ interwał wtryskiwania ś.o.r. mieści się w zakresie 10–100 ms. Stężenia, jakie w tym wypadku uzyskano wynosiły około 1%, co jest poważnym mankamentem tych rozwiązań [Downey i in. 2006]. Dużo lepsze wyniki osiągnięto w badaniach nad stosowaniem systemu dozowania do układu cieczowego (stężenie od 10 do 1500 ppm NaCl) [Crowe i in. 2005a].

W UE szczególnie mocno propagowane są prace nad niechemicznymi metodami ochrony. Obserwuje się systematycznie rosnącą powierzchnię upraw rolniczych prowadzoną metodami ekologicznymi, bez użycia syntetycznych agrochemikaliów. W sadach i winnicach były stosowane próby wykorzystania gorącej wody do zwalczania chwastów [Kurfess i in. 1999]. Zmniejszenie skażenia produktów rolniczych i środowiska jest celem wykorzystania do ochrony roślin biopreparatów. Ocena osiągnięć w tej dziedzinie

wskazuje, że jest to kierunek bardzo obiecujący [Gan-Mor, Matthews 2003, Chojnacki 2007, Fife i in. 2005, 2006]. Można stwierdzić, że w najbliższej przyszłości ochrona roślin będzie wykonywana środkami chemicznymi wykorzystującymi precyzyjniejsze niż dotąd opryskiwacze i ich podzespoły. Aby było to możliwe i w pełni wykonalne należy wykorzystać wszystkie możliwości, jakie daje precyzyjne rolnictwo, np. określenie w trakcie zabiegu zdrowotnego stanu roślin zagrożonych przez patogeny czy szkodniki. Identyfikacja różnego rodzaju obiektów na podstawie analiz multispektralnych umożliwi nie tylko precyzyjne odróżnianie chwastów w ich otoczeniu, ale również różnych stadiów rozwoju roślin [Doruchowski 2008].

Dokonuje się wiele obiecujących prób zastosowania dodatkowego wyposażenia opryskiwaczy, wśród których na uwagę zasługują różnego rodzaju czujniki współpracujące z komputerem, dozowniki do precyzyjnego dawkowania i komponowania składu cieczy użytkowej. Oszczędności ś.o.r. w uprawach sadowniczych mieściły się w przedziale 25–70% przy redukcji zanieczyszczenia środowiska i znoszenia od 60 do 70% [Westphal, Gohlich 1998, Biller 1998, Wartenberg 2000, Hollstein, Biller 1997, Langer 2003].

Zastosowanie informatyki w rolnictwie umożliwi także dokładniejsze stosowanie środków ochrony roślin i nawozów mineralnych oraz dokumentowanie miejsca ich zastosowania. Cały system określa się mianem rolnictwa precyzyjnego. Jest ono uzupełnieniem rolnictwa integrowanego, a jego zasadniczym celem jest zoptymalizowanie zużycia środków do produkcji rolniczej [Böhme 2003]. Ograniczenia w możliwości jego zastosowania wynikają z tego, że wymaga dużych powierzchni gospodarstw oraz, jak dotąd, występują trudności w dokładnej identyfikacji agrofagów. Znane dotąd metody, polegające na wykorzystywaniu wiedzy i doświadczenia człowieka w lustracji uprawy są zbyt pracochłonne i uciążliwe. Z kolei zastosowanie zdjęć lotniczych lub satelitarnych jest za mało dokładne i wymaga dużego doświadczenia w ich interpretacji. Dlatego rozwój i upowszechnienie metody będzie zależało od postępu w tej dziedzinie. Przede wszystkim od opracowania układów działających w czasie rzeczywistym wykorzystujących czujniki i komputery układów analizy obrazu niezbędne do rozpoznawania występowania chwastów, szkodników i chorób [Reitz, Ganzelmeier 1994, Hołownicki 2000, Dammer i in. 2002, Bottger, Langer 2003].

Sposobem realizacji precyzyjnej ochrony roślin jest wykorzystanie precyzyjniejszego od GPS systemu DGPS (Differential Global Positioning System). Jest to system satelitarnej lokalizacji obiektów i sterowania opryskiwaczem w zależności od wystąpienia w danej chwili takiej potrzeby przy wykorzystaniu sygnałów z satelity i stacji naziemnej stanowiącej punkt odniesienia [Doruchowski 2008]. Podstawą tej metody są naziemne stacje referencyjne usytuowane w miejscach o znanych współrzędnych, które przesyłają sygnał korekcyjny bezpośrednio do odbiornika. W zależności od zastosowanej metody aplikacji systemu różnicowego można osiągnąć dokładność 1 cm w określaniu pozycji odbiornikami geodezyjnymi. Odbiorniki przystosowane do pracy w trybie różnicowym muszą być dostosowane do odbioru sygnału wysyłanego przez stacje naziemne [www.garmin.com]. System DGPS w ochronie roślin wymaga dokładnego określenia zapotrzebowania na środki chemiczne w poszczególnych miejscach pola. Do zbudowania mapy zapotrzebowania wykorzystuje się dane o wysokości zbioru, glebie i zachwaszczeniu oraz pogodzie. Następnie dane te są zapisywane, analizowane i przetwarzane przez

programy komputerowe, które umożliwiają utworzenie map sytuacyjnych pola. Na podstawie tych map, po uwzględnieniu aktualnych warunków oraz analizie kosztów, tworzone są mapy lokalnego dawkowania środków ochrony roślin. Mapy te są następnie wykorzystywane przez specjalne przetworniki zainstalowane na opryskiwaczu i na sygnał docierający do urządzenia sterują pracą opryskiwacza. W ten sposób może przebiegać regulacja dawki środków chemicznych zgodnie z danymi na mapie [Hołownicki 2008].

Już od wielu lat prowadzi się badania nad wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu. Obraz z kamery służy do identyfikacji roślin i na tej podstawie przekazywane są sygnały do urządzenia rozpylającego, by w chwili gdy to jest konieczne, zostało włączone rozpylanie cieczy opryskowej [Giles, Slaughter, 1997]. W innych pracach badawczych chwasty opryskiwane były również w czasie rzeczywistym poprzez uruchomienie elektromagnetycznego zaworu na podstawie dokładnego określenia ich odległości od belki w momencie ich identyfikacji przez czujnik [Steward i in. 2002, Carroll, Holden 2005].

Z przeglądu osiągnięć technicznych, jakich opisy można znaleźć w literaturze przedmiotu, można wywnioskować, że rozpylacze są częstym przedmiotem badań i różnych zmian konstrukcyjnych. Z ciekawszych propozycji można przytoczyć próby z rozpylaczami o zmiennym natężeniu wypływu, którymi dozowano ciecz opryskową w zależności chwilowej potrzeby. Zmienny był również kąt rozpylenia i kroplistość strugi. Wydatek maksymalny do minimalnego był określony stosunkiem 13:1 [Womac, Bui 2002]. Chcąc uniknąć zmiany kroplistości rozpylanej strugi i jednoczesnego natężenia wypływu, jak to się dzieje w rozpylaczach o tradycyjnych konstrukcjach, próbowano, z całkiem dobrym rezultatem, zastosować, za pomocą specjalnego urządzenia, pulsowania strumienia cieczy [Giles i in. 2002]. Precyzyjne stosowanie pestycydów może być również skutecznym środkiem ograniczenia skażenia środowiska. Z tego też względu Liu i in. [2006]. prowadzili badania analizy trajektorii lotu kropeł rozpylonej cieczy od rozpylacza do opryskiwanego obiektu. Zastosowano w tym eksperymencie różne ciśnienia cieczy przy czterech prędkościach opryskiwania. Na tej podstawie dokonano porównania prędkości kropeł wytwarzanych przez różne rozpylacze. Uzyskane wyniki wykazały, że na największy wpływ na czas lotu kropli miała prędkość opryskiwania. Tor lotu kropeł i ich prędkości śledzono z zastosowaniem techniki laserowej.

W produkcji roślinnej powszechnie stosowane są rozpylacze eżektorowe. Ich specjalna budowa umożliwia napowietrzanie emitowanych kropeł cieczy. Dzięki temu rozpylacz o niskim wydatku jednostkowym wytwarza większe krople (wypełnione pęcherzykami powietrza), które są mniej podatne na znoszenie przez wiatr. W konstruowaniu tego typu rozpylaczy obserwujemy spektakularny rozwój. Takimi przewodnimi kierunkami w tendencjach rozwojowych tych rozpylaczy są:

- dążenie do osiągnięcia jak największego pokrycia bez zmniejszania kropli – przykładem tej tendencji mogą być rozpylacze eżektorowe dwustrumieniowe o różnych kątach odchylenia rozpylonych strug;
- zastosowanie dużego stopnia rozpylenia cieczy, ale bez zwiększania niebezpieczeństwa znoszenia, np. opryskiwacze z pneumatycznym sposobem rozpylania.

Umożliwi to zdecydowane zmniejszenie zużycia cieczy użytkowej [Czaczyk 2008].

Interesującym rozwiązaniem, dającym bardzo duże możliwości zastosowania, przy współpracy z komputerem, jest rozpylacz dwuczynnikowy lub inaczej hydrauliczno-pneumatyczny, w którym kroplistość rozpylonej strugi regulowana jest ciśnieniem powietrza. Po wprowadzeniu danych z anemometru do układu sterowania możliwe jest dostosowanie kroplistości rozpylanej cieczy do prędkości wiejącego w danej chwili wiatru [Roszkowski, Zasiewski 2003]. W sadownictwie i opryskach polowych wykorzystuje się układy komputerowego sterowania dawką cieczy, dostosowujące ciśnienie cieczy w końcówkach rozpylających do prędkości jazdy ciągnika.

Wiele firm wprowadza coraz to nowsze rozwiązania zmierzające do zwiększenia wydajności opryskiwaczy przez zmniejszenie do minimum czynności obsługowych, choćby takich jak napełnianie opryskiwacza cieczą użytkową. Firma Amazone proponuje system Flow Control do sterowania przepływem cieczy między dwoma zbiornikami. Jeden znajduje się z przodu ciągnika, obciąża jednocześnie oś przednią, a drugi stanowi integralną część opryskiwacza. Dbalność o bezpieczeństwo traktorzysty i środowiska przejawia się wyposażaniem opryskiwacza w dozowniki różnych komponentów do cieczy użytkowej. W ten sposób w zbiorniku głównym transportuje się czystą wodę a ciecz roboczą sporządza się w trakcie opryskiwania [Mostade i in. 2002, Czaczyk 2008]. Ciekawym rozwiązaniem jest konstrukcja firmy Lechler, tzw. VariInject. Umożliwia dozowanie do czterech różnych preparatów, a całym procesem dozowania steruje komputer. W konstrukcjach układów jezdnych opryskiwaczy zaznacza się wyraźnie tendencja do zwiększania prześwitu. W tym zakresie opryskiwacze samojezdne górują nad przyczepianymi czy zawieszanymi. Niektóre z nich (np. firmy Dammann) dysponują płynną regulacją prześwitu oraz rozstawu kół. Zagadnieniom zmian konstrukcyjnych w układzie jezdnym poświęca się coraz więcej uwagi. W grupie maszyn o dużej wydajności (szerokość robocza powyżej 30 m) zaczynają dominować opryskiwacze samojezdne o dużym lub bardzo dużym prześwicie, tzw. „szczudłowe” [Hołownia 2008]. Wśród nowych rozwiązań konstrukcyjnych układu jezdnych opryskiwaczy samojezdnych pojawiają się układy z napędem na cztery koła z jednoczesnym sterowaniem wszystkich kół poprzez cyfrowe układy sterująco-kontrolne. Chodzi o zmniejszenie promienia skrętu i prowadzenie kół tylnych śladami przednich, uzyskując zmniejszenie uszkodzeń roślin na uwrociach i zwiększenie wydajności.

O skuteczności zabiegu, oprócz szeregu innych czynników, decyduje często termin oraz czas wykonania, a ten zależy od wydajności agregatu. Dlatego coraz popularniejsze są belki o dużej szerokości roboczej (24–46 m) i zbiorniki cieczy użytkowej o pojemności nawet do 10 tys. litrów. Aktywna stabilizacja belki i inne rozwiązania techniczne, jak amortyzacja układu jezdnych, umożliwiają uzyskiwanie większych prędkości roboczych i transportowych [Czaczyk 2008].

Kolejnym sposobem realizacji precyzyjnej, ekonomicznej i ekologicznej ochrony roślin jest zastosowanie opryskiwaczy wyposażonych w belkę polową z pomocniczym strumieniem powietrza (PSP). Pomocniczy strumień powietrza nadaje kroplom cieczy większą prędkość, ograniczając jej znoszenie przez wiatr. Dzięki PSP mamy możliwość pracy przy prędkości wiatru nawet do $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz pokrycie znacznie większej powierzchni drobnymi kroplami, redukując tym sposobem ilość stosowanych pestycydów. Większa energia kropeł na drodze od rozpylacza do blaszki liściowej pozwala na szybszą jazdę

podczas zabiegu, nawet do $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ – bez negatywnych skutków znoszenia. Strumień powietrza, wprowadzając w ruch części roślin, odkrywa niedostępne dotychczas dla kropel ich elementy, dokładnie zwilżając całą powierzchnię rośliny [Ringel, Anderson 1991, Gohlich, Wesphal 1991, Miszczak 1997, Panneton, Piche 2005, www.krukowiak.pl].

Podstawowe trendy zarysowujące się w rozwoju opryskiwaczy i techniki ochrony roślin jako całości, które dotychczas można dostrzec na tle doniesień literaturowych, są następujące:

- podwyższenie wydajności pracy,
- mikroprocesorowe sterowanie opryskiwaniem,
- uzyskanie rozwiązań pozwalających na poprawienie penetracji upraw i równomiernego pokrycia roślin rozpylaną cieczą,
- ograniczenie znoszenia kropli,
- zredukowanie dawek stosowanych pestycydów,
- zredukowanie dawek cieczy opryskowej,
- uniezależnienie się od niesprzyjających warunków pogodowych [Hołownicki 2000, Ganzelmeier 2001, 2003, Czaczyk 2008, Kośmicki 2008, Doruchowski 2008].

W wielu doniesieniach o nowościach w technice ochrony roślin podkreśla się starania konstruktorów opryskiwaczy i ich oprzyrządowania do przyjęcia takich rozwiązań, które zapewnią jak największe pokrycie cieczą użytkową opryskiwanych powierzchni: roślin, gleby lub agrofagów, oraz wysoką równomierność naniesienia ś.o.r. Postęp w technice ochrony roślin nie dotyczy tylko samych rozwiązań związanych z aplikacją ś.o.r., ale zaznacza się również w dziedzinie pomiarów skuteczności zastosowanych metod i techniki. Jak już wcześniej wspomniano, ocenę jakości wykonanego zabiegu można dokonać na podstawie wielkości i równomierności pokrycia, i naniesienia stosowanego środka. Do tego, o czym była już mowa, służyły dotychczas bardzo pracochłonne metody, jak np. z użyciem próbników w postaci papierków wodoczułych (WSP). Crowe i in. [2005] proponują wykorzystanie techniki cyfrowej. W swojej publikacji przedstawiają zastosowanie z sukcesem ulepszanego elektronicznego systemu do pomiaru pokrycia i równomiernego naniesienia ś.o.r. na opryskiwane obiekty. Kierunek ten jest bardzo interesujący, zwłaszcza dla badaczy zajmujących się pomiarami stopnia pokrycia rozpyloną cieczą, jako jednego z podstawowych wskaźników przy ocenie wszelkich zmian technologicznych lub technicznych w technice ochrony roślin. Jak wynika z dokonanego przeglądu prac badawczych dotyczących tego zagadnienia, najczęściej stosowaną metodą jest analiza obrazu pokrycia papierków wodoczułych (WSP). Przegląd tendencji występujących w technice ochrony roślin uzmysławia, jak wiele jest jeszcze do zrobienia w tej dziedzinie i jak wszechstronny jest zakres realizowanych do tej pory prac. Najczęściej są to prace wymagające dużych nakładów finansowych. Brakuje natomiast badań niskonakładowych i prostych opracowań innowacyjnych, które by można było w krótkim czasie wdrożyć do praktyki. Ogólny wniosek wynikający z oceny zarysowujących się tendencji jest jednak dość optymistyczny. Można sądzić, że jest realne opracowanie w niedalekiej przyszłości koncepcji opryskiwacza inteligentnego do upraw polowych, który by eliminował lub w maksymalnym stopniu ograniczał dotychczas występujące zagrożenia środowiska, związane z emisją środków ochrony roślin poza opryskiwany obiekt.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO

Mimo ogromnego postępu w rozwoju nauk rolniczych i biologicznych, w tym różnych metod ochrony roślin takich jak hodowlana, mechaniczna, biologiczna, to najistotniejsze znaczenie w tej dziedzinie ma nadal metoda chemiczna polegająca na stosowaniu syntetycznych związków chemicznych. Choć tylko niewielka część ś.o.r. jest zaliczana do trucizn, to nie są one obojętne dla ludzi i środowiska. W metodzie chemicznej najczęstszym zabiegiem jest opryskiwanie polegające na nanoszeniu ś.o.r. na opryskiwane obiekty za pomocą rozpylonej cieczy, gdzie nośnikiem substancji aktywnej są krople o średnicy w zakresie 50–600 μm [Gajtkowski 2000]. Warunkiem skuteczności takiego zabiegu jest równomierne rozłożenie tych kropel, a tym samym ś.o.r., na opryskiwanej powierzchni w takiej ilości, by został spełniony podstawowy cel, jakim jest skuteczna ochrona plonów. Minęły już czasy bezmyślnego stosowania środków ochrony roślin bez uwzględniania wymogów ochrony środowiska i konsumentów żywności. Obecnie niezbędne jest uwzględnienie zagadnień bezpieczeństwa środowiska, operatora sprzętu oraz poprawienia skuteczności biologicznej i obniżenia kosztów ochrony jak również ograniczenie w maksymalnym stopniu pozostałości pestycydów w produkowanej żywności.

Proces opryskiwania zakłócany jest przez cały szereg czynników. Zakłócenia te wynikają również z niedoskonałości aparatury i urządzeń wykorzystywanych do realizacji zabiegu opryskiwania. Niewielka część substancji aktywnej wykorzystywanej bezpośrednio do zwalczania agrofagów wynika nie tylko ze złożonego charakteru zjawisk występujących podczas rozpylania, ale również z wielu niekorzystnych zjawisk towarzyszących temu procesowi w czasie wykonywania zabiegu [Rowiński 1994, Kierzek, Wachowiak 2009]. Ich natężenie uzależnione jest od profesjonalizmu wykonawcy zabiegu oraz zastosowanej techniki. Przede wszystkim są to zjawiska znoszenia, odparowania i opadu kropli niedostosowanych wielkością do rodzaju zabiegu. Mimo że wiele problemów związanych wykonywaniem zabiegu opryskiwania oraz samym procesem rozpylania jest dość szeroko przedstawiane w literaturze przedmiotu, to jednak opis ten nie jest pełny i nie wyjaśnia kompleksowo problemu. Prawidłowo wykonany zabieg, w rozumieniu rolnika, to zabieg skuteczny. Pojęcie skuteczności zabiegu jest mało precyzyjne i rodzi szereg wątpliwości. Chodzi o to, by akceptowaną skuteczność opryskiwania uzyskać jak najmniejszym kosztem i przy minimalnym zagrożeniu dla środowiska, operatora oraz przy zachowaniu bezpieczeństwa żywności. Decydujący wpływ na skuteczność procesu opryskiwania ma odpowiednie przygotowanie opryskiwacza do pracy, a przede

wszystkim właściwie przeprowadzona kalibracja i jego dobry stan techniczny. Jak już wspomniano oczekiwanym przez użytkownika efektem pracy rozpylacza jest odpowiednie naniesienie na obiekty opryskiwane substancji aktywnej, zapewniające wymaganą skuteczność zabiegu w zwalczaniu agrofagów. Naniesienie jest zależne, między innymi, od rozkładu opadu rozpylanej cieczy roboczej oraz stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni. Na podstawie tych dwóch wskaźników można z dużym przybliżeniem wnioskować o skuteczności zabiegu opryskiwania.

W opinii większości specjalistów pożądane pokrycie można uzyskać wtedy, gdy rozpylona struga charakteryzuje się szeregiem cech jakościowych, z których jako najważniejsze można przytoczyć właściwą wielkość i rozkład objętościowy kropel. Rozkład objętościowy analizowano dotąd w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku jazdy, a w płaszczyźnie podłużnej. Liczne badania wskazują, że rozkład poprzeczny rozpylonej strugi zmienia się istotnie wraz ze zmianą położenia belki. Można sądzić, że na rozkład podłużny ma wpływ prędkość jazdy oraz prędkość i kierunek wiatru, ale brak jest badań z tego zakresu. W związku z tym potrzebne były badania nad określeniem wpływu zmian położenia belki polowej i ruchu agregatu na rozkład rozpylonej cieczy i pokrycie opryskiwanych obiektów, aby następnie, na podstawie uzyskanych wyników, przyjąć określone parametry pracy i je zweryfikować w trakcie badań polowych.

Przedmiotem prezentowanej pracy jest określenie podstawowych cech, jakie charakteryzują proces rozpylania i mają decydujące znaczenie przy nanoszeniu środka ochrony na opryskiwane obiekty. Impulsem do prowadzenia badań w tym kierunku są wnioski z badań wstępnych dotyczących wpływu warunków i parametrów roboczych opryskiwacza na zachowanie się belki polowej w trakcie ruchu agregatu. Uzyskane i opracowane w ramach niniejszej pracy wyniki badań laboratoryjnych i polowych stanowią podstawę do opisu matematycznego badanych zjawisk oraz procesów występujących w trakcie zabiegu opryskiwania, co przyczyni się do racjonalniejszego i efektywniejszego wykorzystania ś.o.r. w produkcji polowej. W efekcie końcowym wyniki badań powinny przynieść szereg wniosków dotyczących określenia najlepszych parametrów technicznych i technologicznych pracy opryskiwacza polowego, a szczególnie dotyczących ustalenia rozpylacza na belce polowej.

4. CEL I ZAKRES PRACY

Głównym celem pracy jest określenie wpływu ustawienia rozpylaczy na belce polowej oraz wybranych parametrów i warunków pracy rozpylaczy na jakość opryskiwania ocenianej na podstawie rozkładu objętościowego rozpylonej cieczy oraz stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów.

Realizacja celu wymagała przeprowadzenia następujących badań:

- wpływu kąta asymetrii rozpylania na rozkład poprzeczny rozpylonej strugi dla wybranych rozpylaczy;
- wpływu zmiany ustawienia płaszczyzny rozpylania belki polowej opryskiwacza w stosunku do płaszczyzny pionowej do opryskiwanej powierzchni i prostopadłej do osi symetrii agregatu na rozkład poprzeczny opadu rozpylonej cieczy;
- wpływu zmiany ustawienia rozpylaczy w płaszczyźnie pionowej do powierzchni opryskiwanej i równoległej do osi agregatu na rozkład podłużny opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania czołowego strumienia powietrza o zmiennej prędkości;
- zależności między objętością opadu cieczy wypryskanej w różnych warunkach rozpylania i zmiennych parametrach ustawienia rozpylaczy a objętością cieczy wykorzystanej do rozpylania;
- wpływu warunków i parametrów pracy wybranych rozpylaczy na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów przy różnych kątach asymetrii ustawienia rozpylonej strugi;
- wpływu prędkości wiatru działającego prostopadle do kierunku ruchu opryskiwacza na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów przy różnych parametrach ustawienia rozpylaczy;
- określenia stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni w warunkach działającego wiatru czołowego o zmiennej prędkości przy zmianie parametrów pracy rozpylaczy;
- wpływu przyjętych parametrów ustawienia rozpylaczy na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów w warunkach polowych.

Zrealizowanie takiego zakresu badań jest podstawą do opracowania:

- modelu matematycznego wpływu przyjętych parametrów pracy rozpylaczy na rozkład opadu objętościowego cieczy podczas rozpylania;

- modelu matematycznego zależności między warunkami i parametrami pracy rozpylacza a stopniem pokrycia opryskiwanych obiektów;
- opisu matematycznego zależności między rozkładem objętościowym opadu rozpylanej cieczy a stopniem pokrycia opryskiwanych obiektów.

5. METODYKA BADAŃ

Zgodnie z przyjętymi celem i zakresem badań praca została podzielona na trzy zasadnicze części: badania laboratoryjne, badania polowe oraz opracowania teoretyczne. W pierwszej części doświadczeń w warunkach laboratoryjnych przebadano większość możliwych zależności wskaźników jakości pracy rozpylacza zamocowanego na belce polowej od różnych ustawień i parametrów pracy związanych ze zmieniającymi się warunkami pracy podczas opryskiwania i ruchem agregatu na podłożu rolniczym. Założono, że w stosunku do rozpylonej strugi wytwarzanej przez rozpylacz obiekty opryskiwane mogą przyjmować kilka reprezentatywnych (modelowych) ustawień. Są to powierzchnie pionowe równoległe i prostopadłe do kierunku jazdy oraz powierzchnie poziome. W związku ze zmianą ustawienia rozpylacza i zmianą warunków pracy (prędkości i kierunku wiatru) powierzchnie pionowe mogą również przyjmować w stosunku do płaszczyzny symetrii rozpylonej strugi różne orientacje. Mogą być określane jako wewnętrzne i zewnętrzne, nawietrzne i zawietrzne oraz najjazdowe i odjazdowe. Pojęcia te zostaną wyjaśnione w kolejnych rozdziałach metodyki. W zależności od sytuacji w trakcie opryskiwania warunki pracy rozpylacza mogą się zmieniać dość radykalnie. Może on pracować w warunkach bezwietrznych lub w sytuacji gdy na rozpyloną strugę działa strumień powietrza wynikający z wiatru atmosferycznego, wiatru pozornego, uzależnionego tylko od ruchu opryskiwacza oraz wiatru względnego jako sumy prędkości dwóch poprzednio wymienionych ruchów powietrza. Wiadomo, że wiatr atmosferyczny może wiać z różnej strony i jest to kwestia losowa, natomiast wiatr pozorny zawsze ma kierunek równoległy do ruchu opryskiwacza, a kierunek wiatru względnego wynika z wektorowego rachunku pozostałych prędkości wiatru. Do zmiennych parametrów pracy rozpylacza, które są przyjmowane podczas opryskiwania, należy wysokość rozpylania uzależniona od kąta rozpylonej strugi i od chwilowego ustawienia belki polowej podczas zabiegu oraz ciśnienie robocze, którego wartość wynika z wymagań związanych z realizacją określonego zabiegu. Należy tu dodać, że wychylenie belki polowej w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi agregatu zmienia całkowicie ustawienie wszystkich rozpylaczy znajdujących się na tej belce. Zmienia się również nie tylko wysokość, ale również ich kąt ustawienia względem opryskiwanej powierzchni.

5.1. Sposób realizacji celów pracy

Schemat realizacji badań został przedstawiony na rysunku 1.

Na pierwszym etapie zostały przeprowadzone badania laboratoryjne pozwalające na określenie:

- wpływu kąta asymetrii rozpylania na opad objętościowy cieczy w zmiennych warunkach pracy wybranych rozpylaczy;
- wpływu zmiany kąta natarcia płaszczyzny rozpylania belki polowej opryskiwacza na rozkład poprzeczny opadu rozpylonej cieczy;
- wpływu czołowego strumienia powietrza na zmianę rozkładu opadu objętościowego rozpylonej cieczy w zmiennych warunkach i parametrach pracy rozpylaczy. Badania dotyczyły rozkładu podłużnego rozpylonej cieczy oraz wyznaczenia wartości wskaźników charakteryzujących opad objętościowy takich jak wskaźnik opadu W_{so} obejmujący cały zakres powierzchni opryskiwanej;
- wpływu parametrów pracy i ustawienia rozpylaczy na stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni w warunkach bezwietrznych;
- wpływu parametrów pracy i ustawienia rozpylaczy na stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni w warunkach działania strumienia powietrza prostopadłego do ruchu próbników oraz wpływ parametrów pracy i ustawienia rozpylaczy na stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni w warunkach działania tzw. wiatru pozornego.

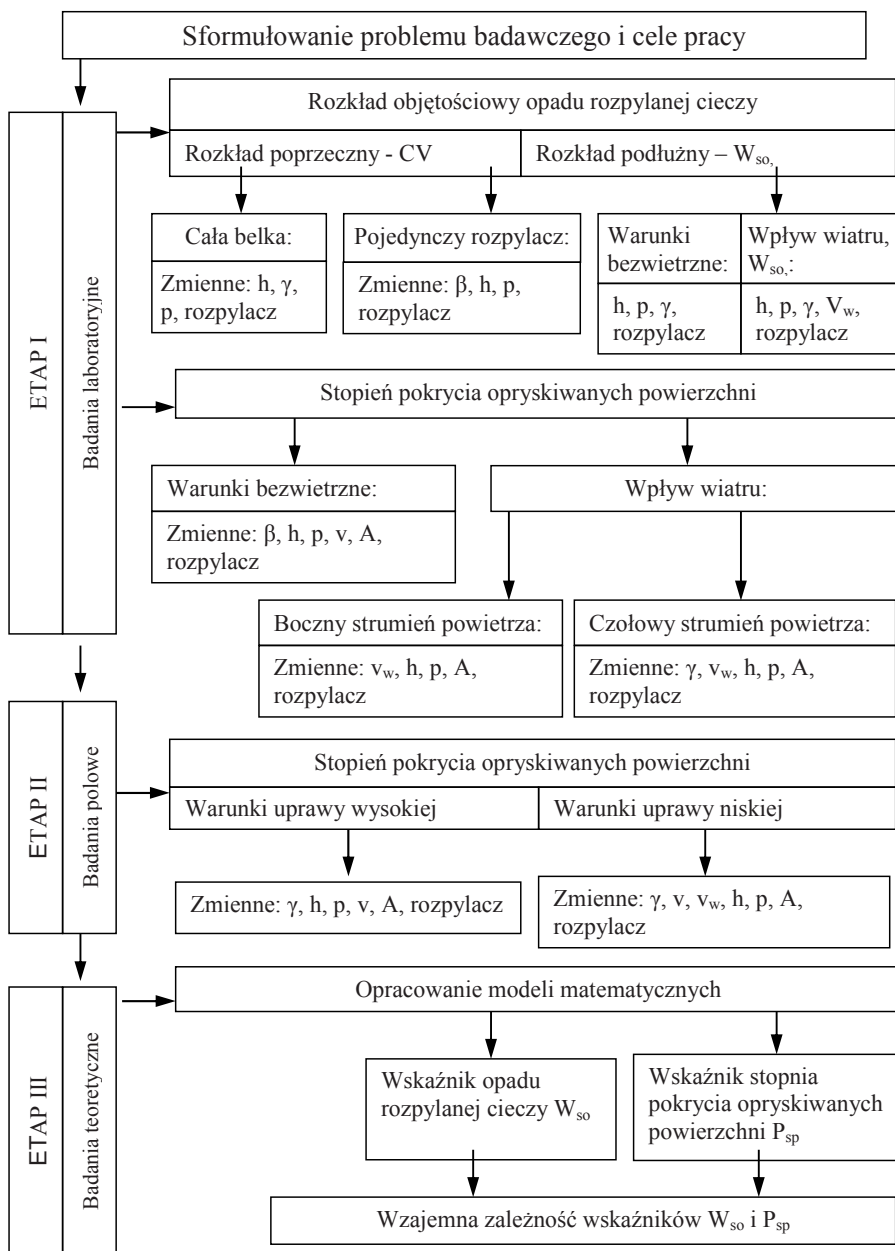
Na drugim etapie zostały przeprowadzone badania polowe pozwalające na weryfikację wniosków i rozwiązań uzyskanych w badaniach laboratoryjnych. Badania dotyczyły problematyki wpływu ustawienia rozpylacza na pokrycie opryskiwanych powierzchni w trakcie opryskiwania różniących się istotnie dwóch upraw:

- wpływu wiatru na pokrycie opryskiwanych powierzchni przy zmianie parametrów roboczych opryskiwacza podczas pracy na uprawie pszenicy w fazie krzewienia (niska uprawa);
- wpływu wiatru na pokrycie opryskiwanych powierzchni przy zmianie parametrów roboczych opryskiwacza podczas pracy w uprawie pszenicy w fazie pełnego wzrostu (wysoka uprawa).

Na trzecim etapie pracy zaplanowano opracowanie modeli matematycznych opisujących zjawiska występujące w procesie opryskiwania. Za materiał wyjściowy do opisu matematycznego posłużyły dane uzyskane w badaniach laboratoryjnych. Wyznaczono tu:

- model matematyczny wskaźnika opadu rozpylonej cieczy (W_{so}) w warunkach działania strumienia powietrza;
- model matematyczny opisującego wpływ parametrów pracy rozpylacza na wartość wskaźnika stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni (P_{sp}).

Ponadto określono wzajemną zależność między wskaźnikami opisującymi rozkład rozpylonej strugi i pokrycie opryskiwanych powierzchni.



Rys. 1. Schemat blokowy realizacji pracy
 Fig. 1. Block diagram of task realisation

5.2. Metodyka badań laboratoryjnych

Zgodnie z podanym wcześniej schematem prowadzenia badań (rys. 1) w kolejnych rozdziałach i podrozdziałach przedstawione zostaną metody opracowania wartości wskaźników decydujących o jakości pracy rozpylacza. Są to sposoby pomiarów rozkładów opadu rozpylonej cieczy w płaszczyznach normalnych, poprzecznych i podłużnych w stosunku do osi agregatu. Opisano również sposoby pomiaru wpływu różnych ustawień rozpylacza przy zmianie parametrów i warunków pracy na stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni uzyskane w warunkach laboratoryjnych. Prezentowane w niniejszym rozdziale stanowiska badawcze i sposoby pomiarów zostały opracowane przez autora w celu realizacji przyjętych celów badań.

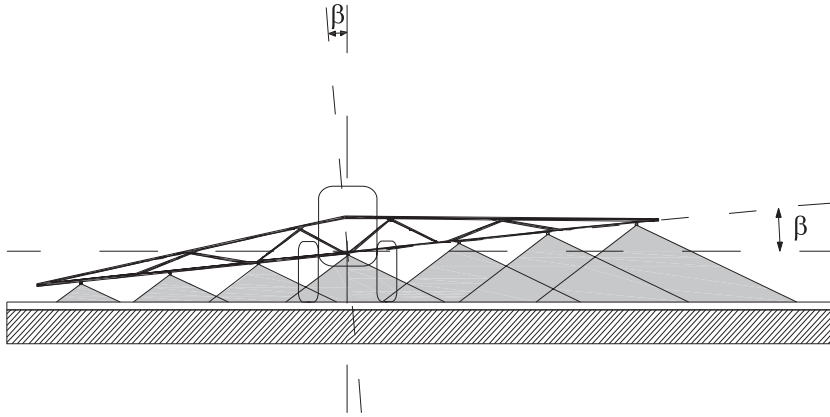
Pomiary laboratoryjne wykonywano w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano wieloczynnikowej analizie wariancji z wykorzystaniem pakietu Statistica.

5.2.1. Badania rozkładu poprzecznego opadu rozpylonej cieczy w warunkach statycznych

Ocena rozkładu poprzecznego opadu rozpylanej cieczy jest zasadniczą, ważną, częścią badań technicznych opryskiwacza, ponieważ rozkład ten ma często decydujący wpływ na jakość opryskiwania. Badania te obejmują swoim zakresem całą belkę polową, która pozostaje w trakcie badań nieruchoma na wysokości zalecanej przez producenta rozpylaczy zamontowanych na belce. Podstawowym wymogiem prowadzenia tych badań jest zapewnienie jak w największym stopniu warunków statycznych, rozumianych jako maksymalne ograniczenie wpływu czynników zewnętrznych na wyniki prowadzonych pomiarów a szczególnie oddziaływania wiatru.

Badania rozkładu poprzecznego opadu rozpylonej cieczy pojedynczego rozpylacza

Zmiana ustawienia belki polowej w płaszczyźnie pionowej powoduje zmianę wysokości rozpylania poszczególnych rozpylaczy umieszczonych na belce jak i ich asymetryczne ustawienia w stosunku do opryskiwanych powierzchni pionowych. Sytuację ilustruje schemat położenia belki polowej przedstawiony na rysunku 2. Każda pozycja przyjmowana przez belkę zdarza się wielokrotnie podczas pracy opryskiwacza a zakres wychylenia belki zależy od warunków wykonywania zabiegu (prędkość, nierówności terenu, sposób prowadzenia agregatu) oraz od skuteczności działania systemu stabilizacji belki. Jak widać na rysunku, gdy jeden koniec belki prawie dotyka powierzchni opryskiwanej, to drugi znajduje się na wysokości często znacznie przekraczającej zalecaną wysokość w danych rozpylaczach, w które wyposażony jest opryskiwacz. Dodatkowo rozpylacze przyjmują pozycję asymetryczną równą kątowi wychylenia belki β w stosunku do płaszczyzny pionowej i równoległej do osi agregatu. Na stanowisku badawczym należało więc stworzyć takie warunki, by można było zmieniać wysokość pracy rozpylaczy oraz ustawiać wymagany kąt asymetrii rozpylania.



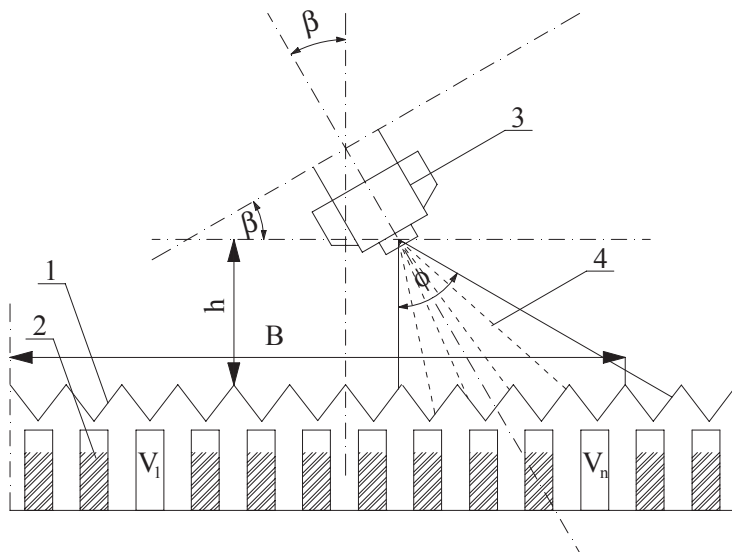
Rys. 2. Schemat położenia belki polowej przy wychyleniu o kąt β w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi agregatu
 Fig. 2. Diagram of the setting sprayer boom in situation β angle inclinasion in vertical plane perpendicular to the sprayers axis

Badania wskaźnika nierównomierności rozkładu poprzecznego przeprowadzono na stanowisku umożliwiającym zmiany ustawienia belki i tym samym rozpylacza pod wymaganym kątem asymetrii i wysokości opryskiwania, zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 3. Powierzchnię opryskiwaną stanowił stół rozdzielczy w postaci płaszczyzny rowkowanej o podziałce 50 mm. Opadła ciecz była wychwytywana do menzurerek o podziałce 2 ml oddzielnie z każdego rowka.

Wybrane do badań rozpylacze podano w tabeli 1. Zastosowane rozpylacze reprezentowały szeroką gamę dostępnych na rynku rozpylaczy szczelinowych charakteryzujących się szerokim zakresem kroplistości rozpylanej cieczy, kątami rozpylonej strugi oraz natężeniem wypływu. Wykorzystanie tak dużej grupy rozpylaczy podyktowane było potrzebą ograniczenia do minimum przypadkowości uzyskanych wyników wynikającej z różnych cech konstrukcyjnych i różnego sposobu formowania kropel.

W trakcie badań stosowano stałą wartość ciśnienia wynoszącą 0,3 MPa we wszystkich rozpylaczach. Zmiennymi parametrami ustawienia rozpylaczy były:

- kąt asymetrii rozpylonej strugi β : 0°; 1°; 2°; 4°;
- wysokość pracy rozpylacza h : 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 m;
- rodzaj rozpylacza.



Rys. 3. Sposób pomiaru rozkładu poprzecznego opadu rozpylonej cieczy pojedynczego rozpylacza przy zmiennym ustawieniu kąta asymetrii rozpylania β : Φ – kąt rozpylonej strugi, h – wysokość opryskiwania, B – szerokość rozpylania, V – objętość opadłej cieczy z szerokości jednego rowku pomiarowego o wymiarach 0,05x1,50 m, 1 – stół rowkowy, 2 – menzurka pomiarowa, 3 – rozpylacz, 4 – rozpylona struga

Fig. 3. The method of measurement of transverse spray distribution for a single nozzle at variable spray jet asymmetry angle β : Φ – angle of spray jet, h – height of nozzle, B – spray swath, V – volume of liquid collected in a single groove of horizontal patinator measuring 0,05x1,50 m, 1 – horizontal patinator, 2 – measuring tubes, 3 – nozzle, 4 – spray jet

Tabela 1
Table 1

Rozpylacze wybrane do badań
Types of tested nozzles

Lp.	Rodzaj rozpylacza Type of nozzle	Rozmiar i charakterystyka Sizes and nomenclature	Producent Producer	Natężenie wypływu [l·min ⁻¹]* Nozzle flow
1	o rozszerzonym zakresie ciśnienia (uniwersalny)	XR 11003VK	Tee Jet	1,18
2	standardowy	TP 80015VK	Tee Jet	0,59
3	dwustrumieniowy	TJ 60 11004 VS	Tee Jet	1,58
4	niskoznoszeniowy	DG 8004 VS	Tee Jet	1,58
5	niskoznoszeniowy	DG 80015 VS	Tee Jet	0,59
6	eżektorowy	DB 015F 120	Lurmark	0,60
7	eżektorowy	AI 110025 VS	Tee Jet	0,99
8	eżektorowy	TD 110025VK	Agrotop	1,00
9	uderzeniowy	TT 11004VS	Tee Jet	1,58

* Natężenie wypływu (wydatek rozpylacza) podano przy ciśnieniu 0,3 MPa wg danych producenta

Wskaźnik nierównomierności opadu cieczy obliczono wg zależności (1) [Gajtkowski 2000]:

$$\eta = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - q_{sr})^2}}{q_{sr}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:

- η – wskaźnik nierównomierności,
- n – liczba rowków pomiarowych,
- q_i – objętość cieczy z i -tego rowka pomiarowego,
- q_{sr} – średnia arytmetyczna objętość cieczy z n -tych rowków pomiarowych.

Badania rozkładu poprzecznego opadu rozpylanej cieczy dla całej belki polowej

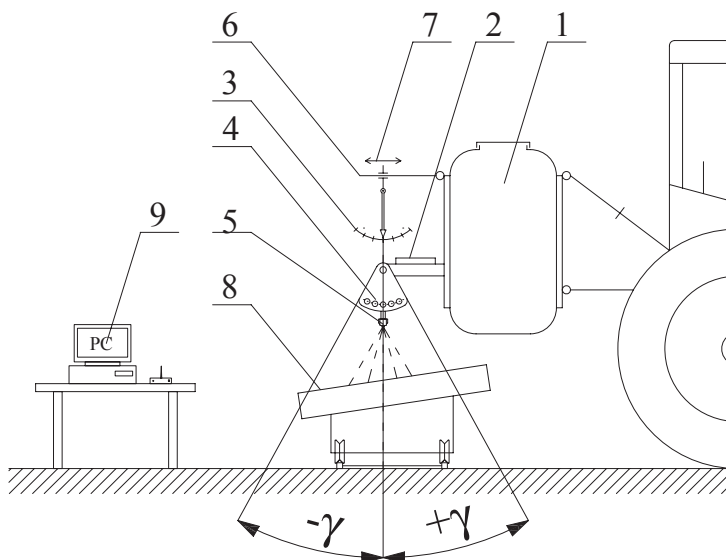
Przy wykonywaniu zabiegu dużą uwagę powinno się poświęcić właściwemu przygotowaniu opryskiwacza również od strony technicznej. Istotnym, w praktyce często zalecanym ustawieniem jest taka pozycja belki polowej, aby rozpylana ciecz robocza na całej szerokości belki była skierowana prostopadłe do podłoża, a ściśle przestrzeganie tego zalecenia miało być niezbędnym warunkiem udanego zabiegu.

Badania związane ze zmianą kąta natarcia płaszczyzny rozpylania całej szerokości belki polowej na wartość wskaźnika CV przeprowadzone zostały za pomocą standardowego elektronicznego stanowiska badawczego do badań nierównomierności opadu cieczy. Stanowisko badawcze składało się z ciągnika rolniczego z zawieszonym opryskiwaczem Palmet 412 LM oraz elektronicznego stołu rowkowego SPRAYER TEST 1000, który stanowił podstawową aparaturę pomiarową wraz ze sterującym przebiegiem pomiarów komputerem PC, który również rejestrował dane przekazywane drogą radiową bezpośrednio z czujników zamieszczonych na stole rowkowym. W komputerze sterującym zainstalowano specjalistyczne oprogramowanie umożliwiające dokonywanie, natychmiast po pomiarze, szczegółowej analizy i opracowanie danych. Stół rowkowy przesuwiał się po szynach pod belką polową na całej szerokości roboczej opryskiwacza. Odchylenie płaszczyzny rozpylania cieczy roboczej uzyskiwano, zmieniając położenie całej belki opryskiwacza. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 4.

Kąty odchylenia płaszczyzny opryskiwania ustalano za pomocą specjalnie do tego celu skonstruowanego przyrządu. Do badań wybrano kilka rodzajów rozpylaczy dość popularnych na polskim rynku, tj: standardowy firmy Lechler, niskoznoszeniowy firmy Bott Leszno i Sprays International Ltd oraz eżektorowy Agrotop (tab. 2).

Do badań przyjęto następujące parametry ustawienia belki:

- wysokości opryskiwania h : 0,4; 0,5; 0,6 m;
- odchylenie rozpylonej strugi o kąty γ : 0°; 10°; 20°; 30°;
- stałe ciśnienie cieczy p : 0,3 MPa.



Rys. 4. Stanowisko do pomiaru rozkładu poprzecznego opadu rozpylonej cieczy dla rozpylaczy na belce polowej opryskiwacza i zmiany kąta ustawienia belki polowej γ w osi agregatu: 1 – zbiornik opryskiwacza, 2 – poziomica, 3 – przyrząd do określania kąta γ całej belki, 4 – uchwyt do zmiany ustawienia segmentów belki, 5 – rozpylacze, 6 – uchwyt do zmiany położenia całej belki, 7 – kierunek zmian, 8 – elektroniczny stół rowkowy, 9 – komputer PC

Fig. 4. The method of measurement of transverse spray distribution for nozzles on spray boom and alteration of spray boom angle γ in the axis of sprayer: 1 – sprayer tank, 2 – level, 3 – boom angle γ measure device, 4 – grip for alteration of boom segments angle, 5 – nozzles, 6 – grip for alteration of boom position, 7 – direction of changes, 8 – electronic horizontal paternator, 9 – computer set for recording of measuring data

Tabela 2
Table 2

Rozpylacze wybrane do badań
Types of tested nozzles

Lp.	Rodzaj rozpylacza Type of nozzle	Rozmiar i charakterystyka Sizes and nomenclature	Producent Producer	Natężenie wypływu [l·min ⁻¹]* Nozzle flow
1	o rozszerzonym zakresie ciśnienia (uniwersalny)	AZMM 11003	Bott Leszno	1,18
2	standardowy	ST 11003	Lechler	1,18
3	standardowy	XLI 11003	Sprays International Ltd	1,18
8	eżektorowy	Air Mix 11003	Agrotop	1,18

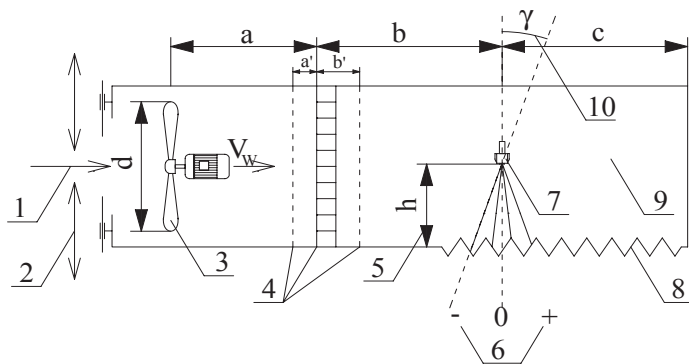
* Natężenie wypływu (wydatek rozpylacza) podano dla ciśnienia 0,3 MPa wg danych producenta

5.2.2. Badania rozkładu podłużnego opadu rozpylanej cieczy w warunkach statycznych i dynamicznych

Z przeglądu dostępnej literatury dotyczącej badań zachowania się rozpylanej cieczy w podczas opryskiwania wynika, że dotychczasowe badania dotyczyły przede wszystkim zjawisk znoszenia cieczy poza powierzchnie opryskiwane. Badania te prowadzone w warunkach laboratoryjnych i polowych cechowały się dużą pracochłonnością oraz dużymi nakładami finansowymi. Nie były natomiast prowadzone badania, których celem byłaby ocena rozkładu podłużnego w zależności od warunków rozpylania i przyjętych parametrów pracy rozpylacza. W dostępnej literaturze brak było również wzmianki o możliwości zastosowania charakterystyki rozkładu podłużnego opadu rozpylanej cieczy do wnioskowania o wielkości ewentualnego zagrożenia znoszeniem rozpylanej cieczy poza obszar opryskiwany czy też powiązaniu tej charakterystyki z możliwym stopniem pokrycia opryskiwanych obiektów. Przedstawiona w tym rozdziale metodyka służy uzyskaniu charakterystyk rozkładu opadu rozpylanej cieczy w takim ujęciu, aby można było sformułować wnioski określające wpływ warunków i parametrów pracy rozpylacza na rozkład podłużny pod kątem oceny zagrożenia znoszeniem cieczy i stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów.

Schemat stanowiska do badań rozkładu podłużnego opadu rozpylanej cieczy przedstawiono na rysunku 5. Zasadniczą część stanowiska badawczego tworzy tunel powietrzny, w którym zamontowano na specjalnym statywie badany rozpylacz w uchwycie umożliwiającym zmianę wysokości rozpylania oraz zmianę kąta ustawienia rozpylanej strugi w stosunku do płaszczyzny prostopadłej do podłoża i osi kanału powietrznego. Podstawą tunelu jest stół rozdzielczy o podziałce 50 mm. Stanowi on powierzchnię opryskiwaną umożliwiającą zbieranie opadu rozpylanej cieczy oddzielnie z powierzchni 50x1000 mm przypadającej na jedną rynienkę do menzurek o podziałce 2 ml. Płaszczyzna symetrii rozpylanej strugi pionowo ustawionego rozpylacza dzieliła opryskiwaną powierzchnię na dwie części tak, że część stołu od strony nawietrznej, czyli w stronę przeciwną do kierunku działania strumienia powietrza oznaczono na schemacie znakiem minus (-) a część płaszczyzny stołu skierowaną zgodnie z kierunkiem strumienia powietrza od płaszczyzny symetrii oznaczono znakiem plus (+).

Strumień powietrza wytwarzany jest przez wentylator osiowy. Prędkość strumienia powietrza regulowano poprzez zmianę powierzchni przekroju szczeliny wlotowej. Jednorodność strumienia powietrza na całym przekroju kanału powietrznego uzyskano za pomocą prostownicy rurowo-wiązkowej powietrza zainstalowanej za wentylatorem. Ciecz robocza do rozpylacza była tłoczona z instalacji stacjonarnego opryskiwacza napędzanego silnikiem elektrycznym. Do regulacji i odczytu ciśnienia cieczy służy zespół sterująco-pomiarowy tego opryskiwacza. Dodatkowo kontrolę ciśnienia cieczy wykonywano na belce opryskiwacza w bezpośrednim sąsiedztwie uchwytu badanego rozpylacza.



Rys. 5. Schemat stanowiska pomiarowego do badań rozkładu podłużnego opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania czołowego strumienia powietrza: γ – zmienny kąt ustawienia rozpylacza w płaszczyźnie podłużnej, h – wysokość rozpylania, v_w – prędkość strumienia powietrza, d – średnica wirnika dmuchawy, a – odcinek od wirnika do prostownicy strumienia powietrza ($a > 6d$), b – odcinek pomiarowy w kierunku przeciwnym do strumienia powietrza od osi rozpylacza, c – odcinek pomiarowy zgodny z działaniem strumienia powietrza w stosunku do osi rozpylacza, a' b' – odległości ustawienia siatek korygujących, 1 – wlot powietrza, 2 – sposób regulacji prędkości strumienia powietrza, 3 – dmuchawa, 4 – prostownica strumienia powietrza, 5 – wysokość ustawienia rozpylacza, 6 – oznaczenie opryskiwanych powierzchni, 7 – mocowanie rozpylacza, 8 – stół rowkowy, 9 – tunel powietrzny, 10 – kąt odchylenia rozpylacza

Fig. 5. Diagram of stand for measurements of longitudinal spray distribution at a head wind situation: γ – variable nozzle angle in the longitudinal plane, h – height of nozzle, v_w – air flow velocity, d – diameter of fan propeller, a – distance from the propeller to the air vane ($a > 6d$), b – measuring distance on the direction opposite to the airflow in relation to the axis of the nozzle, c – measuring distance along the airflow in relation to the axis of the nozzle, 1 – air inlet, 2 – adjustments of the airflow velocity, 3 – fan, 4 – air vane, 5 – height of nozzle, 6 – marking of treated surface, 7 – nozzle fixing, 8 – horizontal patenator, 9 – air tunnel, 10 – deflection angle of nozzle

Kontrolę jednorodności strumienia powietrza sprawdzano przez pomiar prędkości powietrza w 9 punktach przekroju tunelu w miejscu mocowania rozpylacza. Uzyskane wyniki prędkości powietrza na całym przekroju zostały uśrednione. Rozpylona ciecz opadała na stół rowkowy, z którego ściekała do menzurki pomiarowych osobno z każdej rynienki. Pomiaru wykonywano w trzech powtórzeniach, a czas każdego pomiaru ograniczało napełnienie jednej z menzurki. Zmiana ciśnienia cieczy zmienia natężenie wypływu cieczy z rozpylacza oraz zmianę spektrum rozpylonej cieczy, co powodowało, że czas trwania pomiaru był inny przy różnych ciśnieniach i wysokościach. Zakres pomiaru a tym samym ilość rynienek uwzględnianych w pomiarach również się różniły w każdej serii pomiarów, ponieważ odczytu ilości cieczy wychwyconej w menzurce dokonywano gdy objętość cieczy w menzurce wynosiła minimum 2 ml, tj. zawierała się w granicach błędu pomiarowego. W związku z tym, że każdy pomiar mógł różnić się ilością prze-

chwyconej cieczy do dalszej analizy wyników uwzględniono wartości względne ilości cieczy w menzurkach, tj. stosunek objętości cieczy zmierzonej w danej menzurce V_i do cieczy wychwyconej we wszystkich menzurkach V_c dla danego pomiaru.

W trakcie badań stosowano następujące parametry ustawienia rozpylacza:

- wysokość pracy h : 0,4; 0,5; 0,6 m;
- ciśnienie cieczy p : 0,1; 0,2; 0,3 MPa;
- kąt odchylenia płaszczyzny rozpylania γ : 0°, 10°, 30°, 40°;
- prędkość strumienia powietrza ustalono na v_w : 0,0; 1,5; 3,0; 4,5 m·s⁻¹.

Badania wykonano na kilku wybranych spośród najczęściej stosowanych przez rolników typach rozpylaczy. Były to rozpylacze standardowe, uniwersalne i eżektorowe jedno- i dwustrumieniowe.

5.2.3. Badania wpływu warunków i parametrów pracy rozpylacza na wartość wskaźnika opadu rozpylanej cieczy W_{so}

Podczas zabiegu istotne jest, by cała emitowana ciecz znalazła się w miejscu przeznaczenia, tj. na opryskiwanych obiektach, którymi mogą być rośliny lub gleba. W celu określenia ilości rozpylonej cieczy, która może pokryć opryskiwane powierzchnie, opracowano wskaźnik opady cieczy W_{so} wynikający z następującej zależności:

$$W_{so} = \frac{\sum V_i}{V_c} \times 100\% \quad (2)$$

gdzie:

- $\sum V_i$ – sumaryczna objętość opadu cieczy w na powierzchni stołu probierczego,
- V_c – całkowita objętość cieczy wykorzystana do rozpylania w danym pomiarze.

Każda różnica między objętością cieczy zmierzoną w menzurkach pomiarowych ($\sum V_i$) a objętością cieczy użytą do pomiaru (V_c) oznacza potencjalną stratę cieczy roboczej i zagrożenie dla środowiska i innych upraw na skutek znoszenia sedimentacyjnego w wyniku działania ruchów powietrza. W ten sposób wyznaczany wskaźnik W_{so} opisuje jednym parametrem zachowanie się rozpylonej cieczy w warunkach oddziaływania wiatru na rozpyloną ciecz, podobnie jak to miało miejsce w badaniach laboratoryjnych, gdzie na rozpyloną strugę działano strumieniem powietrza wytwarzanym przez wentylator. W ten sposób wskaźnik liczbowo zastępuje wykres ilustrujący rozkład podłużny opadu cieczy na powierzchni opryskiwanej. W trakcie badań stosowano te same parametry ustawienia rozpylacza co w przypadku badań rozkładu podłużnego oraz rozpylacz uniwersalny XR i eżektorowy AI firmy Tee Jet (por. rozdz. 5.2.2).

5.2.4. Badania stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów

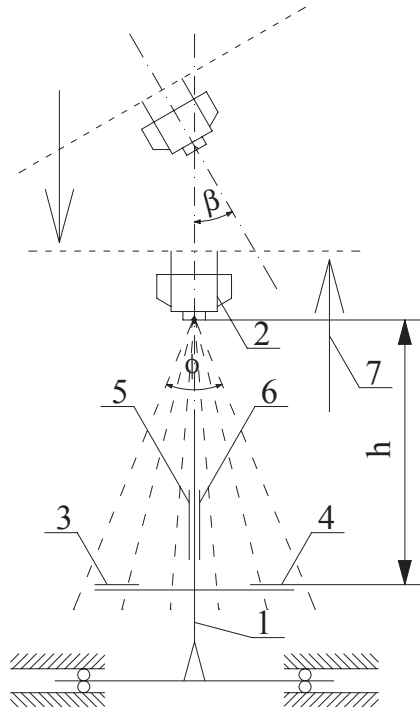
Badania stopnia pokrycia w warunkach bezwietrznych

W rozdziale 5.2.1 przedstawiono metodykę badań rozkładu poprzecznego opadu rozpylonej strugi w sytuacji, gdy belka polowa opryskiwacza wychyla się w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi agregatu i kierunku jazdy. Stopień tego odchylenia od poziomu oznaczono kątem β . W takim przypadku rozpylacze zamontowane na belce pracują nie tylko na różnej wysokości w stosunku do podłoża, ale wytworzone przez nie rozpylone strugi przyjmują pozycję asymetryczną do opryskiwanego łanu roślin. Można przypuszczać, że taka sytuacja prowadzi nie tylko do zwiększenia nierównomierności rozkładu poprzecznego, ale również może wpłynąć na nierównomierne pokrycie opryskiwanych pionowych obiektów. Wynika to z tego, że jedna strona opryskiwanego obiektu pionowego jest dla asymetrycznej rozpylonej strugi ustawiona jako wewnętrzna (A_w) a druga jako zewnętrzna (A_z). Przypadek ten został przedstawiony na rysunku 6. Podstawowym celem tej części badań była ocena wpływu kąta asymetrii β rozpylonej strugi na zmianę stopnia pokrycia. Badania stopnia pokrycia w warunkach bezwietrznych wykonano w warunkach laboratoryjnych. Na stanowisku badawczym ruch opryskiwacza symulowano przemieszczeniem sztucznej rośliny. Konstrukcja stanowiska dawała możliwość zmiany prędkości opryskiwanego obiektu w stosunku do nieruchomego rozpylacza, co pozwalało na wyeliminowanie tzw. efektu wiatru pozornego, oraz umożliwiała zmianę parametrów pracy rozpylaczy. Do sztucznej rośliny były przymocowane, jako powierzchnie opryskiwane, papierki wodoczułe zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 6. Rysunek przedstawia sposób rozmieszczenia powierzchni opryskiwanych oraz zmianę kąta asymetrii rozpylania β . Do określania stopnia pokrycia cieczą wykorzystano istotną właściwość papierków wodoczułych polegającą na zmianie zabarwienia pod wpływem opadłych na nie kropelek cieczy. Powierzchnia o zmienionym zabarwieniu określana była za pomocą komputerowej analizy obrazu i traktowana jako równoważna ze stopniem pokrycia opryskiwanej rośliny P_{sp} .

W trakcie badań stosowano stałą wartość ciśnienia – 3 bary we wszystkich rozpylaczach. Zmiennymi parametrami ustawienia rozpylaczy były:

- kąt asymetrii rozpylonej strugi β : 0°; 1°; 2°; 3°; 4°;
- prędkość przesuwu sztucznej rośliny v : 1,39; 1,94; 2,5 m·s⁻¹;
- wysokość pracy rozpylacza h : 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 m;
- położenie obiektów opryskiwanych A : pionowy wewnętrzny – A_w ; pionowy zewnętrzny – A_z ; poziomy – A_{po} .

Badania wykonano na licznej (10 szt.) grupie rozpylaczy ciśnieniowych, w skład której wchodziły rozpylacze szczelinowe standardowe, uniwersalne jedno- i dwustrumieniowe, niskoznoszeniowe oraz rozpylacze eżektorowe i uderzeniowe. Wybór tak szerokiej gamy rozpylaczy podyktowany był potrzebą wykorzystania jak największego zakresu kroplistości rozpylonej strugi, jakim te rozpylacze się charakteryzują, tj. od oprysku drobnokroplistego do bardzo grubokroplistego. Do analizy wyników wybrano rozpylacz uniwersalny XR 11003VK i eżektorowy AI 11004VS firmy Tee Jet, jako najreprezentatywniejsze dla badanej grupy.



Rys. 6. Schemat ustawienia rozpylacza w stosunku do opryskiwanych obiektów przy zmianie kąta asymetrii rozpylania β : h – wysokość rozpylania, 1 – sztuczna roślina na przesuwным uchwycie, 2 – badany rozpylacz, 3, 4 – opryskiwane obiekty poziome (A_{po}), 5 – opryskiwane obiekty pionowe wewnętrzne (A_w), 6 – opryskiwane obiekty pionowe zewnętrzne (A_z), 7 – sposób zmiany ustawienia belki polowej

Fig. 6. Diagram of nozzle setting in relation to the treated surfaces at alteration of nozzle asymmetry angle β : h – height of nozzle, 1 – artificial plant in the moving grip, 2 – tested nozzle, 3, 4 – horizontal treated surface (A_{po}), 5 – vertical inner treated surface (A_w), 6 – vertical outer treated surface (A_z), 7 – alteration of spray boom setting

Badania stopnia pokrycia w warunkach działania wiatru

Podczas opryskiwania rozpylona struga poddawana jest działaniu strumienia powietrza wynikającego z panujących w danej chwili warunków atmosferycznych, a szczególnie wiatru wiejącego z różnych kierunków i z różną siłą. Wprawdzie wielu specjalistów podkreśla, że niewielki, bocznie skierowany wiatr wpływa najkorzystniej na jakość zabiegu, to w praktyce spełnienie tego warunku nie jest możliwe. Trzeba podkreślić, iż nawet słaby wiatr w połączeniu ze względnym ruchem powietrza wynikającym z przemieszczania się opryskiwacza, tzw. wiatrem pozornym może dać w sumie prędkość strumienia powietrza istotnie zakłócającego proces nanoszenia rozpylonej cieczy na opryskiwane obiekty.

W tym rozdziale przedstawiono metodykę badań, które miały na celu wyjaśnienie procesu opryskiwania obiektów różnie zorientowanych do kierunku wiatru przy zmiennych parametrach pracy rozpylaczy. Ograniczono się do zaprezentowania tylko wybranych przypadków jako reprezentatywnych do dalszych rozważań. Wzięto pod uwagę przypadek, gdy rozpylacz ustawiony jest na określonej wysokości, a na rozpylaną strugę działa boczny lub czołowy wiatr o różnej prędkości.

Rozpyloną strugę charakteryzuje stały stopień rozpylenia, ale rozpylana jest zmienna dawka cieczy roboczej w związku ze zmienną prędkością opryskiwacza.

Stopień pokrycia rozpyloną strugą w warunkach działania wiatru prostopadłe do kierunku ruchu opryskiwacza

W trakcie przemieszczania się opryskiwacza po polu na rozpylaną strugę oddziałuje strumień powietrza będący efektem wzajemnego oddziaływania, tzw. wiatru pozornego wynikającego z ruchu agregatu oraz wiatru rzeczywistego (atmosferycznego). Wiatr pozorny ma zawsze kierunek przeciwny do ruchu opryskiwacza, natomiast wiatr rzeczywisty przyjmuje kierunek losowy. Jeżeli opryskiwana uprawa na to pozwala, to operator opryskiwacza powinien tak prowadzić opryskiwacz, by kierunek tego wiatru był prostopadły do osi agregatu. Dlatego też istotne byłoby w badaniach stworzyć warunki wykonania pomiarów umożliwiających wyeliminowanie oddziaływania wiatru pozornego w celu określenia wpływu tylko wiatru bocznego na pokrycie opryskiwanych powierzchni w zmiennych warunkach pracy i ustawienia rozpylaczy. Sposób rozmieszczenia opryskiwanych obiektów na sztucznej roślinie i kierunek bocznego strumienia powietrza w stosunku do próbników przedstawiono na rysunku 7.

Strumień powietrza symulujący wiatr boczny prostopadły do płaszczyzny, w której poruszała się opryskiwana sztuczna roślina, uzyskiwano przy zastosowaniu wentylatora o wydatku około 30 tys. m³/h ustawionym w osi tunelu foliowego przechodzącego z przekroju okrągłego do przekroju kwadratu o boku 1 m w miejscu rozpylania cieczy. Konstrukcję stanowiska i sposób wykonywania pomiarów przedstawiono w rozdziale 5.2.3. W celu zachowania porównywalnych warunków wszystkich pomiarów, bez tzw. wiatru pozornego, proces opryskiwania cieczy realizowany był przez stacjonarną belkę połową zasilaną przez opryskiwacz połowy. Ruch opryskiwacza symulowano przemieszczaniem się sztucznej rośliny. W badaniach stosowano stałą wartość ciśnienia cieczy wynoszącą 3 MPa, natomiast pozostałe parametry przyjmowały następujące wartości:

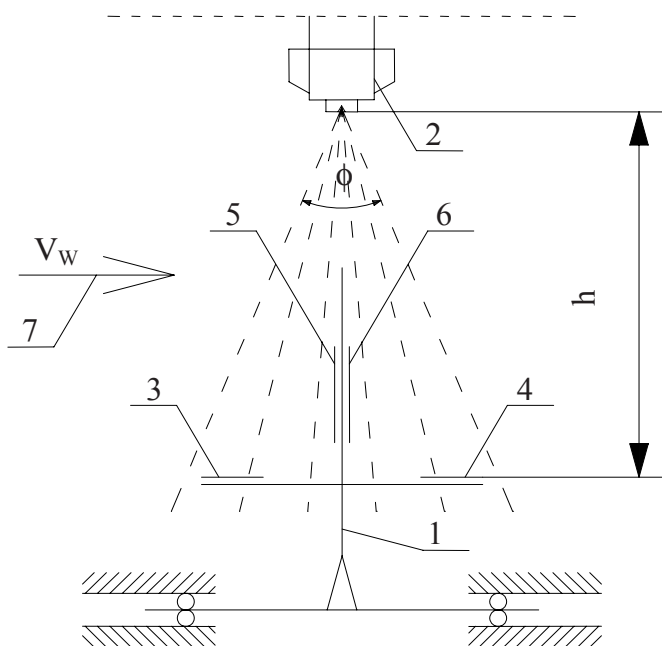
- wysokość rozpylania – h: 0,5; 0,6; 0,8 m,
- prędkość strumienia powietrza – v_w : 0; 1,5; 3; 4,5 m·s⁻¹,
- prędkość opryskiwania – v: 1,39; 1,94; 2,5 m·s⁻¹.

Prędkość symulowanego wiatru, jak i prędkość opryskiwania zostały przyjęte do badań w zakresach wartości występujących w praktyce.

Do badań wybrano cztery typy rozpylaczy płaskostrumieniowych Tee Jet o jednokowej wielkości:

- uderzeniowy – TT 11004 VP,
- antyznoszeniowy – DG 11004 VS,

- eżektorowy – AI 1004 VS,
 - uniwersalny – XR 11004 VS.
- Stopień pokrycia określono, tak jak wyjaśniono w poprzednim rozdziale, na podstawie zmiany zabarwienia papierków wodoroczułych.



Rys. 7. Schemat rozmieszczenia opryskiwanych obiektów na sztucznej roślinie w warunkach działania strumienia powietrza prostopadłego do ruchu rośliny: Φ – kąt rozpylonej strugi w płaszczyźnie poprzecznej, h – wysokość rozpylania, v_w – prędkość bocznego strumienia powietrza, 1 – sztuczna roślina, 2 – badany rozpylacz, 3, 4 – opryskiwane obiekty poziome (A_{po}), 5 – obiekt pionowy nawietrzny (A_{nw}) 6 – obiekt pionowy zawietrzny (A_{zw}), 7 – kierunek strumienia powietrza

Fig. 7. Diagram of treated surfaces on artificial plant when acting with air jet perpendicular to the direction of plant movement: Φ – spray jet angle in perpendicular plane, h – height of nozzle, v_w – velocity of cross air flow, 1 – artificial plant, 2 – tested nozzle, 3, 4 – horizontal treated surfaces (A_{po}), 5 – windward vertical treated surface (A_{nw}) 6 – leeward vertical treated surface (A_{zw}), 7 – direction of air jet

Badania stopnia pokrycia w warunkach działania wiatru czołowego

Badania stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni w zależności od ustawienia rozpylacza na belce opryskiwacza zostały przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych. Umożliwiało to wyeliminowanie czynników zewnętrznych mogących zakłócać przebieg procesu nanoszenia kropli na opryskiwane obiekty. Zapewniono w ten sposób utrzymanie porównywalnych warunków poszczególnych pomiarów – temperatury, wilgotności

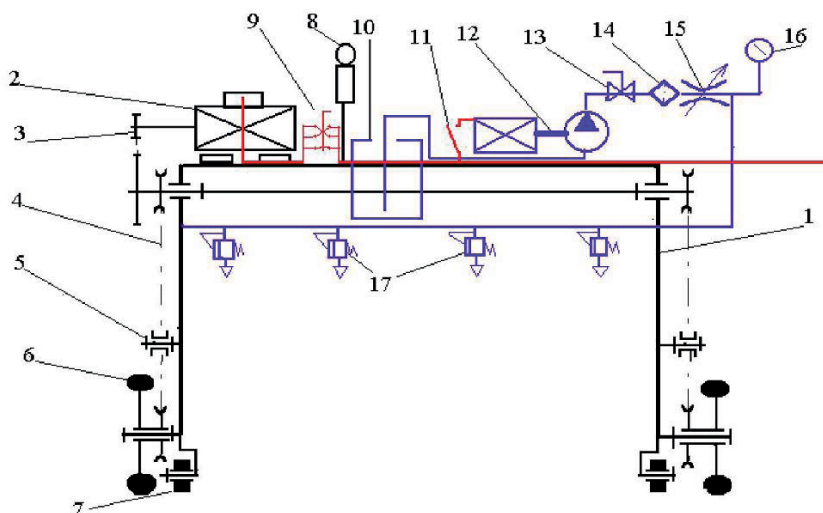
oraz ruchów powietrza wywołanych wiatrem rzeczywistym. Stanowisko badawcze zainstalowano w hali o długości 70 m, szerokości 12 m i wysokości 6 m. Podłoże stanowiła betonowa posadzka, na której zamontowano szynę prowadzącą nośnik rozpylaczy. Widok stanowiska został przedstawiony na fotografii 1.



Fot. 1. Widok ogólny stanowiska: 1 – sztuczna roślina, 2 – rolka prowadząca, 3 – koło bieżące, 4 – nośnik rozpylaczy

Photo 1. General view of the stand. 1 – artificial plant, 2 – leading roll, 3 – running wheel, 4 – nozzle module

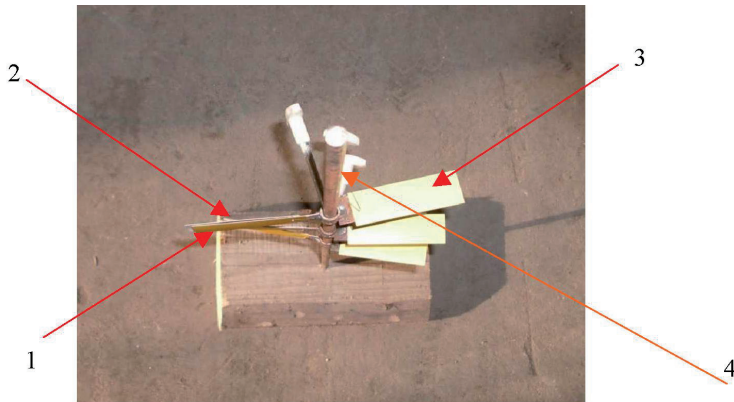
Nośnik rozpylaczy został przedstawiony na schemacie (rys. 8). Rama została wykonana z profili aluminiowych, tworząc w ten sposób wózek wsparty na dwóch kołach ogumionych napędzanych niezależnie oraz dwóch rolkach metalowych, z których jedna poruszała się w prowadnicy, zapewniając ruch prostoliniowy. Zasadniczą częścią nośnika rozpylaczy jest element belki połowej opryskiwacza wyposażony w korpusy wielorozpylaczowe. W eksperymencie stosowano rozpylacze: szczelinowe uniwersalne XR 11002VP firmy Tee Jeet Lu120-03 firmy Lechler oraz eżektorowe IDK120-03 IDK120-04 firmy Lechler. Przy wyborze rozpylaczy kierowano się szerokim spektrum wielkości kropeł wytwarzanych przez zastosowane rozpylacze. Rozpylacze XR i LU emitowały rozpyloną strugę drobnokroplistą i średniokroplistą, a rozpylacze IDK grubokroplistą. Mocowanie belki umożliwiało ustawienie rozpylaczy na wybranej wysokości oraz odchylenie rozpylonej strugi w stosunku do płaszczyzny prostopadłej do podłoża i osi nośnika o dowolny kąt (rys. 8). Do zasilania rozpylaczy zastosowano agregat elektryczno-pompowy.



- Rys. 8. Schemat budowy nośnika rozpylaczy: 1 – rama, 2 – silnik napędowy, 3 – przekładnia łańcuchowa, 4 – przekładnia pasowa, 5 – napinacz paska klinowego, 6 – koła napędowe, 7 – rolki przednie i tylne prowadzące, 8 – anemometr, 9 – przełącznik kierunku obrotów, 10 – zbiornik wody, 11 – załącznik pompy, 12 – pompa z silnikiem, 13 – zawór odcinający, 14 – filtr, 15 – zawór regulacji ciśnienia, 16 – manometr, 17 – oprawy rozpylaczy z zaworami przeciwkroplowymi
- Fig. 8. Diagram of nozzle modul: 1 – frame, 2 – driving engine, 3 – chain transmission, 4 – belt transmission, 5 – V-belt strainer, 6 – driving wheel, 7 – front and rear leading rolls, 8 – anemometer, 9 – switch of revolution direction, 10 – water tank, 11 – pump on/off, 12 – pump and engine, 13 – on/off valve, 14 – filter, 15 – pressure adjustment valve, 16 – manometer, 17 – nozzle holder with antidrip valves

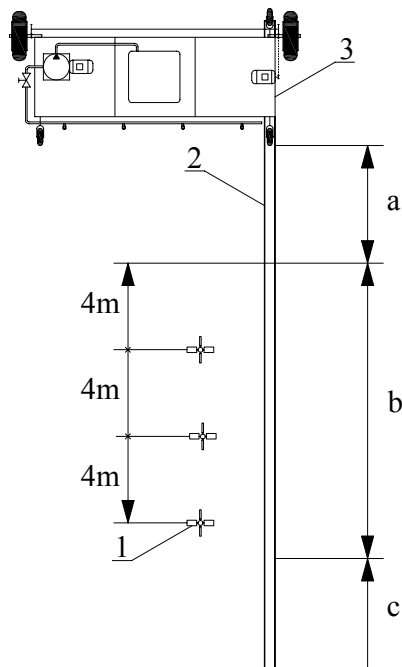
Nośnik przemieszczał się po prowadnicy o długości 30 m wykonanej z ceownika na stałe przytwierdzonego do podłoża. Wzdłuż prowadnicy umieszczone były sztuczne rośliny umożliwiające zamocowanie sztucznych próbników na wybranej wysokości w stosunku do rozpylacza i podłoża (fot. 2).

Schemat rozmieszczenia sztucznych roślin przedstawiono na rysunku 9. Obserwacje prowadzono na trzech sztucznych roślinach ustawionych co 4 m stanowiących powtórzenie pomiaru. Wraz z pomiarem prędkości modułu dokonywano pomiar prędkości wiatru pozornego wynikającego z ruchu nośnika.



Fot. 2. Widok z góry na sztuczną roślinę z założonymi próbnikami: 1, 2 – obiekty opryskiwane pionowe (A_{pi}), 3 – obiekt opryskiwany poziomy (A_{po}), 4 – stelaż

Photo 2. Top view of the artificial plant with samples: 1, 2 – vertical treated surfaces (A_{pi}), 3 – horizontal treated surfaces (A_{po}), 4 – rack



Rys. 9. Rzut stanowiska badawczego w płaszczyźnie poziomej: 1 – sztuczna roślina, 2 – szyna rolki prowadzącej moduł rozpylaczy, 3 – nośnik rozpylaczy

Fig. 9. Vertical projection of the test stand: 1 – artificial plant, 2 – rail of the leading roll of nozzle module, 3 – nozzle module

Przeprowadzony eksperyment miał umożliwić realizację zasadniczego celu badań, którym było określenie wpływu zmiany kąta ustawienia rozpylonej strugi na stopień pokrycia w zmiennych warunkach i parametrach pracy rozpylacza. Podstawowym warunkiem przeprowadzenia tego eksperymentu była możliwość zmiany takich parametrów jak: prędkość ruchu modułu rozpylaczy, prędkość wiatru pozornego, wysokość pracy rozpylaczy, ciśnienie cieczy. Prędkość wiatru pozornego wynikającego z ruchu nośnika rejestrowana była automatycznym anemometrem umieszczonym na nośniku. Kąt odchylenia rozpylonej strugi był mierzony kątomierzem zamontowanym na ramie nośnika. Badania zrealizowano przy kombinacji następujących wartości wymienionych parametrów:

- prędkość wiatru – v_w : 1,94; 2,77; 3,61 m·s⁻¹,
- wysokość belki – h: 0,4; 0,5; 0,6 m,
- ciśnienie cieczy – p: 0,2; 0,3; 0,4 MPa,
- kąt odchylenia rozpylacza – γ : 0°; 10°; 20°; 30°.

Po zakończeniu przejazdu nośnika rozpylaczy nad sztucznymi roślinami, próbki były zabezpieczane przed przypadkowym zawilgoceniem. Po przeniesieniu próbników do laboratorium poddawano je komputerowej analizie obrazu, wyznaczając procent powierzchni próbника pokryty ciecżą opryskową. Analizę wykonywano na stanowisku składającym się ze skanera współpracującego z komputerem ze specjalistycznym oprogramowaniem. Ocena stopnia pokrycia wykonywano w trzech losowo wybranych miejscach każdego próbника na wycinkach o powierzchni 1 cm².

5.3. Metodyka badań polowych

Podstawowym celem przeprowadzenia badań polowych była potrzeba weryfikacji wyników pomiarów uzyskanych w warunkach laboratoryjnych. Badania wykonano w łanie pszenicy ozimej w fazie krzewienia i gdy osiągnęła pełnię swego wzrostu. Jedną sytuację określono jako wykonywanie zabiegu w warunkach uprawy niskiej a drugą opisano jako opryskiwanie w warunkach uprawy wysokiej. Przypadek uprawy wysokiej to sytuacja, kiedy opryskiwanie wykonuje się w zaawansowanym okresie wzrostu roślin i powierzchnia opryskiwana jest wówczas tworzona przez zwarty łan utrudniający równomierne pokrycie wszystkich organów roślin, co często nie daje gwarancji naniesienia ilości substancji aktywnej, odpowiedniej do skutecznej ochrony. Istotnym wymogiem dobrej jakości zabiegu jest największe pokrycie wszystkich organów rośliny, a to według założeń badawczych można uzyskać przy właściwym doborze parametrów roboczych opryskiwacza. Zdaniem autora duże znaczenie powinno tu odgrywać również odpowiednie ustawienie rozpylacza, a zwłaszcza przyjęty kąt odchylenia rozpylacza w płaszczyźnie pionowej równoległej do osi opryskiwacza. Dlatego też zasadniczą częścią tych badań było określenie wpływu odchylenia belki polowej na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów.

W wypadku opryskiwania uprawy niskiej, która nie utrudnia swobodnego przepływu powietrza w obszarze opryskiwanych obiektów chodziło o to, aby znaleźć odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu swobodny ruch powietrza wynikający z ruchu opryskiwacza

i panujących warunków atmosferycznych wpływa na pokrycie opryskiwanych obiektów oraz czy wspomaga ten proces, czy go zakłóca? Sztuczne rośliny z próbnikami usytuowanymi na różnej wysokości zostały umieszczone na niskiej uprawie i opryskiwane przez rozpylacze umieszczone na belce polowej opryskiwacza tak, aby zapewnić najnaturalniejsze warunki opryskiwania. Najistotniejszym czynnikiem zakłócającym przebieg procesu nanoszenia rozpylonej cieczy na opryskiwane obiekty jest wtedy ruch powietrza, wynikający zarówno z ruchu opryskiwacza, jak i wiatru rzeczywistego wiejącego na opryskiwanym polu. Wypadkowa obu wektorów prędkości stanowi o sile strumienia powietrza działającego na rozpyloną strugę tzw. wiatru względnego.

5.3.1. Badania stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów w lanie uprawy wysokiej

Badania przeprowadzono na polu pszenicy ozimej w fazie dojrzałości mleczej. Obsada roślin o wysokości około 0,8 m wynosiła 540 szt. na 1 m². W pobliżu pola nie rosły żadne krzewy i drzewa, które mogłyby w wyraźny sposób zakłócić wpływ wiatru na przebieg oprysku. Do badań wykorzystano rozpylacze szczelinowe płaskostrumieniowe eżektorowe firmy Lechler IDK 120-03. Zmianę kąta odchylenia płaszczyzny rozpylania γ w zakresie 0–30° wykonywano za pomocą specjalnie do tego celu skonstruowanego układu zawieszenia belki polowej (rys. 10). Badania wykonano przy czterech ciśnieniach roboczych (0,2; 0,3; 0,4; 0,5 MPa) i trzech kątach nachylenia płaszczyzny rozpylania belki polowej γ (0°; 15°; 30°). Dawka cieczy przy wszystkich kombinacjach parametrów wynosiła 200 dm³·ha⁻¹. W celu utrzymania tej dawki cieczy użytkowej dla każdego ciśnienia dobierano stosowną prędkość roboczą. Podczas każdego przejazdu agregatu dokonywano pomiaru wiatru będącego wartością sumaryczną wiatru rzeczywistego oraz pozornego na wysokości belki opryskiwacza. Prędkości wiatru obliczano po uśrednieniu kilkudziesięciu pomiarów uzyskanych w czasie całego przejazdu odpowiednio do przyjętych ciśnień cieczy. Dane te przedstawiono w tabeli 3.

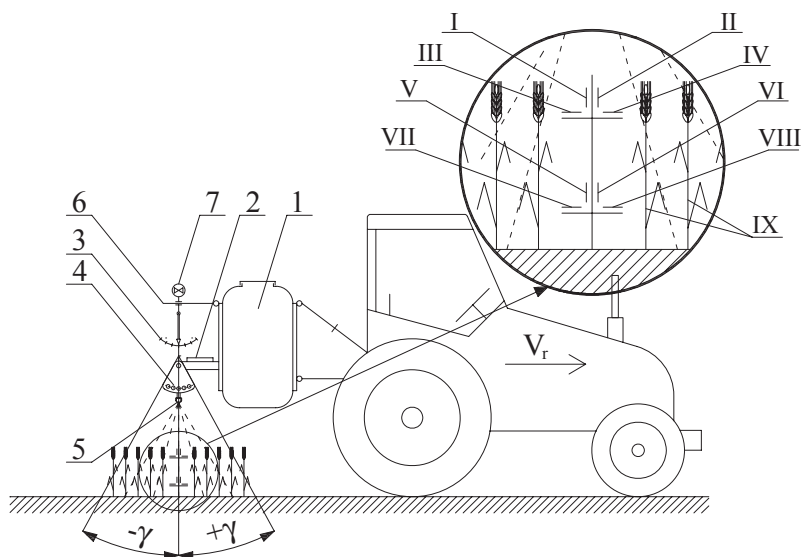
Tabela 3
Table 3

Parametry i warunki pracy opryskiwacza
Application parameters and working conditions of sprayer

Lp.	Ciśnienie cieczy [MPa] Spraying pressure	Prędkość robocza [m·s ⁻¹] Travel speed	Prędkość wiatru [m·s ⁻¹] Wind velocity
1	0,2	1,58	0,84
2	0,3	1,94	1,12
3	0,4	2,25	2,50
4	0,5	2,53	2,63

W łanie pszenicy ustawiono 4 sztuczne rośliny w odległości 20 m. Do sztucznych roślin zamocowano papierki wodoczułe jako obiekty opryskiwane zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 10.

W celu określenia charakterystyki pokrycia sztuczne rośliny umieszczano losowo w łanie pszenicy. Próbniki zamocowano na dwóch poziomach, tj. w głębi łań i na jego powierzchni, określając próbnik usytuowany niżej jako pionowy dolny (A_{pid}) a na powierzchni jako pionowy górny (A_{pig}). Natomiast opryskiwane obiekty poziome umieszczone na poziomie kłosów oznaczono A_{pog} , a w połowie wysokości źdźbeł A_{pod} . Tym sposobem obiekty opryskiwane usytuowane były na dwóch wysokościach: 0,5 m i 0,9 m. Odpowiadało to zamocowaniu próbników na poziomie kłosów oraz w połowie wysokości źdźbeł pszenicy. Pozostałe oznaczenia próbników pozostawiono niezmiennie w stosunku do poprzednich eksperymentów laboratoryjnych.



Rys. 10. Schemat ustawienia obiektów opryskiwanych w łanie uprawy wysokiej: γ – kąt odchylenia rozpylaczy, v_r – prędkość robocza, 1 – opryskiwacz, 2 – przyrząd do poziomowania belki, 3 – przyrząd do pomiaru kąta γ , 4 – uchwyt poszczególnych segmentów belki, 5 – rozpylacze, 6 – górny uchwyt belki polowej, 7 – anemometr, I, II – opryskiwane obiekty pionowe górne (A_{pig}), III, IV – opryskiwane obiekty poziome górne (A_{pog}), V, VI – opryskiwane obiekty pionowe dolne (A_{pid}), VII, VIII – opryskiwane obiekty poziome dolne (A_{pod}), IX – źdźbła roślin pszenicy

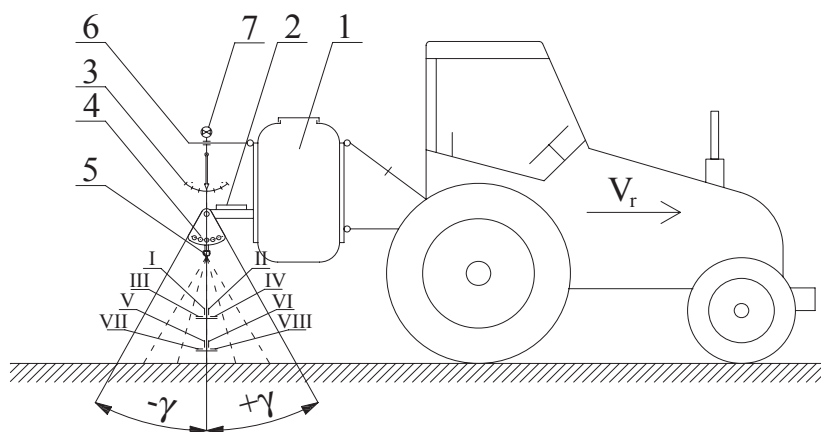
Fig. 10. Conceptual diagram of the setting of treated surfaces for high crops: γ – nozzle deflection angle, v_r – driving velocity, 1 – sprayer, 2 – boom level device, 3 – angle γ measurement device, 4 – grip of boom segments, 5 – nozzles, 6 – upper grip of spray boom, 7 – anemometer, I, II – vertical upper treated surfaces (A_{pig}), III, IV – horizontal upper treated surfaces (A_{pog}), V, VI – vertical lower treated surfaces (A_{pid}), VII, VIII – horizontal lower treated surfaces (A_{pod}), IX – wheat plant stem

5.3.2. Badania stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów w warunkach uprawy niskiej

Badania przeprowadzono w warunkach polowych na polu pszenicy w fazie krzewienia. Obiektami opryskiwanymi były sztuczne rośliny z próbnikami w postaci papierków wodoczułych (rys. 11). Sposób określenia stopnia pokrycia był podobny jak w przypadku badań wykonanych w warunkach uprawy wysokiej. W tym przypadku próbniki umocowano jednak na trzech poziomach w odstępach co 10 cm. Prędkość wiatru mierzono na wysokości belki polowej opryskiwacza, gdy ten przejeżdżał nad sztuczną rośliną. Pomiaru wykonywano przy zmiennych ciśnieniach cieczy roboczej, z tym że przy danym ciśnieniu cieczy użytkowej dawka pozostawała niezmienna.

Do badań wykorzystano rozpylacz XR TeeJet 11004 VS oraz przyjęto następujące parametry pracy:

- ciśnienie robocze – p : 0,2; 0,3; 0,4 MPa,
- prędkość ruchu agregatu – v_r : 1,58; 1,94; 2,25 m·s⁻¹,
- wysokość ustawienia rozpylaczy – h : 0,4; 0,5; 0,6 m,
- zakres prędkości wiatru rzeczywistego – v_w : 0 – 2,5 m·s⁻¹.



Rys. 11. Schemat ustawienia obiektów opryskiwanych w warunkach uprawy niskiej: γ – kąt odchylenia rozpylaczy, v_r – prędkość robocza, 1 – opryskiwacz, 2 – przyrząd do poziomowania belki, 3 – przyrząd do pomiaru kąta γ , 4 – uchwyt poszczególnych segmentów belki, 5 – rozpylacze, 6 – górny uchwyt belki, 7 – anemometr, I, II – opryskiwane obiekty pionowe górne (A_{pig} , I – najazdowy, II – odjazdowy), III, IV – opryskiwane obiekty poziomy górne (A_{pog}), V, VI – opryskiwane obiekty pionowe dolne (A_{pid} , V – najazdowy, VI – odjazdowy), VII, VIII – opryskiwane obiekty poziomy dolne (A_{pod})

Fig. 11. 2 Conceptual diagram of the setting of treated surfaces for low crops: γ – nozzle deflection angle, v_r – driving velocity, 1 – sprayer, 2 – boom level device, 3 – angle γ measurement device, 4 – grip of boom segments, 5 – nozzles, 6 – upper grip of spray boom, 7 – anemometer, I, II – vertical upper treated surfaces (A_{pig} , I – front, II – back), III, IV – horizontal upper treated surfaces (A_{pog}); V, VI – vertical lower treated surfaces (A_{pid} , V – front, VI – back); VII, VIII – horizontal lower treated surfaces (A_{pod})

6. WYNIKI BADAŃ

6.1. Wyniki badań laboratoryjnych

Wyniki badań laboratoryjnych zawierają dane uzyskane na podstawie pomiarów rozkładu poprzecznego i podłużnego opadu rozpylonej cieczy przy różnych wariantach ustawieniu rozpylacza na belce polowej opryskiwacza oraz wyniki pomiarów stopnia pokrycia przy wybranych parametrach pracy, ale również zmiany warunków pracy, jakie powoduje działanie wiatru. Rozkład opadu cieczy użytkowej i stopień pokrycia opryskiwanych obiektów mają zasadniczy wpływ na skuteczność zabiegu opryskiwania w produkcji polowej. Chodziło więc o przedstawienie wyników badań wyjaśniających konsekwencje nie tylko decyzji, jakie podejmuje użytkownik, wybierając określone nastawy i parametry pracy, dostosowując działanie rozpylacza do panujących warunków, ale również o uwzględnianie i wyjaśnienie większości sytuacji występujących w czasie zabiegu. Zakres przeprowadzonych badań laboratoryjnych w zasadniczy sposób wyczerpał możliwe kombinacje ustawień i stosowanych w praktyce parametrów pracy rozpylaczy.

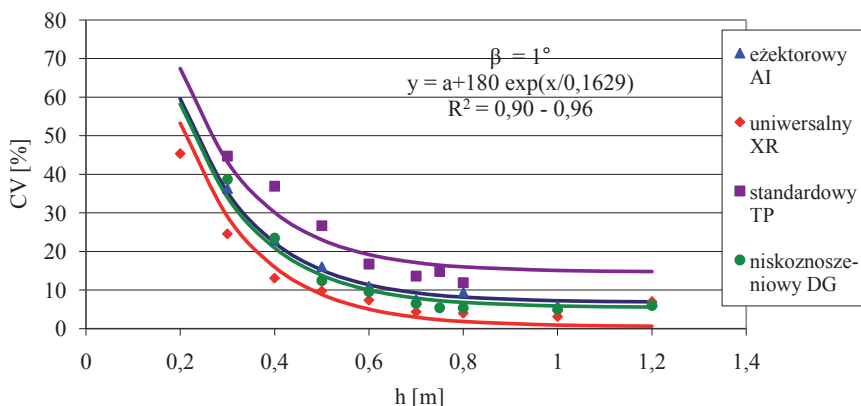
6.1.1. Wpływ przyjętych parametrów ustawienia rozpylaczy na charakterystykę opadu rozpylonej cieczy

Analizę wpływu warunków pracy i parametrów ustawienia rozpylacza na charakterystykę opadu rozpylonej cieczy przeprowadzono w kilku aspektach. Dlatego też w pierwszej kolejności przedstawiono zmiany rozkładu poprzecznego opadu rozpylonej cieczy pojedynczego rozpylacza w zależności od przyjętych zmiennych niezależnych. W dalszej części pracy przedstawiono rezultaty badań nad wpływem parametrów ustawienia całej belki polowej na wskaźnik rozkładu poprzecznego. Starano się wykazać, że odchylenie całej płaszczyzny rozpylania nie ma istotnego wpływu na rozkład poprzeczny opadu w przyjętym zakresie zmian ustawienia belki polowej. Jak wiadomo podczas ruchu opryskiwacza ciecz opada na powierzchnię w zależności od warunków, zwłaszcza prędkości wiatru, ustawienia rozpylaczy oraz stopnia rozpylenia charakteryzowanego średnią średnicą kropel (MVD). Na jakość zabiegu ma wpływ charakter rozkładu poprzecznego i podłużnego. Związki te wyjaśniają przedstawione wyniki badań opadu rozpylonej cieczy w płaszczyźnie poprzecznej oraz wzdłuż osi agregatu, w odniesieniu do przyjętych ustawień i parametrów pracy rozpylacza oraz prędkości powietrza. Charakterystykę opadu cieczy w płaszczyźnie poprzecznej określono na podstawie oceny zmian wskaźnika

nierównomierności. Do scharakteryzowania rozkładu podłużnego przedstawiono wykresy rozkładu objętości cieczy na powierzchni opryskiwanej oraz wyznaczono wskaźnik opadu cieczy W_{so} .

Wpływ ustawienia pojedynczego rozpylacza na rozkład poprzeczny opadu cieczy

Parametrami zmiennymi ustawienia rozpylacza były wysokość rozpylania oraz kąt asymetrii rozpylania opisujący zakres wahań belki polowej podczas zabiegu. Jakość rozkładu poprzecznego ocenia się na podstawie wartości wskaźnika nierównomierności CV. Wyniki badań wskaźnika rozkładu poprzecznego zostały zilustrowane na rysunkach 12 i 13. Przedstawiono tu przebiegi wartości wskaźnika nierównomierności poprzecznej CV jako cechy charakteryzującej jakość pracy rozpylaczy. Mimo tego że badania wykonano na wielu rozpylaczach, to na wykresach przedstawiono przebiegi wybranych urządzeń reprezentujących najczęściej wykorzystywane w opryskach polowych typy rozpylaczy płaskostrumieniowych. Jak widać charakter przebiegów wartości CV jest dla wszystkich rozpylaczy podobny. Wraz ze zwiększaniem wysokości opryskiwania zmniejsza się zdecydowanie wartość wskaźnika nierównomierności poprzecznej CV. Do podkreślenia tej tendencji w badaniach zastosowano ustawienie rozpylacza nawet do wysokości 1,2 m, choć nie są to ustawienia zalecane przez producentów i niestosowane w praktyce. Na rysunku 12 zostały przedstawione przebiegi CV, gdy belka pochylona była o kąt $\beta = 1^\circ$, określając tym samym kąt asymetrii rozpylania rozpylaczy na 1° . Na rysunku 13 pokazano zmiany CV przy rozkładach uzyskanych podczas rozpylania z kątem asymetrii $\beta = 4^\circ$. Jak widać na obu wykresach, najgorsze wyniki uzyskał, jak się można było spodziewać, najtańszy rozpylacz, tzw. standardowy. Wyróżnia się on niekorzystnie na tle pozostałych i nie osiąga on poziomu CV równego lub mniejszego od 10%. Wartość ta jest niezbędna do uzyskania pozytywnej oceny podczas badań technicznych opryskiwaczy.

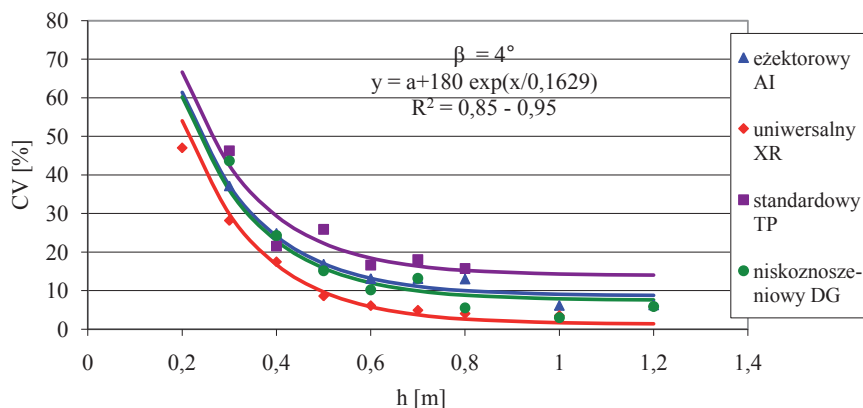


Rys. 12. Rozkład poprzeczny opadu rozpylonej cieczy pojedynczych rozpylaczy przy kącie asymetrii rozpylania $\beta = 1^\circ$, przy różnej wysokości rozpylania h

Fig. 12. Transverse spray distribution for single nozzles at spray asymmetry angle $\beta = 1^\circ$, for different nozzle heights h

Podane na rysunkach równania matematyczne opisujące przebieg wskaźnika CV przy dwóch kątach asymetrii rozpylania zawierają wyraz „a”, którego wartości dotyczące badanych rozpylaczy podano w tabeli 4.

Zakres współczynnika determinacji R^2 określającego stopień dopasowania teoretycznych przebiegów do rzeczywistych umieszczono na wykresach. Wartości tego współczynnika wskazują, że przebiegi teoretyczne w dość dużym stopniu odzwierciedlają rzeczywisty rozkład cieczy.



Rys. 13. Rozkład poprzeczny opadu rozpylonej cieczy pojedynczych rozpylaczy przy kącie asymetrii rozpylania $\beta=4^\circ$, dla różnej wysokości pracy h

Fig. 13. Transverse spray distribution for single nozzles at spray asymmetry angle $\beta=4^\circ$, for different nozzle heights h

Tabela 4

Table 4

Wartości współczynnika „a” z równań opisujących przebieg rozkładu poprzecznego rozpylonej cieczy przy kątach asymetrii rozpylania β równych 1° i 4° dla wybranych rozpylaczy
Value of „a” coefficient describing the transverse distribution of sprayed liquid at the asymmetry angle of spraying $\beta=1^\circ$ and 4° for particular sprayers

Kąt asymetrii β Asymmetry angle of spraying β	Rozpylacze nozzles			
	Eżektorowy Air induction	Uniwersalny Universal	Standardowy Standard	Niskożnoszeniowy LowDrift
1°	6,87	0,53	14,7	5,51
4°	8,67	1,28	13,9	7,47

W celu zweryfikowania przyjętych założeń o wpływie: kąta asymetrii, wysokości pracy oraz typu rozpylacza na wartość wskaźnika zmienności rozkładu poprzecznego oprysku CV przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji uzyskanych wyników na przyjętym poziomie istotności $\alpha=0,05$. Wyniki tej analizy podano w tabeli 5.

Na podstawie wyników analizy wariancji stwierdzono istotny wpływ wysokości rozpylania h na wskaźnik nierównomierności rozkładu poprzecznego rozpylanej strugi CV wszystkich badanych rozpylaczy (na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Natomiast wpływ kąta asymetrii rozpylania β na wskaźnik nierównomierności rozkładu poprzecznego oprysku CV okazał się nieistotny dla badanych rozpylaczy. Wyniki analizy wariancji przedstawione w tabeli 5 wykazały również istotne różnice w rozkładzie poprzecznym opadu rozpylanej cieczy między poszczególnymi typami rozpylaczy stosowanymi w badaniach.

Tabela 5

Table 5

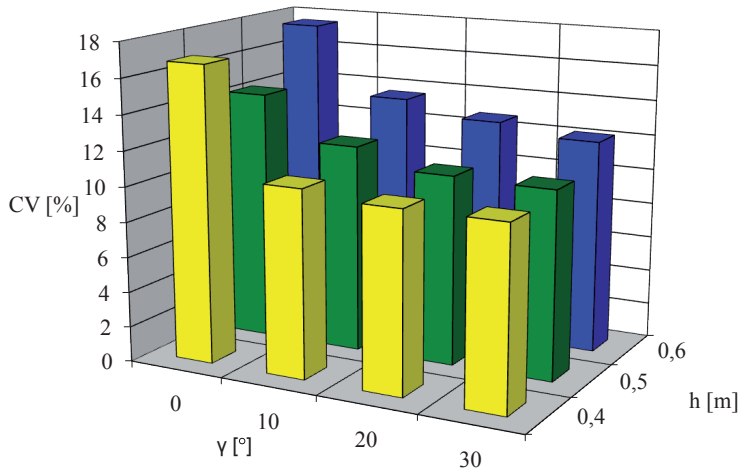
Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji wskaźnika rozkładu poprzecznego oprysku badanych rozpylaczy ciśnieniowych

Results of multiple analysis of variance of coefficient of variation for the tested group of pressure nozzles

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów Sum of squares	Liczba stopni swobody Deg. of freedom	Wartość statystyki F - ratio	Poziom istotności Sig. level
Typ rozpylacza Typ of nozzle	5248,840	9	8,836	0,0000
Wysokość pracy h Height of spraying	50350,172	3	254,285	0,0000
Kąt asymetrii β Asymmetry angle	203,471	2	1,541	0,2189
Wartość sumaryczna Total value	62732,715	119		

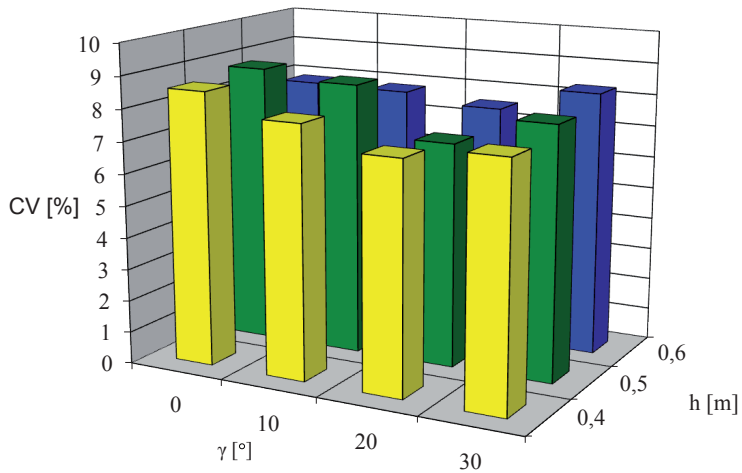
Wpływ ustawienia belki polowej opryskiwacza na rozkład poprzeczny opadu cieczy

Wyniki zależności wskaźników zmienności CV na różnych wysokościach opryskiwania i przy różnych kątach ustawienia belki polowej zostały zilustrowane kolejno na rysunkach 15–17. Prezentowane dane dotyczą trzech rozpylaczy standardowych (ST 11003, AZMM 11003, XLI 11003) i jednego rozpylacza eżektorowego (Air Mix 11003). Na wykresach przedstawiających wartości wskaźnika nierównomierności CV poszczególnych rozpylaczy i na przyjętych wysokościach opryskiwania (rys. 14, 15, 16, 17, 18) widać, jak niewielki wpływ ma odchylenie płaszczyzny rozpylania na rozkład poprzeczny w zakresie przyjętych kątów γ od 0 do 30 stopni. Najmniejszy wskaźnik CV stwierdzono w odniesieniu do rozpylacza Air Mix, który wynosił około 6%. Przy użyciu rozpylacza AZMM wartości wskaźników rozkładu wyniosły niecałe 8% przy wszystkich przyjętych do badań kątach γ . Natomiast w przypadku pozostałych rozpylaczy wyraźnie wartość wskaźnika CV malała wraz ze wzrostem wychylenia belki polowej. Oznacza to, że u większości rozpylaczy wzrost kąta odchylenia belki polowej poprawiał nierównomierność rozkładu poprzecznego.



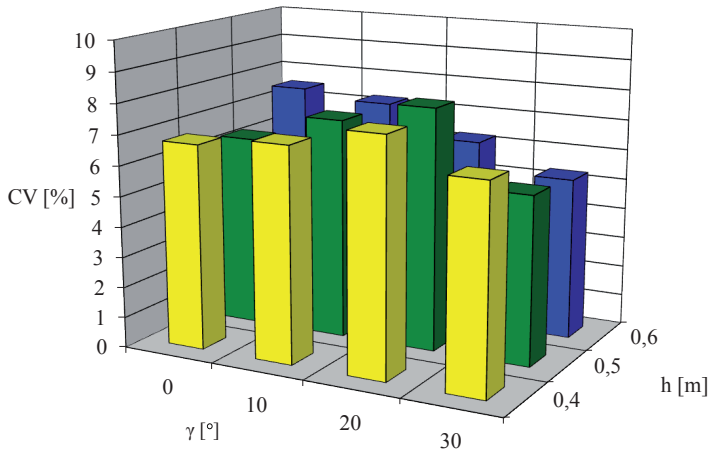
Rys. 14. Wpływ kąta odchylenia płaszczyzny rozpylania belki polowej γ na wskaźnik rozkładu poprzecznego CV przy różnych wysokościach pracy h i rozpylacza standardowego ST

Fig. 14. Influence of spray boom deflection angle γ on coefficient of variation CV for different boom heights h and standard ST nozzle



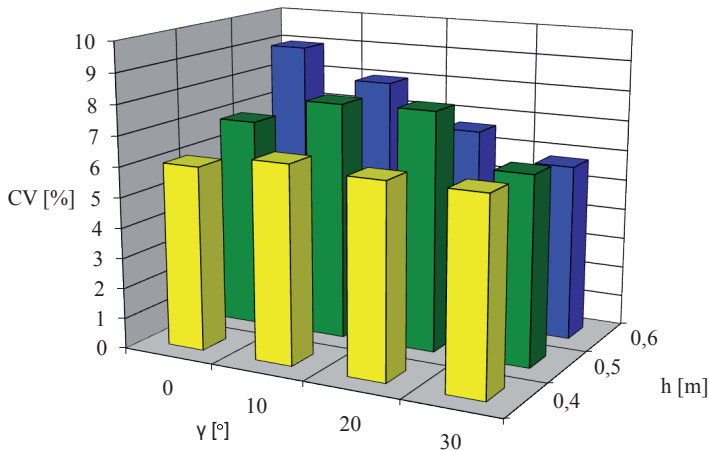
Rys. 15. Wpływ kąta odchylenia płaszczyzny rozpylania belki polowej γ na wskaźnik rozkładu poprzecznego CV przy różnych wysokościach pracy h i rozpylacza standardowego AZMM

Fig. 15. Influence of spray boom deflection angle γ on coefficient of variation CV for different boom heights h and standard AZMM nozzle

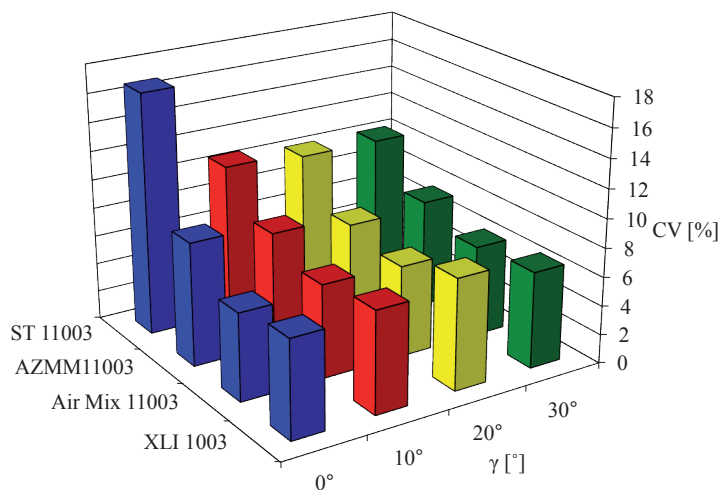


Rys. 16. Wpływ kąta odchylenia płaszczyzny rozpylania belki polowej γ na wskaźnik rozkładu poprzecznego CV przy różnych wysokościach pracy h i rozpylacza standardowego XLI
 Fig. 16. Influence of spray boom deflection angle γ on coefficient of variation CV for different boom heights h and standard XLI nozzle

Na rysunku 17 przedstawiono zestawienie zbiorcze wpływu odchylenia płaszczyzny rozpylania belki polowej na wszystkich przyjętych wysokościach opryskiwania i w badanych czterech rozpylaczach. Uzyskane wyniki i w tym przypadku wykazały niewielkie zróżnicowanie w rozkładzie cieczy. Niemniej jednak w przypadku rozpylacza ST widać najwyraźniej, jak poprawiał się rozkład poprzeczny wraz ze zwiększającym się kątem odchylenia płaszczyzny rozpylania w całym zakresie przyjętych do badań parametrów.



Rys. 17. Wpływ kąta odchylenia płaszczyzny rozpylania belki polowej γ na wskaźnik rozkładu poprzecznego CV przy różnych wysokościach pracy h i rozpylacza eżektorowego Air Mix
 Fig. 17. Influence of spray boom deflection angle γ on coefficient of variation CV for different boom heights h and air induction nozzle Air Mix



Rys. 18. Wpływ kąta odchylenia płaszczyzny rozpylania belki połowej γ na wskaźnik rozkładu poprzecznego CV badanych rozpylaczy na wszystkich przyjętych wysokościach h

Fig. 18. Influence of spray boom deflection angle γ on coefficient of variation CV for different nozzles and all boom heights

W celu zweryfikowania tych spostrzeżeń wykonano wieloczynnikową analizę wariancji. Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 6. Przeprowadzona analiza wykazała, że jedynie rodzaj rozpylacza wpływa istotnie na poziomie $\alpha=0,05$ na wartość współczynnika zmienności. Wysokość oraz kąt ustawienia nie miały natomiast znaczącego wpływu na rozkład poprzeczny.

Tabela 6
Table 6

Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji wpływu przyjętych parametrów pracy na wskaźnik rozkładu poprzecznego
Results of multiple analysis of variance for the coefficient of variation as affected by application parameters

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Wartość statystyki F F - ratio	Poziom istotności α Significance level
Rozpylacz Nozzle	3	57,959	0,0000*
Wysokość h Height	2	1,826	0,1687
Kąt odchylenia γ Deflection angle	3	0,535	0,6598

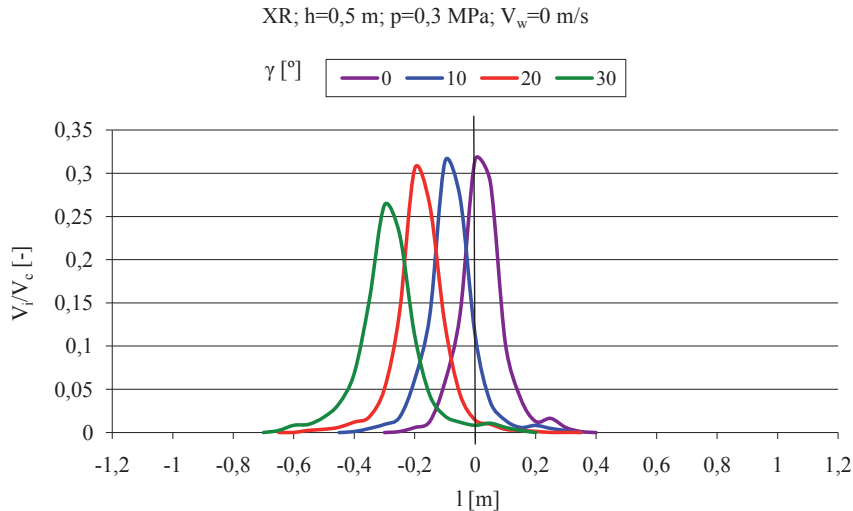
* wpływa istotnie na poziomie $\alpha=0,05$

Prezentowane w tym rozdziale wyniki nie potwierdzają powszechnej opinii, że najwłaściwsza jest taka pozycja belki połowej, gdy rozpylana ciecz robocza na całej szerokości belki jest skierowana prostopadle do podłoża a ściśle przestrzeganie tego warunku jest niezbędne, by zabieg był skuteczny. Uzyskane wyniki wręcz skłaniają do stosowania innej praktyki polegającej na ustawieniu płaszczyzny rozpylania belki połowej pod odpowiednim kątem w kierunku ruchu agregatu.

6.1.2. Wpływ ustawienia rozpylacza na rozkład podłużny opadu cieczy

Wpływ ustawienia rozpylacza na rozkład podłużny opadu rozpylonej cieczy w warunkach statycznych

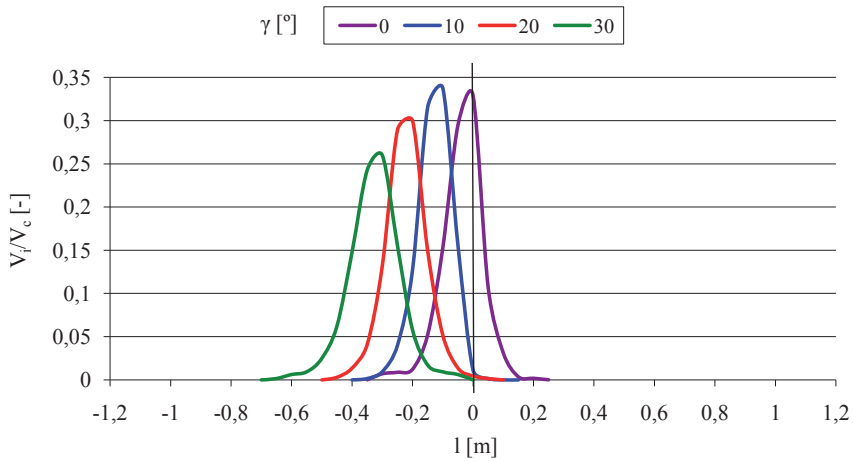
Wyniki pomiarów rozkładu podłużnego cieczy przedstawiono na rysunkach 19 i 20. W związku z dużą ilością kombinacji wynikających z liczby zastosowanych rozpylaczy i parametrów rozpylania do analizy wyników wybrano rozpylacz uniwersalny firmy Tee Jet (XR 11003) i eżektorowy firmy Lechler (IDK 12003), a na wykresach przedstawiono wyniki uzyskane przy ustawieniu rozpylaczy na wysokość 0,5 m przy ciśnieniu 0,3 MPa. Zdaniem autora wyniki te są również reprezentatywne dla pozostałych. Podział osi „x” na część dodatnią i ujemną wynika z podziału stołu rowkowego na część usytuowaną po stronie nawierzchni w stosunku do płaszczyzny pionowej przechodzącej przez rozpylacz jako ujemnej i dodatniej usytuowanej po stronie zawierzchni od rozpylacza.



Rys. 19. Rozkłady podłużne opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach bezwietrznych przy różnym kącie γ i wysokości rozpylania 0,5 m z zastosowaniem rozpylacza uniwersalnego

Fig. 19. Longitudinal spray distribution, at windless conditions, for different angles γ and at nozzle height 0,5 m while using an universal nozzle

IDK; $h=0,5$ m; $p=0,3$ MPa; $V_w=0$ m/s



Rys. 20. Rozkłady podłużne opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach bezwietrznych przy różnym kącie γ i wysokości rozpylania 0,5 m z zastosowaniem rozpylacza eżektorowego

Fig. 20. Longitudinal spray distribution, at windless conditions, for different angles γ and at nozzle height 0,5 m while using an air induction nozzle

Odcinki ujemny i dodatni na osi „x” wyznaczają strefy opryskiwania powierzchni stołu rowkowego wynikające z teoretycznego podziału, płaszczyzną symetrii rozpylacza, całej powierzchni opryskiwanej na część zgodną z kierunkiem odchylenia rozpylacza i przeciwną do kierunku strumienia powietrza oraz część przeciwną do kierunku odchylenia, ale zgodną z kierunkiem strumienia powietrza.

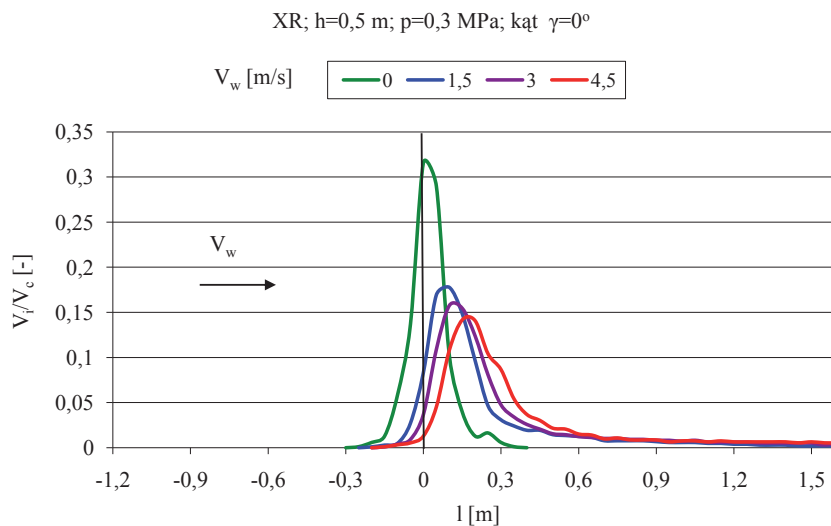
Na osi „y” podano relatywne wartości opadu cieczy na powierzchnię opryskiwaną. W ten sposób zdecydowanie zostało ułatwione porównywanie wykresów rozkładów cieczy w rozpylaczach różniących się natężeniem przepływu cieczy, uzyskanych ponadto przy różnych ciśnieniach roboczych.

Na rysunku 19 przedstawiono rozkład podłużny cieczy podczas rozpylania w warunkach bezwietrznych przy odchyleniu rozpylacza uniwersalnego o kąty 0° ; 10° ; 20° ; 30° i 40° . Był to zakres od pozycji pionowej rozpylacza nad opryskiwaną powierzchnią aż do maksymalnego jego odchylenia stosowanego w badaniach. Na rysunku 20 pokazane są krzywe rozkładów, przy tych samych kątach odchylenia, w rozpylaczu eżektorowym. Na wykresach widać, że w przypadku ustawienia rozpylacza pionowo nad rozpylaną powierzchnią rozkład rozpylonej strugi jest prawie symetryczny i im większe odchylenie rozpylacza, tym szerzej rozkłada się rozpylona struga. Każde odchylenie płaszczyzny rozpylania powoduje jedynie przesunięcie osi symetrii rozkładu w tym samym kierunku, w którym skierowany jest rozpylacz. Odchylenie rozpylacza od pionu charakteryzuje się również tym, że maksimum rozkładów zdecydowanie się zmniejsza na korzyść rozszerzenia podstawy krzywej rozkładu (rozciągnięcie w osi x). Oznacza to, że rozpylona

struga w trakcie opryskiwania będzie w takich warunkach pokrywać większą płaszczyznę. Ilustruje to sytuację, w której prędkość wiatru rzeczywistego miałyby taką samą wartość co prędkość opryskiwacza i w ten sposób równoważona byłaby prędkość wiatru pozornego wynikającego z ruchu maszyny. Porównanie obu rysunków wskazuje na duże podobieństwo przedstawionych tam wykresów. Można więc stwierdzić, że wszystkie rozpylone strugi, mimo dość dużych różnic w stopniu rozpylenia, zachowują się podobnie, jeżeli chodzi o rozkład opadu cieczy w warunkach bezwietrznych.

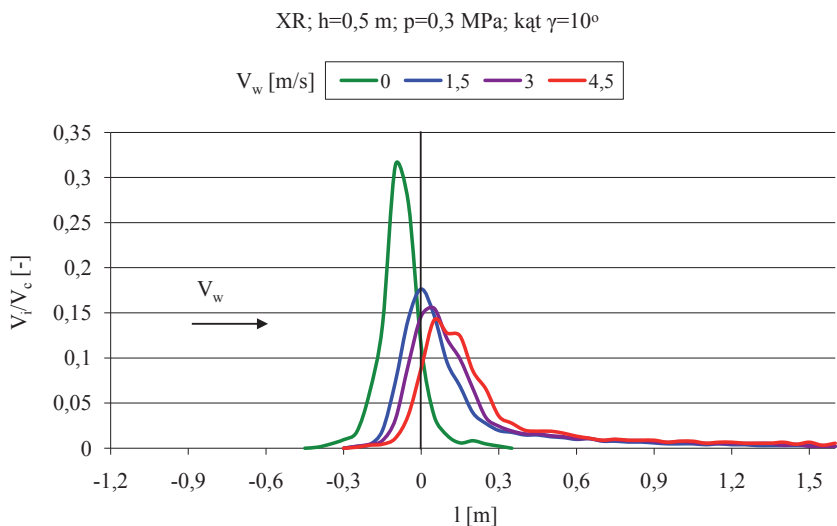
Wpływ ustawienia rozpylacza na rozkład podłużny opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania wiatru

Wpływ zmiany kąta ustawienia rozpylacza na płaszczyźnie podłużnej, prostopadłej do belki polowej, na rozkład opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza zilustrowano na rysunkach od 21 do 28. Sposób tworzenia wykresów i opis osi zostały wyjaśnione w poprzednim rozdziale. Podane wykresy ilustrują część wyników badań i dotyczą rozkładów cieczy uzyskanych przy ciśnieniu 0,3 MPa i wysokości rozpylania 0,5 m w dwóch wybranych do badań rozpylaczach. Wykresy przedstawione na rysunkach 21–24 odnoszą się do rozpylacza uniwersalnego XR11003 a na rysunkach 25–28 zilustrowano wyniki rozkładu opadu cieczy dotyczące rozpylacza eżektorowego – IDK 12003. Na każdym z rysunków przedstawiono rozkład opadu cieczy przy zmiennej prędkości powietrza w poszczególnych kątach odchylenia rozpylacza γ stosowanych w badaniach.



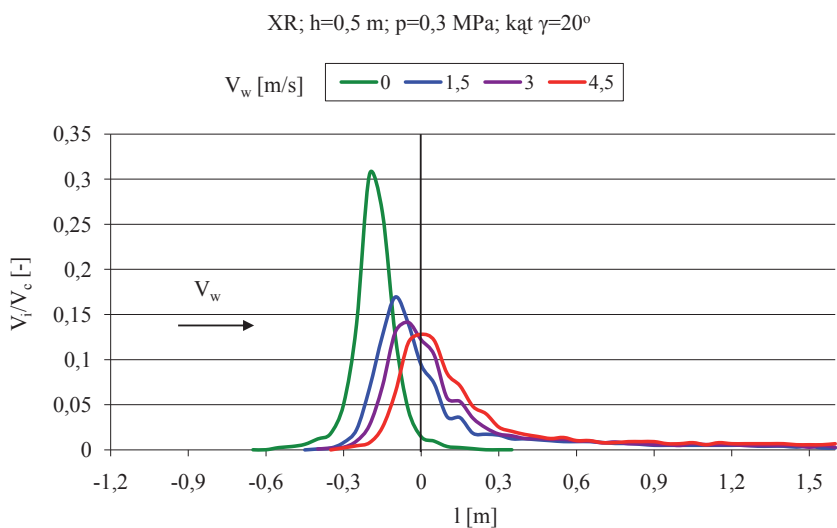
Rys. 21. Rozkład podłużny opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza o różnej prędkości przy pionowym ustawieniu rozpylacza uniwersalnego na wysokości $h=0,5$ m

Fig. 21. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for vertical orientation of universal nozzle at the height $h=0,5$ m



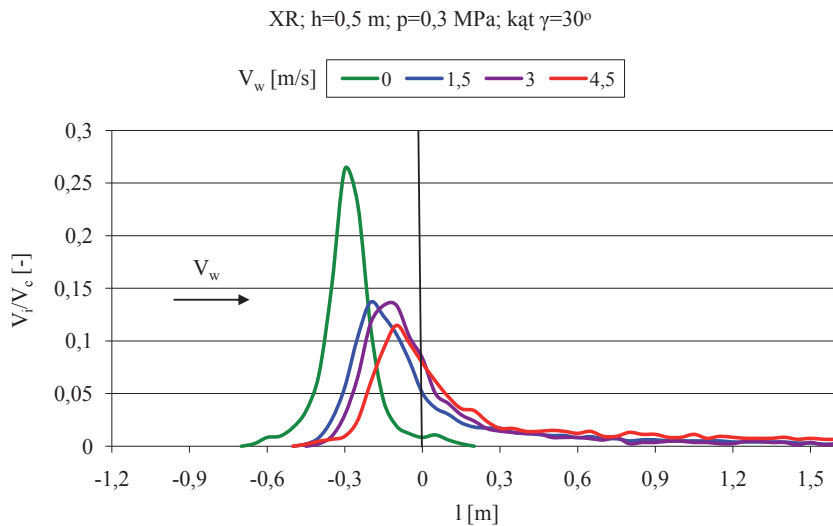
Rys. 22. Rozkład podłużny opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza przy ustawieniu rozpylacza uniwersalnego na wysokości $h=0,5$ m i kącie odchylenia $\gamma=10^\circ$

Fig. 22. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for universal nozzle height $h=0,5$ m and nozzle deflection angle $\gamma=10^\circ$



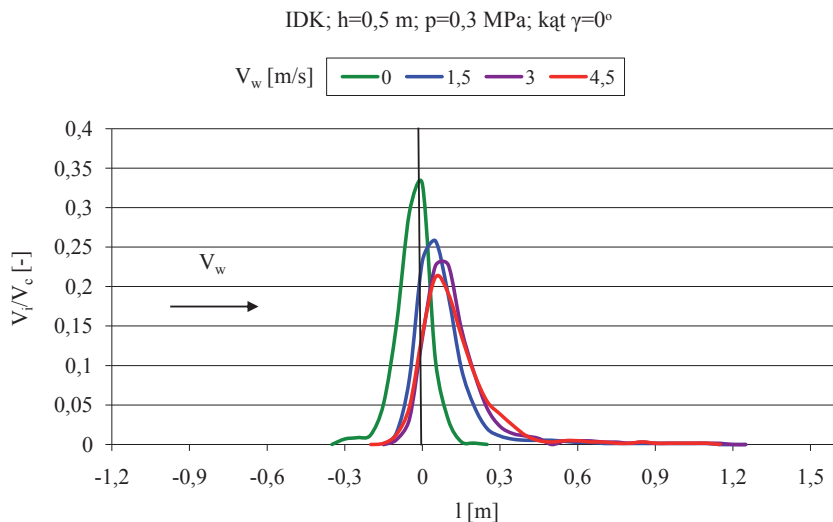
Rys. 23. Rozkład podłużny opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza przy ustawieniu rozpylacza uniwersalnego na wysokości $h=0,5$ m i kącie odchylenia $\gamma=20^\circ$

Fig. 23. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for universal nozzle height $h=0,5$ m and nozzle deflection angle $\gamma=20^\circ$



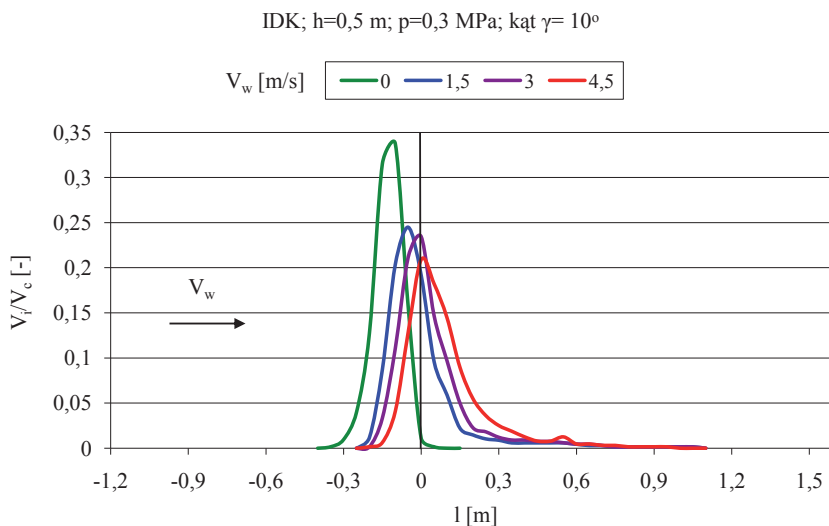
Rys. 24. Rozkład podłużny opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza przy ustawieniu rozpylacza uniwersalnego na wysokości $h=0,5$ m i kącie odchylenia $\gamma=30^\circ$

Fig. 24. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for universal nozzle height $h=0,5$ m and nozzle deflection angle $\gamma=30^\circ$



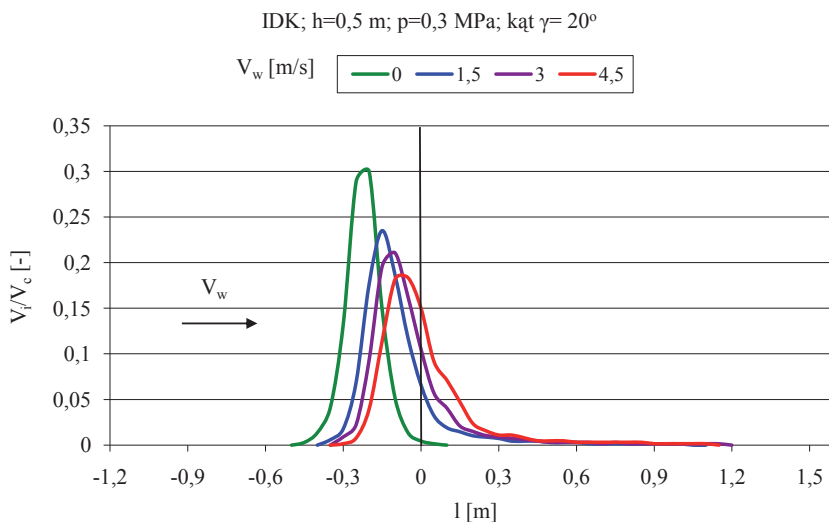
Rys. 25. Rozkład podłużny opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza o różnej prędkości przy pionowym ustawieniu rozpylacza eżektorowego na wysokości $h=0,5$ m

Fig. 25. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for vertical orientation of air induction nozzle at the height $h=0,5$ m



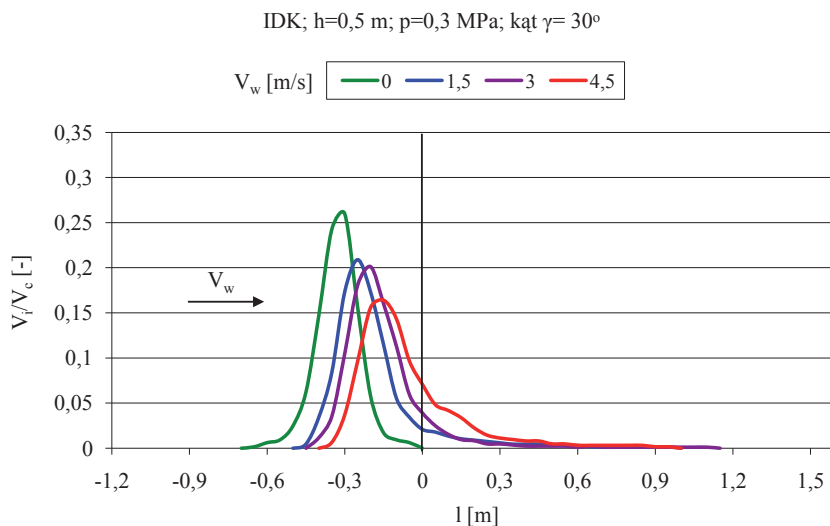
Rys. 26. Rozkład podłużny opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza przy ustawieniu rozpylacza eżektorowego na wysokości $h=0,5$ m i kącie odchylenia $\gamma=10^\circ$

Fig. 26. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for air induction nozzle height $h=0,5$ m and nozzle deflection angle $\gamma=10^\circ$



Rys. 27. Rozkład podłużny opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza przy ustawieniu rozpylacza eżektorowego na wysokości $h=0,5$ m i kącie odchylenia $\gamma=20^\circ$

Fig. 27. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for air induction nozzle height $h=0,5$ m and nozzle deflection angle $\gamma=20^\circ$



Rys. 28. Rozkład podłużny opadu objętościowego rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza przy ustawieniu rozpylacza eżektorowego na wysokości $h=0,5$ m i kącie odchylenia $\gamma=30^\circ$

Fig. 28. Longitudinal spray distribution under influence of airflow of different velocity for air induction nozzle height $h=0,5$ m and nozzle deflection angle $\gamma=30^\circ$

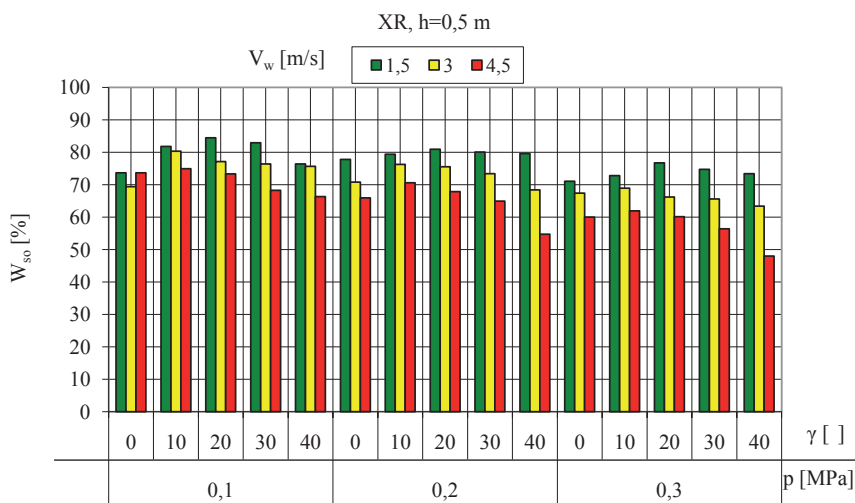
Strumień powietrza symulujący wiatr czołowy wyraźnie zakłócił rozkład podłużny. Główna masa rozpylonej cieczy przemieściła się w kierunku oddziaływania strumienia powietrza. Po tzw. stronie nawietrznej od płaszczyzny symetrii przy kącie γ równym 0° przechwycono, przy najwyższych prędkościach powietrza, jedynie niewielką ilość cieczy (rys. 21 – rozpylacz uniwersalny i rys. 25 – rozpylacz eżektorowy).

Uwzględniając wszystkie wyniki badań stwierdzono, że rozkład ten był jednak zróżnicowany w zależności od zastosowanego ciśnienia cieczy i wysokości ustawienia rozpylacza. Na rysunkach 24 oraz 28 zilustrowano rozkład podłużny cieczy w sytuacji, gdy rozpylacz odchyłono o 30° od pionu w kierunku przeciwnym do kierunku strumienia powietrza. W tym przypadku widać wyraźnie, że po stronie nawietrznej od płaszczyzny symetrii przechwycono znacznie więcej cieczy niż poprzednio. Oznacza to, że rozpylana ciecz rozłożyła się symetryczniej niż w przypadkach działania strumienia powietrza i pionowym ustawieniu rozpylacza. Okazało się również, że najrównomierniejszy rozkład podłużny wystąpił w przypadku, gdy odchyłono rozpylacz w kierunku przeciwnym do działania powietrza o kąt γ równy 20° . Do interesujących stwierdzeń może prowadzić analiza porównawcza wykresów rozkładu opadu cieczy odnoszących się do rozpylacza uniwersalnego i eżektorowego. Mimo pozornego podobieństwa zauważalna jest różnica przebiegów krzywych poszczególnych rozkładów. W przypadku rozpylacza uniwersalnego strumień powietrza nawet o małej prędkości powodował rozciągnięcie krzywej rozkładu na znacznie większą odległość niż to ma miejsce przy rozpylaczu eżektorowym.

Również maksima wykresów rozkładu w osi y , w obu rozpylaczach, różnią się dość znacznie. Te w rozpylaczu eżektorowym, ilustrujące rozkłady podczas działania strumienia powietrza, obniżyły się nieznacznie w porównaniu do krzywej obrazującej rozkład w warunkach statycznych (bez wiatru). Na podstawie tego porównania widać, że rozpylona struga emitowana przez rozpylacz eżektorowy jest znacznie mniej wrażliwa na deformacje pod wpływem działania wiatru. Wy tłumaczyć to można mniejszym udziałem drobnych kropli w rozpylonej strudze cieczy w porównaniu z rozpylaczem uniwersalnym i większą prędkością, z jaką są krople emitowane w rozpylaczu eżektorowym.

Wpływ warunków i parametrów pracy rozpylacza na wartość wskaźnika opadu rozpylanej cieczy W_{so}

Wyniki badań wskaźnika opadu cieczy W_{so} zostały zilustrowane w odniesieniu do poszczególnych rozpylaczy na rysunkach 29 i 30. Na każdym z wykresów przedstawiono dane W_{so} dotyczące doświadczeń do różnych ciśnień cieczy, zmiennych kątów odchylenia rozpylacza oraz prędkości powietrza, ale tylko jednej, reprezentatywnej, wysokości ustawienia rozpylacza $h=0,5$ m.

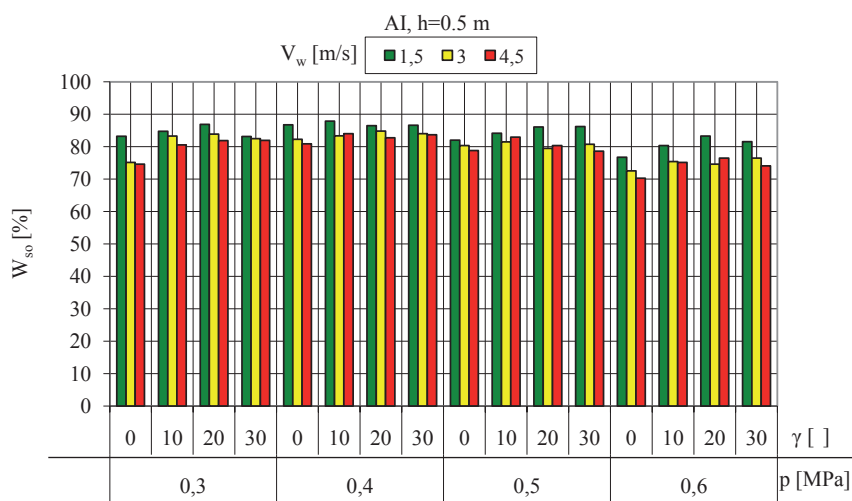


Rys. 29. Wpływ prędkości powietrza v_w oraz kąta odchylenia rozpylacza γ na wartość wskaźnika W_{so} dla przyjętych ciśnień p i rozpylacza uniwersalnego

Fig. 29. Effect of airflow velocity v_w and nozzle deflection angle γ on the value of index W_{so} for the assumed pressure values p and universal nozzle

Można zauważyć, że wraz ze zwiększaniem prędkości wiatru następuje spadek ilości przechwytywanej cieczy w całym zakresie przyjętych kątów ustawienia rozpylacza i ciśnień roboczych (rys. 29). Taką prawidłowość zaobserwowano przy wszystkich wysokościach rozpylania. Na podstawie wartości W_{so} uzyskanych przy ciśnieniu 3 MPa widać zacząć różnicę między ilością cieczy zmierzoną przy mniejszej prędkości wiatru

w porównaniu z sytuacją, gdy na rozpyloną strugę kierowano silniejszy strumień powietrza. Przy prędkości powietrza $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ilość przechwyconej cieczy przekraczała zdecydowanie 90% przy ciśnieniu $0,1 \text{ MPa}$, a przy prędkości $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zanotowano spadek nawet do 65%, przy odchyleniu rozpylacza od pionu o kąt $\gamma=40^\circ$. Natomiast przy ciśnieniu $0,3 \text{ MPa}$ przy wietrze o prędkości $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ przechwycono na opryskiwanej powierzchni 71% cieczy a przy $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ już tylko 48% w przypadku kąta odchylenia rozpylacza 40° . Wynika to z tego, że rozpylona struga przy większym ciśnieniu zawiera znacznie więcej kropli drobnych, podatnych na wpływ wiatru. Jak wskazują dane przedstawione na omawianym wykresie najwyższe wartości wskaźnika opadu cieczy W_{so} stwierdzono przy kącie odchylenia rozpylacza uniwersalnego $\gamma=20^\circ$ i to w przypadku wszystkich ciśnień stosowanych przy tym rozpylaczu.



Rys. 30. Wpływ prędkości powietrza v_w oraz kąta odchylenia rozpylacza γ na wartość wskaźnika W_{so} dla przyjętych ciśnień p i rozpylacza eżektorowego

Fig. 30. Effect of airflow velocity v_w and nozzle deflection angle γ on the value of index W_{so} for the assumed pressure values p and air induction nozzle

Na rysunku 30 zilustrowano wartości W_{so} rozpylacza eżektorowego. Widać, że i w tym wypadku istnieje wyraźna prawidłowość, która wskazuje na istnienie takich ustawień rozpylacza, przy których uzyskuje się największą ilość cieczy na powierzchni opryskiwanej. Uzależnione jest jednak od ciśnienia cieczy i prędkości wiatru. Na przykład gdy prędkość wiatru v_w wynosi $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a ciśnienie $p=0,4 \text{ MPa}$, to najlepszy kąt odchylenia γ równy jest 10° , a przy ciśnieniu $0,5 \text{ MPa}$ największą wartość W_{so} uzyskano przy 20° . Gdy zastosowano prędkość powietrza $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, największą wartość W_{so} odnotowano również przy kącie odchylenia $\gamma=20^\circ$.

Wyniki pomiarów poddano ocenie statystycznej przy zastosowaniu wieloczynnikowej analizy wariancji. Celem analizy było stwierdzenie istotności wpływu przyjętych parametrów i warunków pracy rozpylacza na ilość cieczy przechwyconej na powierzchni opryskiwanej. Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji przedstawiono w tabeli.7.

Tabela 7

Table 7

Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji wpływu przyjętych parametrów na rozkład podłużny
Results of multiple analysis of variance for longitudinal spray distribution
as affected by the assumed application parameters

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów Sum of squares	Liczba stopni swobody Deg. of freedom	Średnia kwadratowa Mean square	Wartość funkcji F F – ratio	Poziom istotności Sig. level
γ – kąt odchylenia rozpylacza Deflection angle	1329,5259	4	332,3815	72,940	0,0000
v_w – prędkość wiatru Velocity of wind	4841,3778	2	2420,6889	531,214	0,0000
p – ciśnienie cieczy Spray pressure	8333,3778	2	4166,6889	914,369	0,0000
h – wysokość rozpylania Hight of spraying	2897,2000	2	1448,6000	317,891	0,0000
Interakcje:					
γv_w	839,5852	8	104,9482	23,031	0,0000
γp	166,6963	8	20,8370	4,573	0,0001
γh	71,5407	8	8,9426	1,962	0,0606
$v_w p$	844,1778	4	211,0444	46,313	0,0000
$v_w h$	87,0222	4	21,7556	4,774	0,0016
ph	44,0889	4	11,0222	2,419	0,0544

Jak widać (tab. 7) wszystkie uwzględniane w badaniach parametry i warunki rozpylania mają istotny wpływ na rozkład podłużny opadu rozpylonej cieczy opisany wskaźnikiem opadu cieczy W_{so} . Poziom istotności α wpływu wszystkich wziętych do analizy czynników był mniejszy niż 0,05. Współdziałanie poszczególnych parametrów pracy rozpylacza ma również wpływ na rozkład podłużny, jedynie interakcja między wysokością ustawienia rozpylacza h a ciśnieniem cieczy p była na poziomie nieznacznie wyższym niż $\alpha=0,05$.

6.1.3. Wyniki badań stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów

Badania stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów wykonano w warunkach bezwietrznych oraz w warunkach działania wiatru. W tym drugim przypadku wybrano dwa kierunki oddziaływania strumienia powietrza na rozpyloną ciecz; prostopadły do kierunku ruchu opryskiwacza oraz czołowy.

Wyniki badań stopnia pokrycia w warunkach bezwietrznych

Stopień pokrycia był zbliżony w przypadku wszystkich badanych rozpylaczy. W związku z tym przedstawiono wyniki badań stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów w warunkach bezwietrznych przy dwóch rozpylaczach, uniwersalnym XR 11003 i eżektorowym AI 11004 przy wysokości ustawienia rozpylacza $h=0,5$ m. Pierwszy z nich reprezentował oprysk drobnokroplisty, a drugi grubokroplisty.

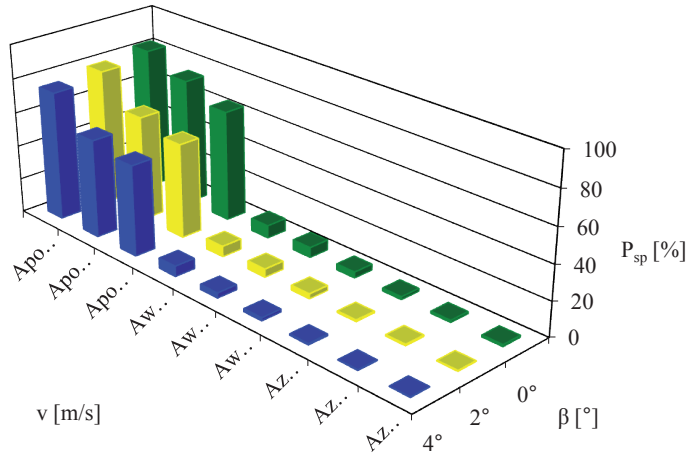
Na rysunku 31 zostały przedstawione wyniki badań wpływu kąta asymetrii rozpylania β na stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni przy użyciu rozpylacza uniwersalnego, a na rysunku 32 dla rozpylacza eżektorowego. Oceniając z osobna wykresy dotyczące poszczególnych rozpylaczy widać, że wyraźnie zaznacza się wpływ prędkości opryskiwania na stopień pokrycia, jest to jednak logiczna konsekwencja zmiany dawki uzyskiwanej przy różnej prędkości i takim samym ciśnieniu cieczy. W ten sposób przy każdym zwiększeniu prędkości uzyskuje się mniejszą dawkę oprysku, a większą dawkę przy mniejszej prędkości.

Zmiana wysokości pracy rozpylacza w stosunku do tej, jaka została ustawiona przed zabiegiem, występuje w każdym przypadku wychylania się belki w płaszczyźnie pionowej. Skutkiem tego jest automatycznie asymetryczne ustawienie rozpylonej strugi w stosunku do opryskiwanych obiektów.

Na wykresach widać, że wraz ze wzrastającym kątem asymetrii zmniejsza się stopień pokrycia obiektów pionowych. Różnice te są jednak nieznaczne w przypadku rozpylacza uniwersalnego a znacznie bardziej widoczne przy rozpylaczu eżektorowym. Analiza przedstawionych wykresów ilustrujących wpływ przyjętych parametrów na stopień pokrycia wskazuje na dużą różnicę stopnia pokrycia wszystkich opryskiwanych obiektów między rozpylaczem uniwersalnym a eżektorowym. Na obu rysunkach w przypadku każdego rozpylacza wystąpiły różnice w pokryciu obiektów pionowych wewnętrznych i zewnętrznych. Powód tego zróżnicowanego pokrycia, nawet przy poziomej belce, można wytłumaczyć odchyleniem rozpylonej strugi w stosunku do osi belki połowej o kąt w zakresie od 5° do 8° .

Najwyraźniejszy wpływ kąta asymetrii rozpylania na pokrycie wystąpił dla obiektów pionowych, w przypadku których stwierdzono, że istnieją istotne różnice w pokryciu opryskiem obiektu pionowego wewnętrznego A_w w stosunku do obiektu pionowego zewnętrznego A_z .

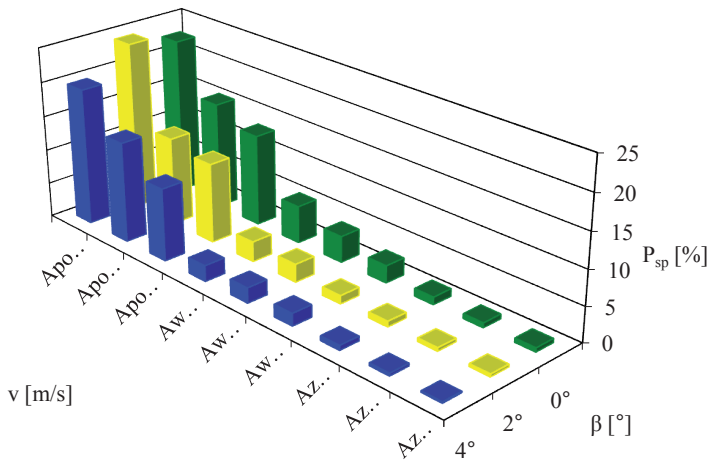
XR; h=0,5 m



Rys. 31. Stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych A_{po} , pionowych wewnętrznych A_w oraz pionowych zewnętrznych A_z przy różnych kątach asymetrii rozpylania β i prędkości opryskiwania v przy użyciu rozpylacza uniwersalnego

Fig. 31. Spray cover on treated surfaces for different spray asymmetry angles β and spray velocities v obtained with the universal nozzle

AI; h=0,5 m



Rys. 32. Stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych A_{po} , pionowych wewnętrznych A_w oraz pionowych zewnętrznych A_z przy różnych kątach asymetrii rozpylania β i prędkości opryskiwania v przy użyciu rozpylacza eżektorowego

Fig. 32. Spray cover on treated surfaces for different spray asymmetry angles β and spray velocities v obtained with the air induction nozzle

Wieloczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny wpływ kąta asymetrii β , położenia opryskiwanego obiektu, prędkości i wysokości opryskiwania na stopień pokrycia w odniesieniu do wszystkich badanych rozpylaczy. Przy ocenie poszczególnych czynników oddzielnie brak wpływu kąta β stwierdzono jedynie w zakresie wysokości ustawienia rozpylacza $h=0,6-0,8$ (tab. 8c) oraz prędkości opryskiwania (tab. 8b)

Tabela 8

Table 8

Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji stopnia pokrycia opryskiem dla wszystkich badanych rozpylaczy w zależności od:

Results of multiple analysis of variance for spray cover obtained with all tested nozzles as affected:

a) kąta asymetrii rozpylania β

a) asymmetry angle

Badana cecha Examined trait	Kąt asymetrii β [°] Asymmetry angle		
	0°	2°	4°
Rozpylacz Nozzle	0,0000	0,0000	0,0001
Prędkość v Spray velocity	0,0005	0,0004	0,0001
Wysokość h Height	0,0000	0,0000	0,0003
Oprysk obiekt A Treated object	0,0000	0,0000	0,0000

b) prędkości opryskiwania v

b) spray velocity

Badana cecha Examined trait	Prędkość v [m/s] Spray velocity		
	1,39	1,94	2,5
Rozpylacz Nozzle	0,0000	0,0000	0,0004
Kąt asymetrii β Asymmetry angle	0,1427	0,1657	0,1015
Wysokość h Height	0,0000	0,0000	0,0000
Oprysk obiekt A Treated object	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 8 c.d.
Table 8 cont.

c) wysokości opryskiwania h
c) nozzle heights

Badana cecha Examined trait	Wysokości opryskiwania h [m] Nozzle heights		
	0,4	0,6	0,8
Rozpylacz Nozzle	0,0000	0,0000	0,0000
Prędkość v Spray velocity	0,0000	0,0000	0,0000
Kąt asymetrii β Asymmetry angle	0,0187	0,1730	0,2322
Oprysk obiekt A Treated object	0,0000	0,0000	0,0000

d) położenia opryskiwanego obiektu A
d) position of treated object

Badana cecha Examined trait	Położenie oprysk. obiektu A Position of treated object		
	A_w	A_z	A_{po}
Rozpylacz Nozzle	0,0000	0,0000	0,0000
Prędkość v Spray velocity	0,0000	0,0000	0,0000
Wysokość h Height	0,0000	0,0000	0,0000
Kąt asymetrii β Asymmetry angle	0,0000	0,0000	0,0000

Stopień pokrycia opryskiwanych obiektów w warunkach działania wiatru

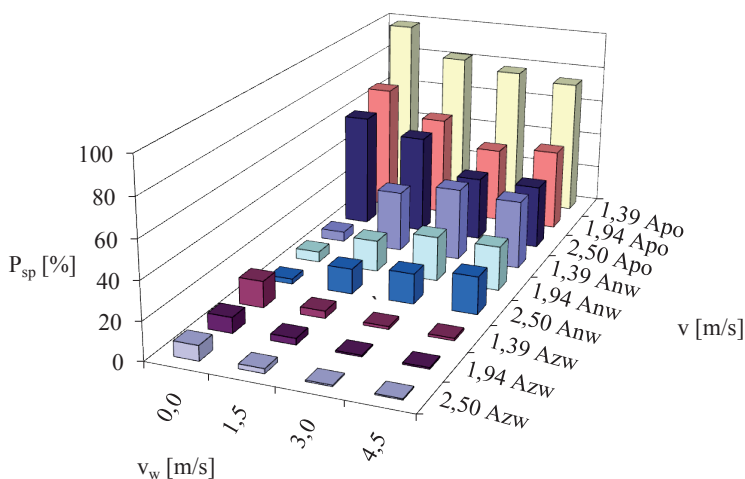
W trakcie pracy opryskiwacza na rozpyloną strugę działa strumień powietrza wynikający z wiatru atmosferycznego i ruchu powietrza powstającego na skutek przemieszczania się agregatu. Wiatr atmosferyczny może mieć kierunek dowolny, ale ruch powietrza wynikający z przemieszczania się opryskiwacza jest zawsze wiatrem czołowym, tzw. pozornym. W końcowym efekcie na rozpylaną ciecz działa wiatr względny o kierunku i sile wynikających z wektorowego rachunku ich prędkości. Badania przeprowadzono dla dwóch skrajnych sytuacji: gdy strumień powietrza działa prostopadle do ruchu opryskiwacza i nie ma wiatru atmosferycznego oraz gdy działa tylko wiatr pozorny, czołowo do ruchu opryskiwacza.

W rozdziale 6.1.3 przedstawiono wyniki badań wpływu wiatru działającego prostopadle do kierunku ruchu opryskiwacza oraz wpływu wiatru czołowego o różnej prędkości na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów.

Stopień pokrycia w warunkach działania wiatru prostopadłego do kierunku ruchu opryskiwacza

W celu wyeliminowania efektu działania wiatru pozornego na rozpylaną ciecz ruch opryskiwacza był symulowany przesuwaniem sztucznej rośliny. Wiatr symulowano strumieniem powietrza wytwarzanym przez wentylator. Wpływ prędkości wiatru skierowanego prostopadle do kierunku ruchu sztucznej rośliny na pokrycie opryskiwanych obiektów przedstawiono na przykładzie rozpylacza uniwersalnego XR 11004VS i eżektorowego AI 11004VS. Wyniki badań w odniesieniu do rozpylacza uniwersalnego zostały zilustrowane na wykresie 33, a eżektorowego na wykresie 34. Przy rozpylaczu uniwersalnym stopień pokrycia zdecydowanie zmniejsza się wraz ze wzrostem prędkości powietrza na obiektach poziomych i pionowych zawietrznych. Z kolei wzrost stopnia pokrycia stwierdzono na powierzchniach pionowych nawietrznych. W przypadku rozpylacza eżektorowego, emitującego grubsze krople, na powierzchniach poziomych nie zanotowano tak radykalnych zmian stopnia pokrycia. Ze względu na mniejsze znoszenie użycie grubych kropli w takich warunkach jest bardziej uzasadnione.

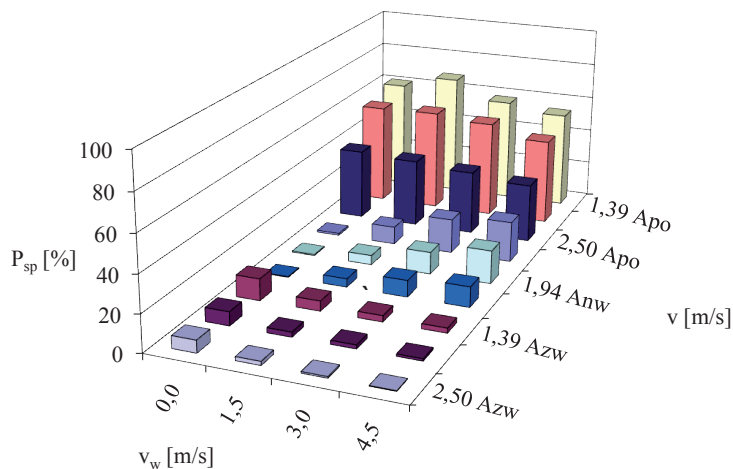
XR; h = 0,5 m



Rys. 33. Stopień pokrycia obiektów poziomych A_{po} , po stronie nawietrznej A_{nw} , oraz po stronie zawietrznej A_{zw} w warunkach działania strumienia powietrza prostopadłego do ruchu sztucznej rośliny o prędkości powietrza v_w (0;1,5;3,0;4,5 ms^{-1}) i prędkości opryskiwania v (1,4;2,0;2,5 ms^{-1}) rozpylacza uniwersalnego

Fig. 33. Spray cover on the treated surfaces for the airflow perpendicular to the direction of plant movement at the variable velocity v_w (0;1,5;3,0;4,5 ms^{-1}), at different driving velocities v (1,4;2,0;2,5 ms^{-1}) of universal nozzle

AI; h = 0,5 m



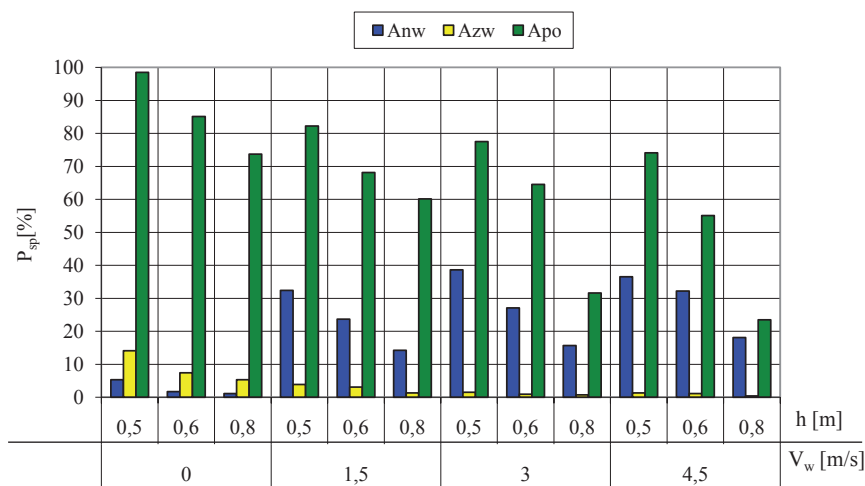
Rys. 34. Stopień pokrycia obiektów poziomych A_{po} , po stronie nawietrznej A_{nw} , oraz po stronie zawietrznej A_{zw} w warunkach działania powietrza prostopadłego do ruchu sztucznej rośliny o prędkości powietrza v_w (0;1,5;3,0;4,5 ms^{-1}) i prędkości opryskiwania v (1,4;2,0;2,5 ms^{-1}) rozpylacza eżektorowego

Fig. 34. Spray cover on the treated surfaces for the airflow perpendicular to the direction of plant movement at the variable velocity v_w (0;1,5;3,0;4,5 ms^{-1}), at different driving velocities v (1,4;2,0;2,5 ms^{-1}) of air induction nozzle

Porównanie wykresów dotyczących dwóch rozpylaczy różniących się sposobem tworzenia kropli oraz ich wielkością prowadzi do stwierdzenia, że stosowanie rozpylacza eżektorowego daje w efekcie znacznie mniejsze pokrycie obiektów opryskiwanych. W warunkach bezwietrznych ($v_w = 0 \text{ ms}^{-1}$) przy maksymalnej dawce cieczy (najmniejsza prędkość opryskiwania, $v = 1,39 \text{ ms}^{-1}$) rozpylacz eżektorowy wykazał się porównywalnym stopniem pokrycia jak rozpylacz uniwersalny w tych samych warunkach emitujący najmniejszą dawkę cieczy opryskowej (maksymalna prędkość opryskiwania, $v = 2,5 \text{ ms}^{-1}$).

Na rysunku 35 przedstawiono stopień pokrycia opryskiwanych obiektów przy zmianie wysokości ustawienia belki polowej ($h = 0,5; 0,6; 0,8 \text{ m}$) przy czterech prędkościach symulowanego bocznego wiatru (0; 1,5; 3; 4,5 $m \cdot s^{-1}$). W trakcie tych badań dawka cieczy i wielkość kropli pozostawały niezmiennie. Wyniki pomiarów do jednego rozpylacza i trzech opryskiwanych obiektów przedstawiono na wykresie w takim układzie, by wyraźnie zaznaczyć różnicę między pokryciem poszczególnych obiektów – poziomych A_{po} i pionowych nawietrznych A_{nw} i zawietrznych A_{zw} przy różnych wysokościach opryskiwania h . Wykres podzielono na cztery części ilustrujące odpowiednio cztery zakresy prędkości strumienia powietrza stosowane w badaniach. Oceniając stopień pokrycia powierzchni nawietrznej i zawietrznej, zaobserwowano znaczne różnice w stopniu ich pokrycia. Przy zerowej prędkości powietrza obiekt nawietrzny jest pokryty w niewiel-

kim stopniu. Stopień jego pokrycia wyraźnie wzrasta przy bocznym wietrze proporcjonalnie do prędkości wiatru. Zgodnie z przewidywaniem odwrotne zjawisko wystąpiło w obiekcie usytuowanym po stronie zawietrznej. W tym przypadku przy zerowej prędkości wiatru jego pokrycie jest wyraźnie większe. Wraz ze wzrostem prędkości bocznego wiatru pokrycie gwałtownie maleje aż praktycznie do jego zaniku przy prędkości równej $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. W obiektach poziomych stwierdzono wyraźną zależność zmniejszania się stopnia pokrycia wraz ze wzrostem prędkości bocznego wiatru i wysokości ustawienia belki. Stopień pokrycia wraz ze wzrostem wysokości położenia belki wyraźnie maleje. Najsilniej ta zależność występuje przy większych prędkościach strumienia powietrza.



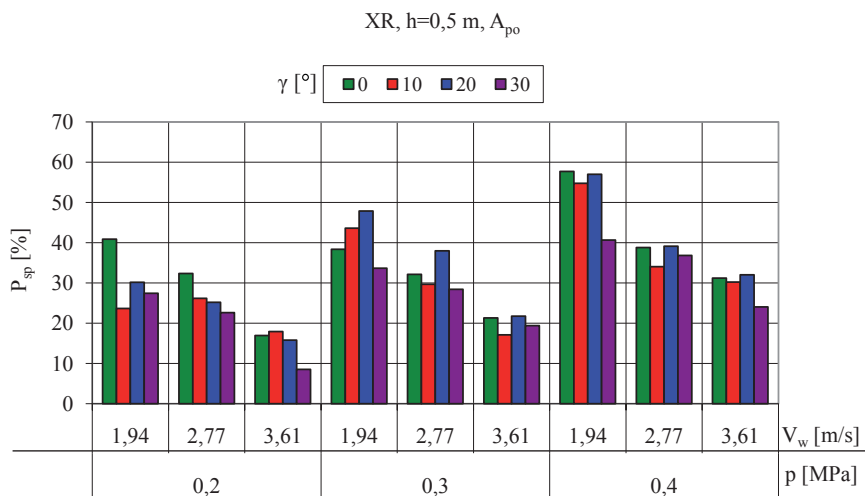
Rys. 35. Stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych A_{po} , po stronie nawietrznej A_{nw} , oraz po stronie zawietrznej A_{zw} przez rozpylacz uniwersalny XR przy różnych prędkościach wiatru v_w (0; 1,5; 3,0; 4,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) prostopadłego do kierunku ruchu opryskiwacza i zmiennej wysokości belki h (0,5; 0,6; 0,8 m)

Fig. 35. Spray cover on the treated surfaces obtained with the universal nozzle XR at different velocities v_w of the airflow perpendicular to the driving direction and at different nozzle heights h

Stopień pokrycia w warunkach działania wiatru czołowego

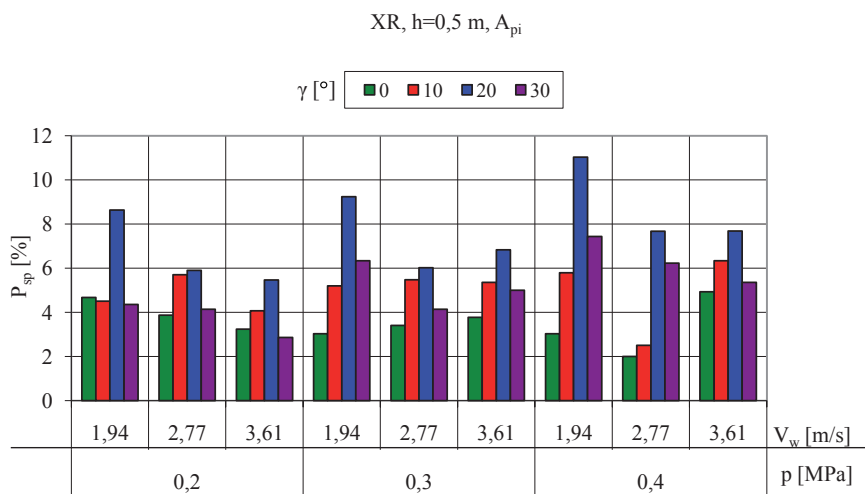
Ruch opryskiwacza podczas zabiegu opryskiwania powoduje powstawanie czołowego strumienia powietrza w formie wiatru pozornego oddziałującego na rozpyloną ciecz. W badaniach wpływu ustawienia rozpylacza na pokrycie opryskiwanych obiektów przy wietrze czołowym zastosowano trzy wysokości pracy belki połowej oraz rozpylacze uniwersalne XR 11002VP firmy Tee Jet, LU 120-03 firmy Lechler oraz eżektorowe IDK 120-03 i IDK 120-04 firmy Lechler. Omówienie wyników ograniczono do przypadku ustawienia belki na wysokość 0,5 m przy ciśnieniu cieczy 2, 3 i 4 MPa i dwóch rozpylaczy (XR 11002VP, IDK 120-04) umożliwiających uzyskanie oprysku drobn- i grubokroplistego. Są one, zdaniem autora, wystarczająco reprezentatywne do wyjaśnienia

badanego problemu. Stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych i pionowych w rozpylaczu uniwersalnym przy różnych parametrach pracy zilustrowano na wykresach 36 i 37, a w rozpylaczu eżektorowym na rysunkach 38 i 39.



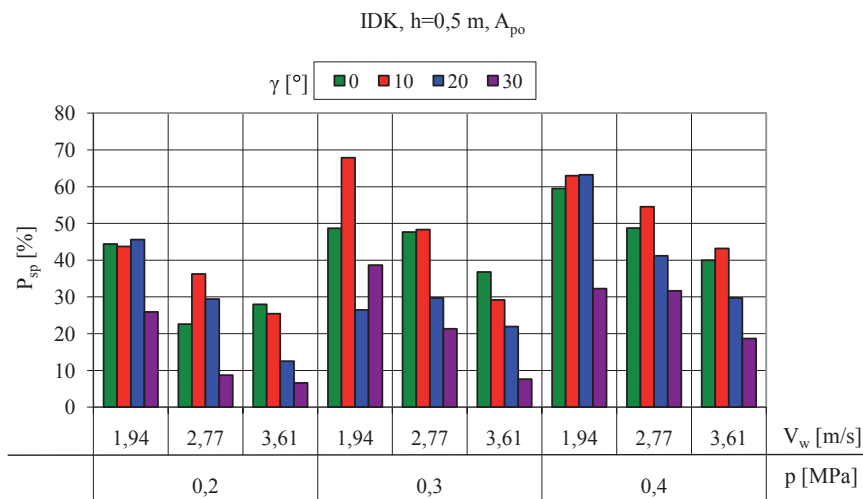
Rys. 36. Wpływ zmiany kąta odchylenia γ na stopień pokrycia obiektów poziomych przy różnym ciśnieniu cieczy p i zmiennej prędkości wiatru v_w rozpylacza uniwersalnego

Fig. 36. Effect of angle γ alteration on spray cover on horizontal surfaces obtained with universal nozzle at different values of pressure p and variable velocity of the airflow v_w



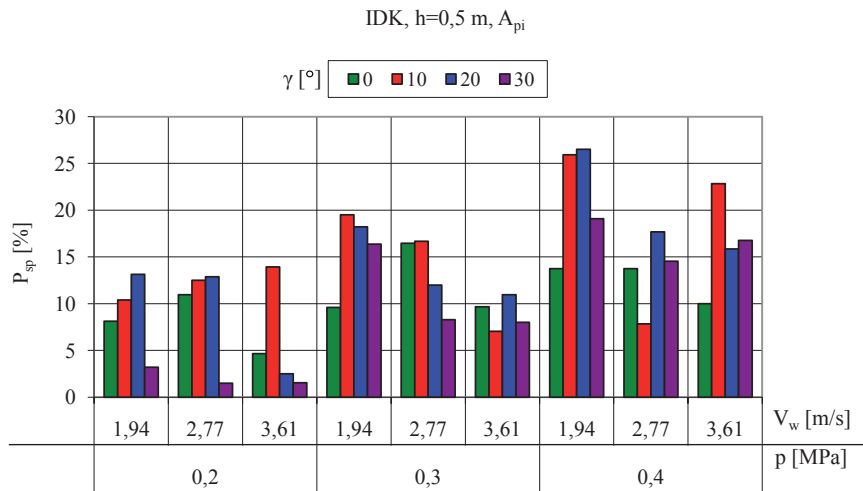
Rys. 37. Wpływ zmiany kąta odchylenia γ na stopień pokrycia obiektów pionowych przy różnym ciśnieniu cieczy p i zmiennej prędkości wiatru v_w rozpylacza uniwersalnego

Fig. 37. Effect of angle γ alteration on spray cover on vertical surfaces obtained with universal nozzle at different values of pressure p and variable velocity of the airflow v_w



Rys. 38. Wpływ zmiany kąta odchylenia γ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych przy różnym ciśnieniu cieczy p i zmiennej prędkości wiatru v_w rozpylacza eżektorowego

Fig. 38. Effect of angle γ alteration on spray cover on horizontal surfaces obtained with air induction nozzle at different values of pressure p and variable velocity of the airflow v_w



Rys. 39. Wpływ zmiany kąta odchylenia γ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów pionowych przy różnym ciśnieniu cieczy p i zmiennej prędkości wiatru v_w rozpylacza eżektorowego

Fig. 39. Effect of angle γ alteration on spray cover on vertical surfaces obtained with air induction nozzle at different values of pressure p and variable velocity of the airflow v_w

Na podstawie analizy przedstawionych na wykresach wartości stopnia pokrycia obiektów poziomych obu rozpylaczy stwierdzono brak dużych różnic w pokryciu tych obiektów wynikające ze zmiany kąta odchylenia rozpylacza. Zmiany, jakie wystąpiły w stopniu pokrycia związane są z typem rozpylacza. Wyższe pokrycie opryskiwanych obiektów poziomych uzyskano, w przypadku rozpylacza uniwersalnego, przy kącie odchylenia rozpylacza $\gamma=20^\circ$, natomiast w przypadku rozpylacza eżektorowego wzrost pokrycia zanotowano przy kącie $\gamma=10^\circ$.

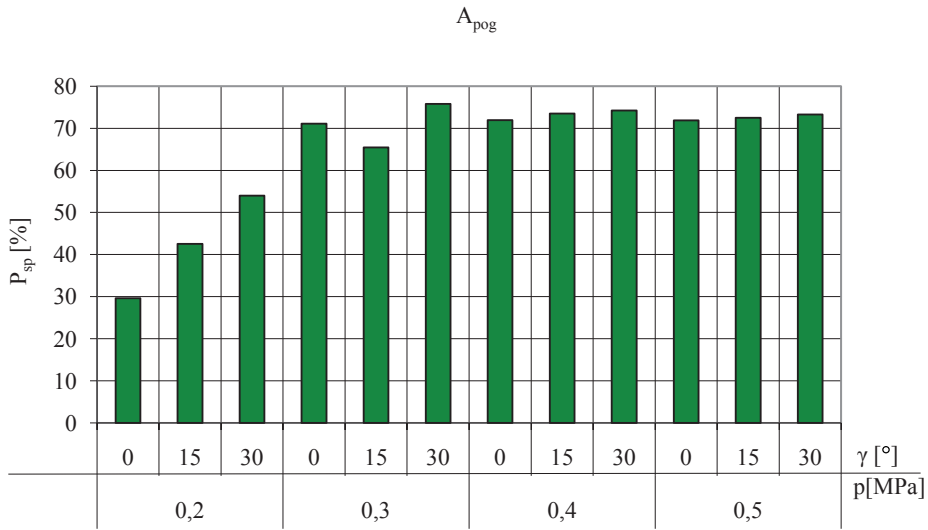
Analizując zilustrowane na wykresach 38 i 39 wyniki badań stwierdzono wyraźny wpływ kąta odchylenia rozpylacza na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów pionowych, szczególnie przy większych ciśnieniach stosowanych w badaniach. W przypadku rozpylacza uniwersalnego, wraz ze wzrostem kąta odchylenia rozpylacza γ od 0° do 20° , wyraźnie wzrasta stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni natomiast przy nachyleniu 30° pokrycie zaczyna się zmniejszać. Dla rozpylacza eżektorowego, którego rozpylona struga charakteryzuje się zdecydowanie większymi kroplami, największy stopień pokrycia stwierdzono już przy kącie γ równym 10° . Zależność ta wystąpiła szczególnie przy większych prędkościach wiatru.

6.2. Wyniki badań polowych

W planowaniu badań wpływu ustawienia rozpylacza na belce polowej na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów założono przeprowadzenie eksperymentów polowych weryfikujących wyniki badań laboratoryjnych. W trakcie realizacji programu chemicznej ochrony upraw polowych zabiegi wykonuje się na roślinach w różnych fazach rozwojowych lub na powierzchni pozbawionej roślinności. Dlatego też w badaniach polowych uwzględniono te dwie skrajne sytuacje, przeprowadzając badania w warunkach opryskiwania uprawy wysokiej oraz niskiej. Pierwszy przypadek reprezentowany był podczas opryskiwania pszenicy w fazie dojrzałości mleczno-woskowej. Drugi cykl pomiarów wykonano na uprawie pszenicy w fazie krzewienia reprezentującej przypadek opryskiwania przy braku roślin lub też w ich początkowym okresie wzrostu.

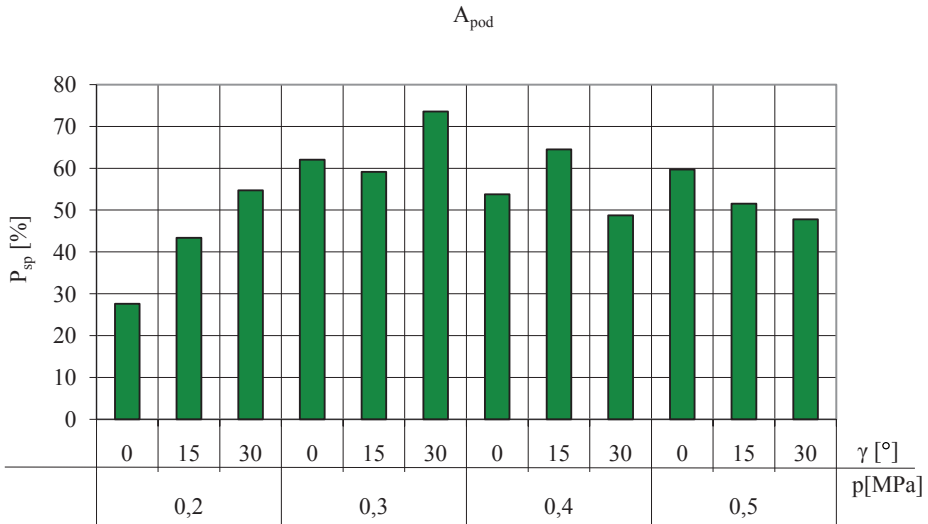
6.2.1. Wpływ warunków pracy i ustawienia belki polowej na stopień pokrycia w warunkach opryskiwania uprawy wysokiej

Wybrane wyniki badań przedstawione zostały na rysunkach od 40 do 43. Na pierwszych dwóch wykresach zilustrowano wyniki dotyczące opryskiwanych obiektów poziomych na wysokości kłosów i w głębi ładu, natomiast kolejne dwa dotyczą opryskiwanych obiektów pionowych usytuowanych tak jak poprzednio.



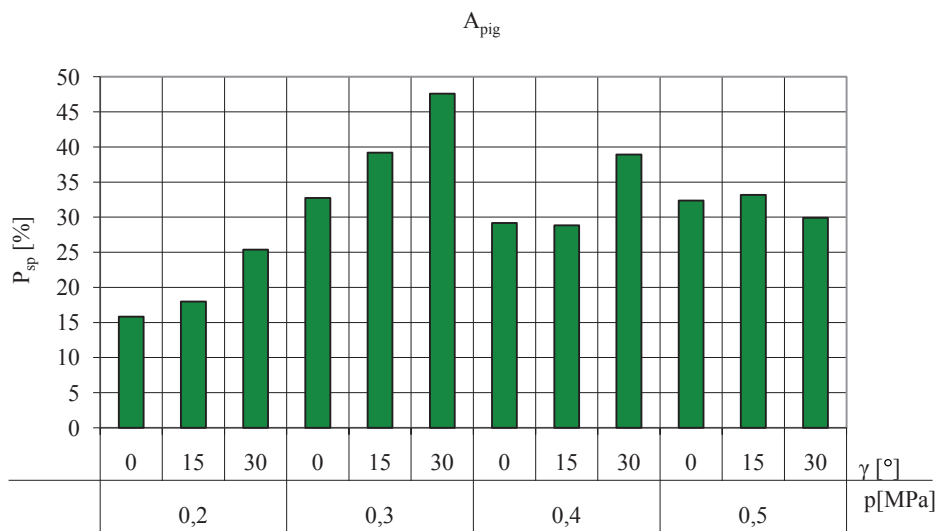
Rys. 40. Wpływ ciśnienia p i kąta γ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych górnych

Fig. 40. Effect of the pressure p and angle γ on spray cover on horizontal upper surfaces



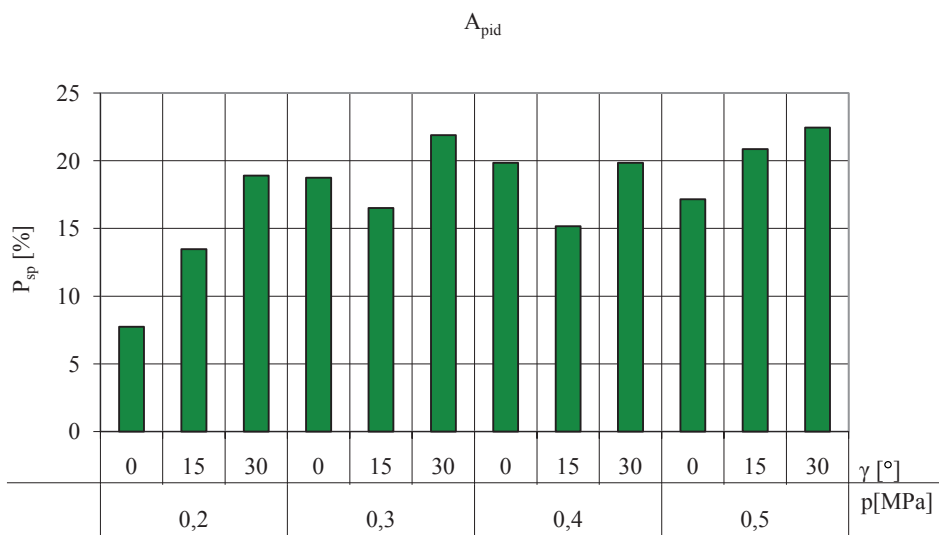
Rys. 41. Wpływ ciśnienia p i kąta γ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych dolnych

Fig. 41. Effect of the pressure and angle γ on spray cover on horizontal lower surfaces



Rys. 42. Wpływ ciśnienia p i kąta γ na stopień pokrycia obiektów powierzchni pionowych górnych

Fig. 42. Effect of the pressure p and angle γ on spray cover on vertical upper surfaces



Rys. 43. Wpływ ciśnienia p i kąta γ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów pionowych dolnych

Fig. 43. Effect of the pressure p and angle γ on spray cover on vertical lower surfaces

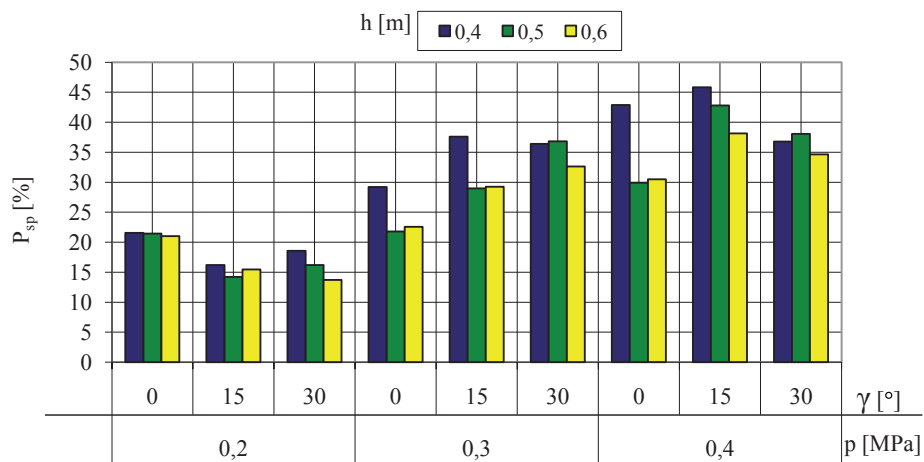
Opryskiwanie pszenicy wykonano z zastosowaniem rozpylaczy XR 11004VS. Analiza pokrycia obiektów poziomych, których wartości P_{sp} przedstawiono na rysunkach 40 i 41 wskazuje, że nie zanotowano aż tak dużych różnic w stopniu pokrycia w zależności od miejsca umieszczenia próbników, jakby się można było spodziewać. Obiekty umieszczonych na powierzchni łanu (A_{pog}) w porównaniu z tymi, które były umieszczone wewnątrz łanu (A_{pod}), charakteryzowały się nieznacznie większym stopniem pokrycia. Analiza wyników stopnia pokrycia obiektów poziomych dolnych wykazała natomiast korzystny wpływ zmiany kąta odchylenia rozpylacza przy wszystkich stosowanych w badaniach ciśnieniach cieczy. Można więc stwierdzić, że odchylenie rozpylacza ma większy wpływ na stopień pokrycia powierzchni poziomych w sytuacji, gdy na drodze rozpylonej strugi są przeszkody w postaci zwartego łanu utrudniającego ruch kropli. Na podstawie analizy wartości przedstawionych na wykresie 41 stwierdzono również, że najwyższy stopień pokrycia wystąpił przy i ciśnieniach cieczy 0,2 i 0,3 MPa przy kącie odchylenia $\gamma=30^\circ$. Przy ciśnieniu 0,4 MPa najwyższy stopień pokrycia stwierdzono dla kąta $\gamma=15^\circ$, a dla $\gamma=30^\circ$ przy 0,5 MPa.

Podczas opryskiwania łanu pszenicy z zastosowaniem ciśnienia cieczy 0,5 MPa nie stwierdzono korzystnego wpływu odchylenia rozpylacza na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych usytuowanych w połowie wysokości źdźbeł pszenicy.

Pokrycie obiektów pionowych umieszczonych wewnątrz oraz na powierzchni łanu różniło się dość wyraźnie w porównaniu z poprzednim przypadkiem. Górne obiekty pionowe charakteryzowały się zdecydowanie lepszym pokryciem niż dolne. W tym wypadku zaznaczyła się tendencja zwiększania stopnia pokrycia wraz ze wzrostem kąta odchylenia rozpylacza. Najwyższe pokrycie obiektów pionowych uzyskano przy ciśnieniu 0,3 MPa i kształtowało się ono następująco: przy $\gamma=0^\circ$ P_{sp} wyniosło 32%, przy $\gamma=15^\circ$ uzyskano $P_{sp}=38\%$, a przy $\gamma=30^\circ$ P_{sp} wyniosło już 47,5%. W odniesieniu do obiektów pionowych umieszczonych wewnątrz łanu zarysowała się wyraźna tendencja wzrostu pokrycia przy zwiększaniu kąta odchylenia rozpylaczy. Było to widoczne zwłaszcza przy ciśnieniu 0,2 i 0,5 MPa. Przy pozostałych ciśnieniach stosowanych w badaniach tendencja ta nie była aż tak wyraźna. Najwyższy stopień pokrycia zanotowano, gdy rozpylacz był odchylony o kąt $\gamma=30^\circ$.

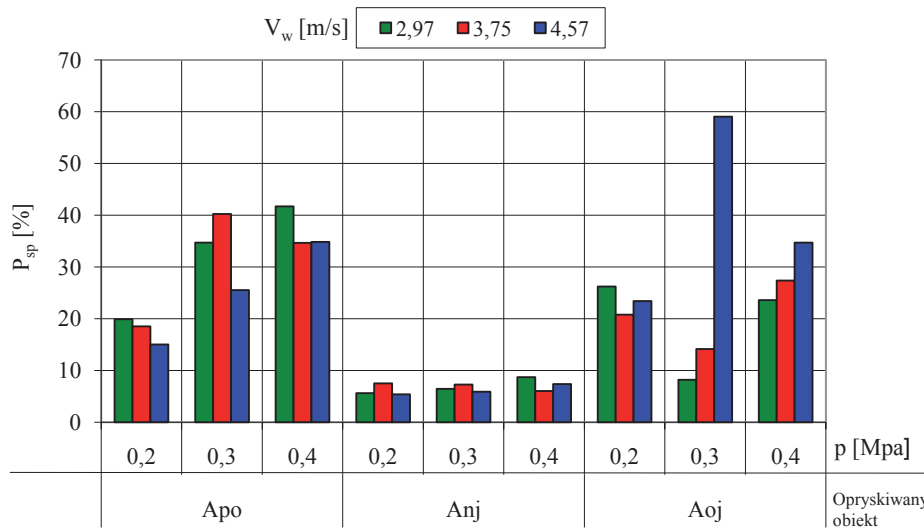
6.2.2. Wpływ warunków pracy i ustawienia belki polowej na stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni w warunkach opryskiwania uprawy niskiej

Wyniki badań wpływu zmian ustawienia rozpylacza i prędkości wiatru wykonane na polu pszenicy w fazie krzewienia zostały zilustrowane na rysunkach 44 i 45. Do badań wykorzystano, tak jak w poprzednim przypadku, rozpylacz płaskostrumieniowy XR 11004VS o rozszerzonym zakresie ciśnienia.



Rys. 44. Wpływ zmiany kąta odchylenia rozpylacza γ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów przy różnym ciśnieniu cieczy p i zmiennej wysokości belki h

Fig. 44. Effect of alteration of angle γ on spray cover on treated surfaces at different pressure values p



Rys. 45. Wpływ prędkości wiatru na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych oraz pionowych najazdowych i odjazdowych przy różnym ciśnieniu cieczy p

Fig. 45. Effect of wind velocity on spray cover on horizontal and vertical, front and back surfaces for different pressure values p

Na rysunku 44 przedstawiono zmianę stopnia pokrycia przy różnym ciśnieniu cieczy p i kącie odchylenia rozpylacza γ jako średnie wartości wszystkich opryskiwanych obiektów. Pokazana tam zależność ilustruje wpływ wysokości ustawienia belki połowej nad opryskiwanymi obiektami na stopień pokrycia. Jak widać na tym wykresie przy najniższym ciśnieniu nie wystąpiły wyraźne różnice stopnia pokrycia wynikające ze zmiany wysokości opryskiwania i kąta odchylenia rozpylacza. Duże różnice pokrycia wystąpiły natomiast w przypadku zastosowania wyższych ciśnień cieczy użytkowej. Zwiększenie kąta odchylenia γ spowodowało wzrost stopnia pokrycia. Najwyższą jego wartość odnotowano przy kącie $\gamma=15^\circ$ przy ciśnieniu $p=0,3$ i $0,4$ MPa.

Na rysunku 45 przedstawiono zależność stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni od prędkości wiatru przy różnych ciśnieniach cieczy użytkowej i pionowo ustawionej płaszczyźnie rozpylania belki połowej (kątem $\gamma=0^\circ$). Prędkość wiatru mierzono w momencie, gdy nad sztuczną rośliną przemieszczała się belka połowa. Wpływ wiatru na stopień pokrycia został przedstawiony przy uśrednionych innych parametrach i stałej dawce cieczy roboczej. Wymagało to opryskiwania ze zmienną prędkością roboczą agregatu. Pokrycie obiektów pionowych oceniano oddzielnie dla pionowych najazdowych A_{nj} i pionowych odjazdowych A_{oj} .

W przypadku opryskiwania obiektów poziomych A_{po} najniższe pokrycie, jak się można było spodziewać, stwierdzono przy każdym zastosowanym ciśnieniu cieczy i najwyższej prędkości wiatru. Można przypuszczać, że był to efekt znoszenia części kropeł poza obiekty opryskiwane. Jak widać na rysunku 45 obiekty pionowe najazdowe A_{nj} i odjazdowe A_{oj} były pokrywane całkowicie odmiennie. Wraz ze wzrostem prędkości powietrza zaznacza się wyraźny wzrost pokrycia pionowych obiektów odjazdowych A_{oj} , szczególnie przy wyższych ciśnieniach cieczy $0,3$ i $0,4$ MPa, w odróżnieniu od obiektów najazdowych A_{nj} , gdzie stopień pokrycia zasadniczo się nie zmieniał (rys. 45). Zaobserwowane różnice w stopniu pokrycia tych obiektów pionowych są dowodem na potrzebę stosowania pochyleń belki w kierunku ruchu opryskiwacza (kątem $\gamma>0^\circ$).

Wyniki badań poddano ocenie statystycznej przy wykorzystaniu wieloczynnikowej analizy wariancji oddzielnie w odniesieniu do obiektów poziomych (tab. 9) i pionowych (tab. 10).

Tabela 9

Table 9

Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji stopnia pokrycia obiektów poziomych
Results of multiple analysis of variance for spray cover on horizontal surfaces

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Deg. of freedom	Wartość testu F F- ratio	Poziom istotności Sig. level
Ciśnienie p Pressure	2	14,706	0,0000
Wysokość h Height	2	8,441	0,0006
Prędk. wiatru v_w Velocity of wind	15	4,071	0,0001

Tabela 10
Table 10

Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji stopnia pokrycia obiektów pionowych
Results of multiple analysis of variance for spray cover on vertical surfaces

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Deg. of freedom	Wartość testu F F- ratio	Poziom istotności Sig. level
Powtórzenie	2	0,716	0,4905
Ciśnienie p Pressure	2	1,113	0,0000
Wysokość h Height	2	0,116	0,9506
Prędkość wiatru v_w Velocity of wind	15	5,763	0,0000
Oprysk. obiekt A Treated object	1	327,171	0,0000

Zgodnie z przyjętymi założeniami badawczymi i metodyką, prowadząc pomiary pokrycia próbników usytuowanych na różnej wysokości zakładano uzyskanie różnego stopnia pokrycia wynikającego z różnej wysokości opryskiwania. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała jednak, że w przypadku opryskiwania obiektów pionowych wysokość h umocowania próbника nie ma istotnego wpływu na stopień pokrycia (poziom istotności $\alpha=0,05$), w związku z tym na wykresie 45 przedstawiono uśrednione wartości stopnia pokrycia przy trzech poziomach wysokości opryskiwania h: 0,4, 0,5 i 0,6 m. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że gdy zaistniały warunki do swobodnego ruchu kropeł rozpylonej cieczy wokół obiektów opryskiwanych to obiekty pionowe, umieszczone w zalecanym przez producenta rozpylaczy przedziale wysokości, uzyskały podobny stopień pokrycia.

Analiza tych wyników uzasadnia zatem przyjmowanie wysokości rozpylania zastosowanego rozpylacza w zakresie 0,4–0,6 m.

6.3. Wyniki opracowań teoretycznych

Przyjęte w pracy założenie badawcze o istotnym wpływie odchylenia rozpylacza, a tym samym całej płaszczyzny rozpylania belki połowej w stosunku do płaszczyzny pionowej prostopadłej do osi agregatu na rozkład podłużny rozpylanej cieczy tak w warunkach stacjonarnych, jak i w warunkach oddziaływania strumienia powietrza będzie zasadne, gdy uzyska się możliwości łatwego i dokładnego wyznaczenia optymalnych parametrów ustawienia rozpylacza w celu osiągnięcia najlepszej jakości opryskiwania. Analiza uzyskanych wyników badań wykazała potrzebę skonstruowania instrumentu, który umożliwiłby wyznaczanie i korygowanie położenia belki połowej w zależności od warunków wykonywania zabiegu. Rozwiązaniem tego problemu mogą być zaproponowane, w dalszej części pracy, modele statystyczno-matematyczne.

6.3.1. Model matematyczny wskaźnika opadu rozpylonej cieczy W_{so}

Procedurę modelowania procesu rozkładu podłużnego opadu cieczy oparto na poszukiwaniu związków korelacyjnych między mierzalnymi wielkościami tworzącymi wskaźnik W_{so} , tj. objętości cieczy wypryskanej V_c i objętości cieczy przechwyconej na opryskiwanej powierzchni (stole probierczym) V_a a mierzalnymi wielkościami wejściowymi, tj. parametrami ustawienia rozpylacza: γ – kąta odchylenia rozpylacza, h – wysokości ustawienia rozpylacza, p – ciśnienia cieczy użytkowej, v_w – prędkości wiatru.

Wskaźnik opadu cieczy W_{so} [%] uzależniono od następujących zmiennych niezależnych:

- $X_1 = p$ [MPa] – ciśnienia cieczy użytkowej, $p \in \langle 0,1; 0,3 \rangle$;
- $X_2 = v$ [$m \cdot s^{-1}$] – prędkości wiatru, $v_w \in \langle 0,0; 4,5 \rangle$;
- $X_3 = h$ [m] – wysokości ustawienia rozpylacza nad powierzchnią opryskiwaną, $h \in \langle 0,4; 0,6 \rangle$;
- $X_4 = \gamma$ [°] – kąta odchylenia osi rozpylacza od normalnej do powierzchni opryskiwanej, $\gamma \in \langle 0; 40 \rangle$.

Parametry modelu oszacowano na drodze regresji krokowej postępującej. Ich istotność w modelu regresji wielomianowej (drugiego stopnia) weryfikowano testem F -Snedecora, przyjmując jako wartość krytyczną statystykę Fishera $F_{kryt} = 4$. Do modelu włączone zostały również zmienne, których wartość statystyki F była większa od F_{kryt} . Model regresyjny pozwala prognozować wartość wskaźnika sprawności opadu cieczy w warunkach opryskiwania z zakresu $\gamma \in \langle 0; 40 \rangle$, $p \in \langle 0,1; 0,3 \rangle$, $h \in \langle 0,4; 0,6 \rangle$ i $v_w \in \langle 0,0; 4,5 \rangle$.

Jednym z istotniejszych wskaźników zaproponowanych przez autora jest tzw. wskaźnik opadu cieczy (W_{so}) zastępujący lub równoważny z niezmiernie trudnym do zbadania wskaźnikiem znoszenia cieczy. Wysoki wskaźnik W_{so} spełnia, zdaniem autora, wymagania jak najmniejszego skażenia środowiska i najlepszej skuteczności opryskiwania. Określenie W_{so} zostało sprowadzone do rozwiązania odpowiedniego zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami wynikającym z przyjętych do badań wartościami parametrów pracy i ustawienia rozpylacza.

Ostateczne wyniki analizy regresji przeprowadzonego modelowania zawarto w tabeli 11, w której zamieszczono jedynie wartości parametrów b_{ii} różniące się istotnie od zera.

Model matematyczny wskaźnika opadu:

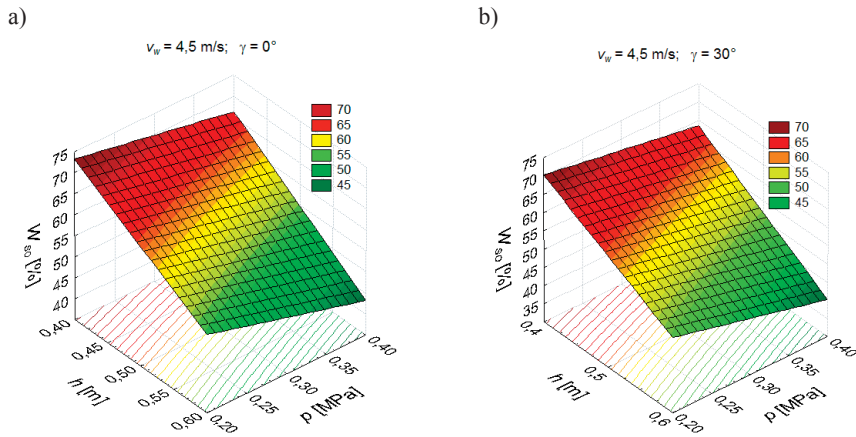
$$W_{so} = 112,6 - 17,99 \cdot v_w \cdot h - 86,27 \cdot h \cdot p - 0,0033 \cdot \gamma^2 \pm 9,8 \quad (3)$$

Współczynnik determinacji $R^2 = 0,789$.

Wynik analizy regresji modelowania zależności wskaźnika opadu W_{so} od parametrów pracy i ustawienia rozpylacza
Results of multiple analysis of variance

	b	s_b	t
Wyraz wolny	$b_0 = 112,6$	2,309	48,738
$p \cdot h (X_1) [\text{MPa}^2]$	$b_{13} = -86,27$	16,502	-5,228
$v \cdot h (X_2) [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	$b_{23} = -17,99$	1,103	-16,314
$\gamma^2 (X_4^2) [^\circ^2]$	$b_{44} = -0,0033$	0,001	2,662

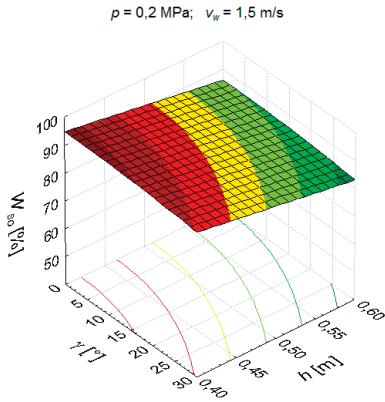
Wszystkie parametry modelu są istotne ($p < 0,01$). Uzyskany współczynnik determinacji $R^2 = 0,789$ oznacza, że zmienność wskaźnika opadu jest wytłumaczona przez zaproponowany model w 79%. Ostatecznie model empiryczny pozwalający prognozować stopień pokrycia przedstawia się następująco: wpływ wysokości opryskiwania h przy zmiennym ciśnieniu cieczy i prędkości wiatru pozornego $v_w = 4,5 \text{ m/s}$ na wartość wskaźnika opadu cieczy został zilustrowany na rysunku 46. Przebieg tych zależności, jak widać na wykresie, jest tym silniejszy, im opryskiwanie wykonuje się przy większym ciśnieniu.



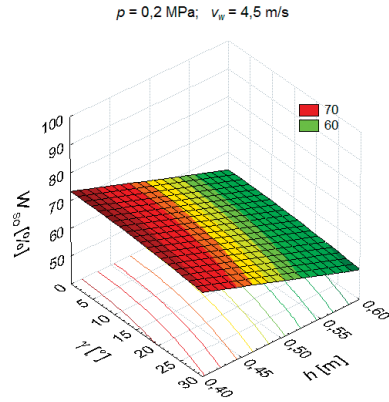
Rys. 46. Zależność wskaźnika opadu od wysokości h i ciśnienia p przy ustalonych wartościach prędkości wiatru v_w i kąta odchylenia rozpylacza γ

Fig. 46. Relationship between index of spray distribution and height h and pressure p at the assumed values of v_w and γ

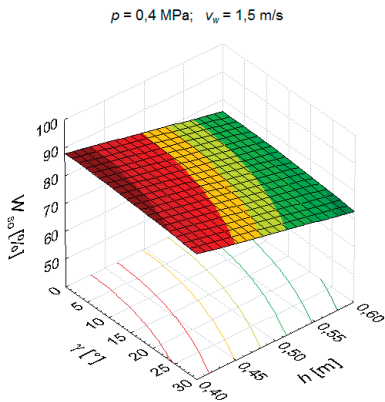
a)



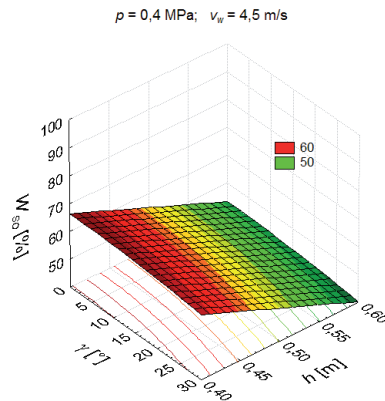
b)



c)



d)



Rys. 47. Zależność wskaźnika opadu od kąta γ i wysokości h przy ustalonych wartościach ciśnienia ciecży p i prędkości wiatru v_w

Fig. 47. Relationship between index of spray distribution and angle γ and height h at the assumed values p i v_w

Na rysunku 47a,b,c,d przedstawiono przebiegi symulacji wskaźnika opadu ciecży w zależności od przyjętych zmiennych niezależnych, czyli założonych parametrów pracy rozpylacza. Jak łatwo zauważyć, zwiększenie prędkości wiatru daje wyraźny spadek wartości wskaźnika opadu W_{so} (porównanie rys. „a” z „b” i „c” z „d”). Taka sama tendencja jest obserwowana w przypadku zwiększenia ciśnienia, czyli zmniejszenia kroplistości rozpylonej strugi (porównanie „a” z „c” i „b” z „d”). Rozważając zabiegi opryskiwania przy większej prędkości roboczej, można zauważyć, że najlepsze ustawienie rozpylacza γ mieści się w zakresie 10–20°. Wtedy wskaźnik opadu utrzymuje swoją największą

wartość. Oznacza to, że zaproponowana formuła matematyczna umożliwia szybkie określenie odpowiednich ustawień rozpylacza, mając na uwadze uzyskanie najwyższych wartości wskaźnika opadu. W praktyce jest to równoznaczne z opadem największej części objętości cieczy użytkowej wypryskanej przez opryskiwacz na opryskiwane powierzchnie. Odpowiada to również sytuacji, w której największa część ś.o.r. zastosowanego do zabiegu wykorzystywana jest do zwalczania agrofagów.

6.3.2. Model matematyczny wskaźnika stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni P_{sp}

Podstawowym elementem procedury modelowania było przeprowadzenie badań laboratoryjnych stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni na stanowisku opisanym w rozdziale 5.2.1. W wyniku realizacji eksperymentu na przygotowanym do tego celu stanowisku badawczym zmierzono stopień pokrycia próbników przy różnych parametrach ustawienia rozpylacza.

Wyniki pomiarów laboratoryjnych stopnia pokrycia P_{sp} opryskiwanych powierzchni sztucznych roślin posłużyły do oszacowania parametrów modelu matematycznego (empirycznego) metodą najmniejszych kwadratów. Zmiennymi objaśniającymi (niezależnymi) były:

- $X_1 = p$ [MPa] – ciśnienie cieczy roboczej, $p \in \{0,2, 0,3, 0,4\}$;
- $X_2 = v$ [m/s] – prędkość przemieszczania modułu rozpylacza, $v \in \{1,94, 2,78, 3,61\}$;
- $X_3 = h$ [m] – wysokość pracy rozpylacza, $h \in \{0,4, 0,5, 0,6\}$;
- $X_4 = \gamma$ [°] – odchylenie rozpylonej strugi, $\gamma \in \{0, 10, 20, 30\}$;
- $X_5 = \alpha$ [°] – orientacja przestrzenna „liścia” (kąt między osią symetrii rozpylania a normalną do powierzchni opryskiwanej), $\alpha \in \{0, 90\}$, 90° – powierzchnia pozioma, 0° – powierzchnia pionowa.

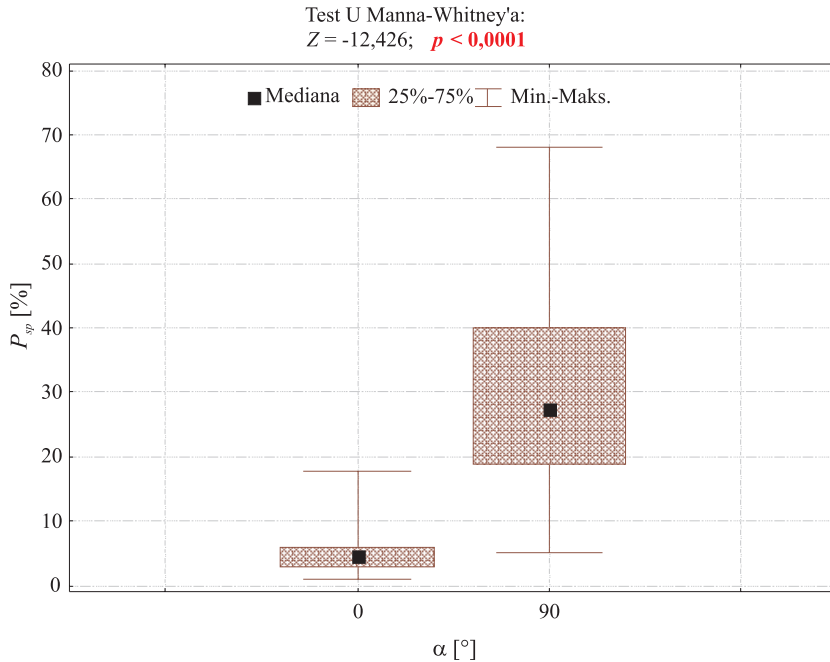
Zmienną objaśnianą (zależną) $Y=P_{sp}$ był stopień pokrycia powierzchni „liści” sztucznych roślin [%].

Stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni P_{sp} silnie zależy od kąta orientacji powierzchni liścia względem powierzchni gruntu α . Współczynnik korelacji Spearmana między tymi wielkościami wynosi $r_s=0,848$. Z uwagi na wysoce istotne różnice (rys. 48) między przeciętnymi wartościami stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni w dwóch analizowanych położeniach liści, w budowie modelu matematycznego uwzględniano osobno przypadek, gdy powierzchnia liścia jest równoległa do powierzchni gruntu ($\alpha=90^\circ$) i gdy jest do niego prostopadła ($\alpha=0^\circ$).

Wszystkie zmienne objaśniające korelowały ze zmienną objaśnianą (tab. 12 i 13), a współczynniki korelacji liniowej Pearsona r różniły się istotnie od zera ($p<0,05$), co zweryfikowano testem t -Studenta.

Z analizy wykresów rozrzutu (rys. 51) wynika, że najsilniejszy związek ze stopniem pokrycia P_{sp} (poza kątem α) ma: prędkość v , wysokość rozpylacza h , ciśnienie cieczy p oraz kąt γ .

Na wykresie 48 jest również wyraźnie zaznaczona różnica stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych ($\alpha=90^\circ$) i pionowych ($\alpha=0^\circ$). W przyrodzie niezmiernie rzadko występują takie przypadki, gdy powierzchnie liści lub łodyg czy źdźbeł usytuowane by były idealnie pionowo lub poziomo. Najczęściej są reprezentowane przypadki pozycji pośrednich między tymi skrajnymi sytuacjami.



Rys. 48. Porównanie stopnia pokrycia P_{sp} opryskiwanych powierzchni liści o powierzchni prostopadłej ($\alpha=0^\circ$) i równoległej ($\alpha=90^\circ$) do powierzchni gruntu

Fig. 48. Comparison of spray cover P_{sp} on the treated surfaces of leaves perpendicular ($\alpha=0^\circ$) and parallel ($\alpha=90^\circ$) to the ground level

Tabela 12
 Table 12

Macierz współczynników korelacji Person'a r między zmienną objaśnianą (P_{sp}) a zmiennymi objaśniającymi dla $\alpha = 0^\circ$

Matrix of Person's correlation coefficients r between described variable (P_{sp}) and describing variables for $\alpha = 0^\circ$

	p [MPa]	v [m·s ⁻¹]	h [m]	γ [°]
P_{sp} [%]	0,202	-0,294	-0,527	0,289

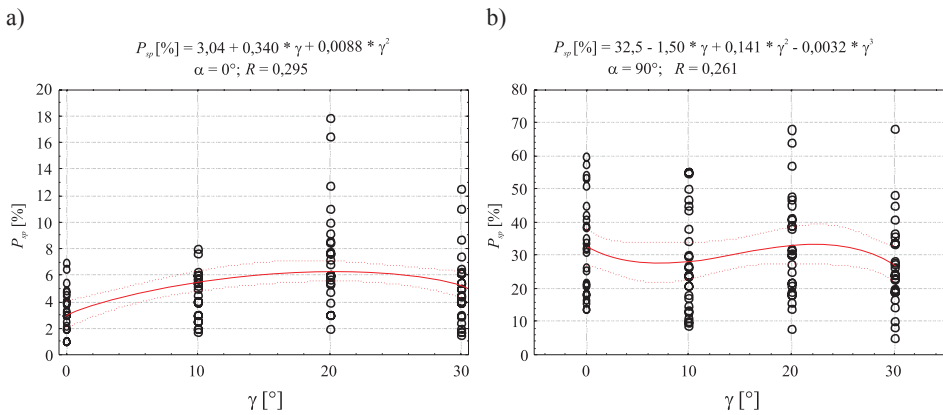
W tabeli zaznaczono pogrubieniem współczynniki korelacji istotne na poziomie $p < 0,05$.

Tabela 13
Table 13

Macierz współczynników korelacji Person'a r między zmienną objaśnianą (P_{sp}) a zmiennymi objaśniającymi dla $\alpha=90^\circ$
Matrix of Person's correlation coefficients r between described variable (P_{sp}) and describing variables for $\alpha=90^\circ$

	p [MPa]	v [m·s ⁻¹]	h [m]	γ [°]
P_{sp} [%]	0,457	-0,589	-0,511	-0,086

Zaznaczono pogrubieniem współczynniki korelacji istotne na poziomie $p < 0,05$.



Rys. 49. Diagramy korelacyjne stopnia pokrycia powierzchni P_{sp} z kątem odchylenia rozpylacza γ dla dwóch położenia liścia oraz modele regresyjne (wielomiany drugiego i trzeciego stopnia) i współczynniki korelacji; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$

Fig. 49. Diagrams of correlation between spray cover P_{sp} and angle γ for two orientations of leaves, regression models (second and third degree polynomials) and correlation coefficients; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$

Analiza rysunku 49 dostarcza wiele interesujących spostrzeżeń. Przedstawia on przebieg wpływu kąta odchylenia rozpylacza γ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów P_{sp} . O ile w przypadku powierzchni pionowych ($\alpha=0^\circ$) przebieg jest raczej jednoznaczny (wielomian drugiego stopnia z jednym ekstremum) to w przypadku stopnia pokrycia powierzchni poziomych ($\alpha=90^\circ$) nie można przebiegu krzywej jednoznacznie interpretować (wielomian trzeciego stopnia). Optymalna wielkość kąta odchylenia rozpylacza przesunęła się w strefę wyższych wartości.

Wybierając postać analityczną modelu zdecydowano się na funkcję, która charakteryzuje się najlepszym dopasowaniem do danych pomiarowych o postaci:

$$P_{sp} = b_0 + b_1 \cdot p + b_{11} \cdot p^2 + b_{12} \cdot p \cdot v + b_{13} \cdot p \cdot h + b_{14} \cdot p \cdot \gamma + b_{15} \cdot p \cdot \alpha + \\ + b_2 \cdot v + b_{22} \cdot v^2 + b_{23} \cdot v \cdot h + b_{24} \cdot v \cdot \gamma + b_{25} \cdot v \cdot \alpha + b_3 \cdot h + b_{33} \cdot h^2 + \\ + b_{34} \cdot h \cdot \gamma + b_{35} \cdot h \cdot \alpha + b_4 \cdot \gamma + b_{44} \cdot \gamma^2 + b_{45} \cdot \gamma \cdot \alpha + b_5 \cdot \alpha + b_{55} \cdot \alpha^2 \quad (4)$$

Wartości parametrów b_{ii} oszacowano metodą najmniejszych kwadratów z wykorzystaniem regresji wielorakiej i metodę krokową wsteczną. Tylko niektóre współczynniki różniły się istotnie od zera. Ostateczne wyniki regresji zawarto w tabeli 14.

Tabela 14

Table 14

Wyniki analizy regresji modelowania zależności wskaźnika pokrycia P_{sp} od parametrów pracy i ustawienia rozpylacza

Results of multiple analysis of variance

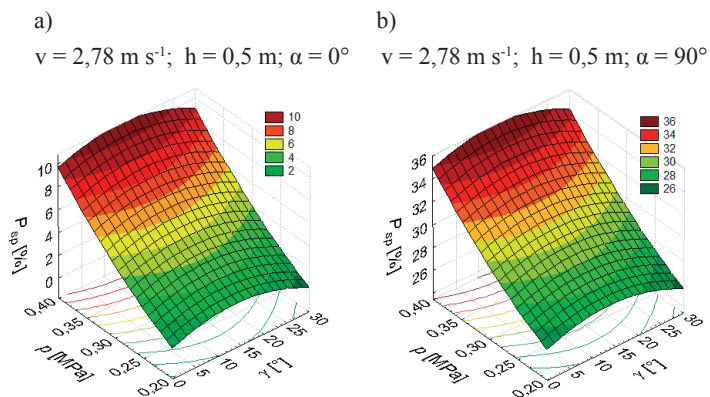
	b	s_b	t
Wyraz wolny	$b_0 = 30,779$	2,989	10,297
$p^2 (X_1^2)$ [MPa ²]	$b_{11} = 73,409$	10,241	7,168
$v (X_2)$ [m · s ⁻¹]	$b_2 = -6,887$	0,741	-9,298
$h^2 (X_3^2)$ [m]	$b_{33} = -54,827$	6,163	-8,879
$\gamma (X_4)$ [°]	$b_4 = 0,176$	0,058	2,735
$\gamma^2 (X_4^2)$ [° ²]	$b_{44} = -0,006$	0,002	2,548
$\alpha (X_5)$ [°]	$b_5 = 0,280$	0,011	25,030

Wszystkie parametry modelu są istotne ($p < 0,05$). Współczynnik determinacji $R^2 = 0,830$ oznacza, że zmienność stopnia pokrycia P_{sp} jest wytłumaczona przez zaproponowany model w 83%. Ostatecznie model empiryczny pozwalający prognozować stopień pokrycia przedstawia się następująco:

$$P_{sp} = 30,8 + 0,18 \cdot \gamma - 0,0065 \cdot \gamma^2 + 73,41 \cdot p^2 - 6,9 \cdot v - 54,83 \cdot h^2 - 0,28 \cdot \alpha \pm 3,4 \quad (5)$$

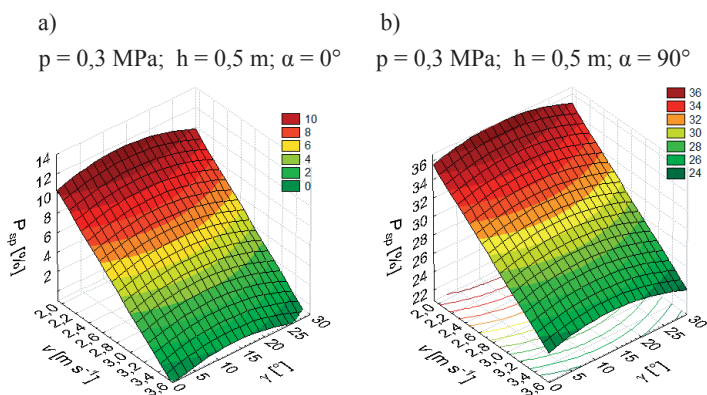
Współczynnik determinacji $R^2 = 0,830$.

O ile na poprzednich rysunkach (49) nie było łatwo o jednoznaczną interpretację wpływu kąta odchylenia γ na stopień pokrycia to w przypadku rysunków 50, 51 oraz 52 i 53 widać wyraźnie, że najwyższy stopień pokrycia P_{sp} można osiągnąć, gdy odchylenie rozpylacza mieści się w przedziałach kąta γ od 10° do 25°. Szczególnie interesującą sytuację można zaobserwować na rysunku 53. Wynika z niego, że uwzględniając najwyższe pokrycie najlepsze usytuowanie liści opryskiwanych roślin, byłoby wtedy, gdy ich najbardziej eksponowane powierzchnie ustawione byłyby w przedziale kąta $\alpha \approx 50-90^\circ$. Wniosek jest czysto teoretyczny, gdyż trudno wyhodować takie odmiany roślin uprawnych, które wykazywałyby takie cech morfologiczne. Choć obserwacje wskazują, że taka sytuacja występuje w przyrodzie najczęściej.



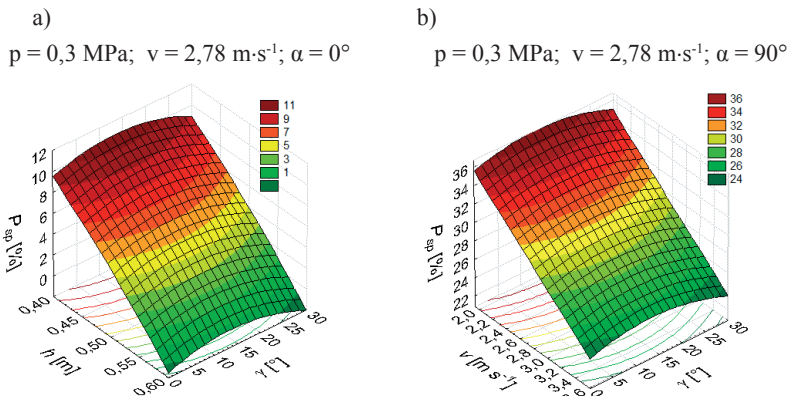
Rys. 50. Zależność stopnia pokrycia od kąta odchylenia rozpylacza γ i ciśnienia cieczy p przy ustalonych wartościach prędkości opryskiwania v i wysokości belki h ; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$

Fig. 50. Relationship between spray cover and angle γ and pressure p at the assumed values of v i h ; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$



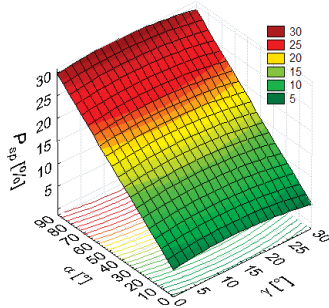
Rys. 51. Zależność stopnia pokrycia od kąta ustawienia rozpylacza γ i prędkości opryskiwania v przy ustalonych wartościach ciśnienia cieczy p i wysokości belki h ; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$

Fig. 51. Relationship between spray cover and angle γ and velocity v at the assumed values of p i h ; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$



Rys. 52. Zależność stopnia pokrycia od kąta ustawienia rozpylacza γ i wysokości belki h przy ustalonych wartościach ciśnienia cieczy p i prędkości opryskiwania v ; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$
 Fig. 52. Relationship between spray cover and angle γ and height h at the assumed values of p i v ; a) $\alpha=0^\circ$, b) $\alpha=90^\circ$

$p = 0,3 \text{ MPa}; v = 2,78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}; h = 0,5 \text{ m}$



Rys. 53. Zależność stopnia pokrycia od kątów ustawienia rozpylacza γ i położenia opryskiwanego obiektu α przy ustalonych wartościach ciśnienia cieczy p , prędkości opryskiwania v i wysokości belki h
 Fig. 53. Relationship between spray cover and angle γ and angle α at the assumed values of p , v , and h

Maksymalny stopień pokrycia $P_{sp}=46,8\%$ osiągnąć można przy następujących wartościach zmiennych niezależnych: $\gamma=13,6^\circ$; $p=0,4 \text{ MPa}$; $v=1,94 \text{ m/s}$; $h=0,4\text{m}$ i $\alpha=0^\circ$. Oznacza to, że w warunkach bezwietrznej pogody i przyjęciu, najczęściej stosowanej w produkcji polowej prędkości roboczej (około $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), odchylenie płaszczyzny rozpylania belki polowej o kąt bliski 14° dałoby najlepsze pokrycie rozpyloną cieczą opryskiwanych roślin przy zachowaniu pozostałych parametrów pracy opryskiwacza.

Zaproponowany model można wykorzystywać do szacowania wartości stopnia pokrycia przy zmiennych niezależnych zawartych w przedziałach:

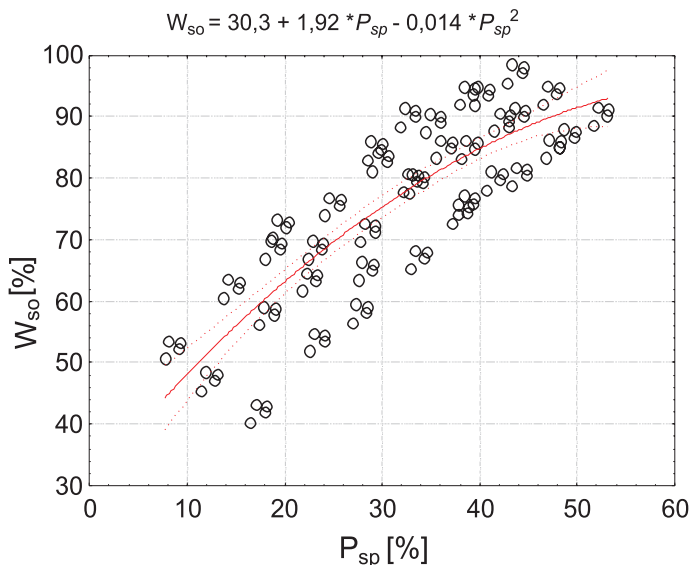
- kąt położenia opryskiwanego obiektu – $\alpha [^\circ] \in \langle 0; 90 \rangle$,
- ciśnienie cieczy użytkowej – $p [\text{MPa}] \in \langle 0,2; 0,4 \rangle$,

- prędkość opryskiwania – v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] $\in \langle 1,94; 3,61 \rangle$,
- wysokość ustawienia belki połowej – h [m] $\in \langle 0,4; 0,6 \rangle$.

6.3.3. Analiza współzależności między wskaźnikiem opadu rozpylonej cieczy W_{so} a wskaźnikiem stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni P_{sp}

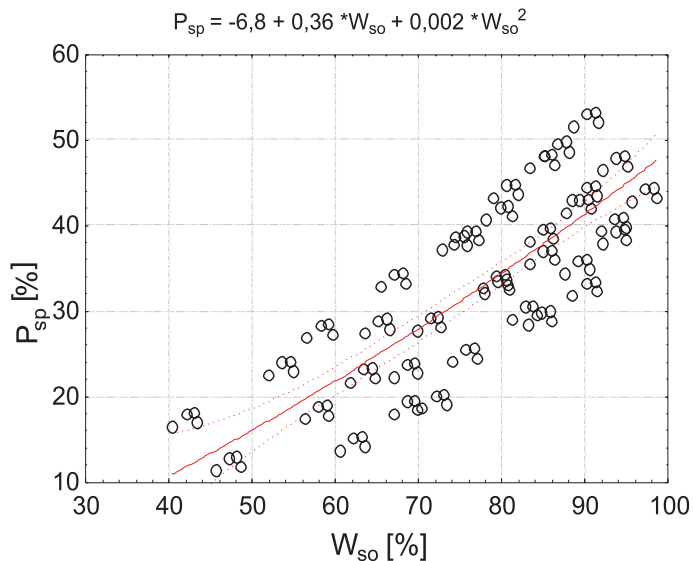
Jak wykazano w rozdziałach 6.3.2 i 6.3.3 zarówno stopień pokrycia powierzchni P_{sp} , jak i wskaźnik opadu W_{so} zależą od tych samych zmiennych (p , v , h i γ), w związku z tym wygenerowano szereg punktów spełniających zależności: γ [$^\circ$] $\in \langle 0; 40 \rangle$, p [MPa] $\in \langle 0,1; 0,3 \rangle$, h [m] $\in \langle 0,4; 0,6 \rangle$, v_w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] $\in \langle 0,0; 4,5 \rangle$ i $\alpha = 90^\circ$ i obliczono dla nich wartości P_{sp} i W_{so} (wykorzystując wcześniej zaproponowane modele matematyczne). Dane te posłużyły do określenia charakteru zależności wskaźnika opadu od stopnia pokrycia (rys. 54) oraz stopnia pokrycia powierzchni od wskaźnika opadu (rys. 55). Współzależność między tymi cechami można dostatecznie dokładnie opisać wielomianem drugiego stopnia. Współczynnik regresji wynosił $R = 0,832$, co świadczy o silnej współzależności obu parametrów.

Na rysunkach 54 i 55 przedstawiono zależności między P_{sp} i W_{so} , ilustrują one wzajemną zależność tych dwóch parametrów i możliwość wyznaczania jednego z parametrów na podstawie znajomości drugiego. Na rysunkach zamieszczono formuły opisujące modele regresyjne (wielomiany II stopnia).



Rys. 54. Diagram korelacyjny wskaźnika sprawności opadu W_{so} i stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni P_{sp} oraz model regresyjny wskaźnika W_{so} (wielomian drugiego stopnia)

Fig. 54. Diagram of correlation between the index of spray distribution effectiveness W_{so} and the spray cover P_{sp} , and the regression model W_{so} (second degree polynomial)



Rys. 55. Diagram korelacyjny stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni P_{sp} ze wskaźnikiem sprawności opadu W_{so} oraz model regresyjny P_{sp} (wielomian drugiego stopnia)

Fig. 55. Diagram of correlation between the spray cover P_{sp} and the index of the spray distribution effectiveness W_{so} and the regression model P_{sp} (second degree polynomial)

Z analizy przebiegu wykresów przedstawionych na rysunkach 54 i 55 wynika jednoznacznie, że im większa jest wartość wskaźnika opadu cieczy, to tym większy może być stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni.

7. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA NAD WYNIKAMI

Zasadniczym impulsem do podjęcia badań będących treścią niniejszej pracy były zachęcające badania wstępne, dotyczące wpływu warunków i parametrów pracy opryskiwacza na położenie belki polowej nad opryskiwaną powierzchnią przy użyciu opryskiwaczy polowych oraz próby modelowania zachowania się rozpylonej cieczy w zależności od ustawienia belki polowej i parametrów pracy rozpylacza. Analiza wyników badań położenia belki wykazała bardzo duże zróżnicowanie ruchów belki polowej w płaszczyznach pionowych prostopadłych i równoległych do osi agregatu [Szewczyk 1998]. Zmienia się wówczas ustawienie rozpylacza podczas zabiegu ochrony roślin. Na skutek ruchów belki rozpylacz zmienia nie tylko wysokość pracy, ale również ustawienie rozpylonej strugi względem opryskiwanych powierzchni. Wynikiem tych niezamierzonych ruchów jest pogorszona jakość opryskiwania.

Badania położenia belki opryskiwacza były tematem wielu prac, co wskazuje na ważkość tego problemu w nauce, jak i praktyce. Były to najczęściej badania modelowe lub laboratoryjne mające na celu ograniczenie tego niekorzystnego efektu [Gohlich, Westphal 1991, Langenakensi i in. 1995, Ramon, De Baerdemaeker 1997a, 1997b].

W badaniach własnych autor położył nacisk na określenie położenia belki w zależności od warunków i parametrów pracy opryskiwacza w warunkach polowych. Efektem tych prac było opracowanie tzw. wskaźnika położenia belki (WPB) (rys. 56), który wyznacza pozycję rozpylacza względem powierzchni opryskiwanych podczas zabiegu [Szewczyk 1998]. Im wartość tego wskaźnika jest większa, tym warunki pracy rozpylaczy są gorsze, ponieważ pracują one na różnej wysokości i przy większej asymetrii ich położenia.

Wskaźnik położenia belki wyraża się wzorem:

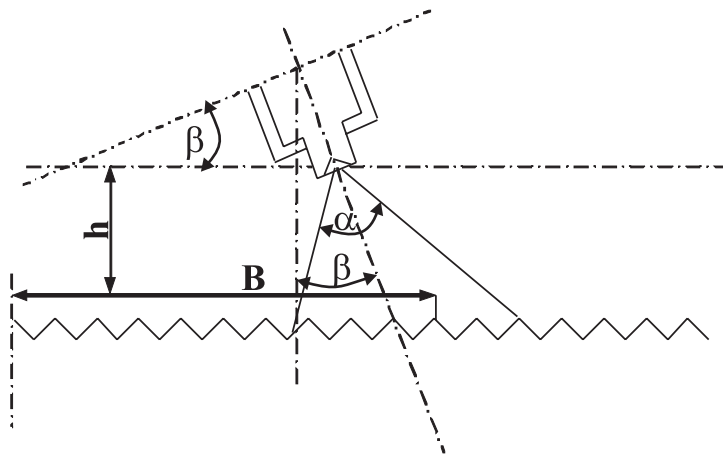
$$WPB = \sum_{i=1}^n \beta_i \mu_i \quad (6)$$

gdzie:

β – kąt nachylenia belki [deg],

μ – udział opryskanej powierzchni przy danym kącie nachylenia,

n – liczba zmierzonych wartości kątów [-].



Rys. 56. Sposób pracy rozpylacza na belce nachylonej pod kątem β , h – wysokość, B – szerokość rozpylania, α – kąt rozpylonej strugi, β – kąt asymetrii rozpylania
 Fig. 56. Operation of the spray nozzle on the beam inclined at an angle β , h – height, B – spraying width, α – angle of the stream, β – asymmetry angle of the spraying

Wchylenie belki w płaszczyźnie pionowej w stosunku do podłoża powoduje zmianę wysokości położenia rozpylacza nad opryskiwaną powierzchnią. Pojawia się wówczas asymetria ustawienia rozpylonej strugi w stosunku do płaszczyzny prostopadłej do podłoża i równoległej do kierunku ruchu agregatu [Szewczyk 1999, 2001]. W efekcie następuje nierównomierne pokrycie cieczą opryskiwanych powierzchni. Asymetria ustawienia rozpylacza powoduje też odmienne warunki nanoszenia cieczy na obiektach pionowych wewnętrznych i zewnętrznych w stosunku do osi symetrii rozpylonej strugi. Występuje również pogorszenie się warunków pracy rozpylacza a tym samym równomierności pokrycia.

W celu określenia skutków, jakie może wywołać takie ustawienie rozpylacza wykonano badania laboratoryjne wpływu zmian kąta asymetrii ustawienia rozpylacza na rozkład opadu cieczy i pokrycie opryskiwanych obiektów przy różnej wysokości rozpylania, różnym ciśnieniu roboczym w warunkach bezwietrznych oraz w warunkach działania bocznego i czołowego wiatru. Do badań użyto kilka typów stosowanych w Polsce rozpylaczy. Mimo że w literaturze można znaleźć wzmianki również o wpływie kąta rozpylonej strugi na rozkład poprzeczny to ten parametr w tych badaniach własnych pominięto, gdyż jest bardzo dobrze rozpoznany [Michalak 2004]. Do pomiarów rozkładu cieczy roboczej wykorzystuje się przede wszystkim stoły rowkowe tzw. ręczne i z odczytem elektronicznym [Wachowiak 1998, Lipiński i in. 2007a] oraz specjalnie skonstruowane do tego celu skanery [Langman, Pedryc 2006]. Ponadto rozkład poprzeczny jest jednym z kryteriów oceny zużycia rozpylaczy w obowiązkowych badaniach technicznych opryskiwaczy. W badaniach zastosowano stół probierczy o podziałce 50 mm umożliwiającą pomiar rozkładu z większą dokładnością w odróżnieniu od zalecanych w badaniach technicznych stołów o podziałce 100 mm. Ze względu na dużą pracochłon-

ność badań liczbę kombinacji ograniczono do wybranych parametrów pracy opryskiwacza, które w największym stopniu wpływają na końcowy efekt zabiegu ochrony roślin.

W prezentowanych badaniach chodziło o wyznaczenie zależności między zmiennymi niezależnymi, którymi były warunki i parametrami pracy oraz ustawienie rozpylacza a zmiennymi zależnymi jak rozkład opadu cieczy i stopień pokrycia. Uzyskane wyniki są podstawą do doskonalenia techniki opryskiwania płaskich upraw polowych. W związku z dużą ilością i zmiennością czynników wpływających na jakość zabiegu opryskiwania uznano za celowe określenie matematycznych współzależności tych czynników. W związku z tym w pracach wstępnych poprzedzających wykonanie niniejszych badań autor opracował model teoretyczny rozkładu opadu rozpylonej strugi [Szewczyk, Wilczok 2007, 2008a, 2008b]. Opracowany model dotyczył rozkładu podłużnego, znacznie trudniejszego w wyznaczeniu w odróżnieniu od dość udanych prób wykorzystania modelowania do określenia rozkładu poprzecznego rozpylonej strugi [Lodwig 2004].

Podstawą opracowania tego modelu były następujące założenia przyjęte przez autorów:

- rozmiary rozpylacza zostały pominięte w porównaniu z przemieszczeniem kropli, zatem rozpylacz był rozpatrywany jako punkt;
- rozpylacz wytwarzał strumień cieczy, który miał kształt stożka płaskiego o podstawie elipsy, gdzie odpowiednie kąty są zdefiniowane przez konstrukcję rozpylacza. Strumień ten jest jednorodny względem kąta rozpylania. Pominięto siłę wyporu kropli wody w powietrzu ze względu na dużą różnicę gęstości (103 mniejsza od siły ciężenia);
- ciśnienie działa na każdą z kropli tak samo, zatem wszystkie krople mają identyczną wartość prędkości początkowej – zgodnie z prawem Pascala;
- prędkość początkową oszacowano na podstawie danych charakteryzujących natężenie wypływu z rozpylacza i powierzchnię dyszy;
- przyjęto, że krople mają kształt kulki.

Opracowany zgodnie z założeniami model matematyczny składa się z następującego układu trzech równań w osiach x , y , z :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -k \frac{dx}{dt} - k v_w \quad (7)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -k \frac{dy}{dt} \quad (8)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg - k \frac{dz}{dt} \quad (9)$$

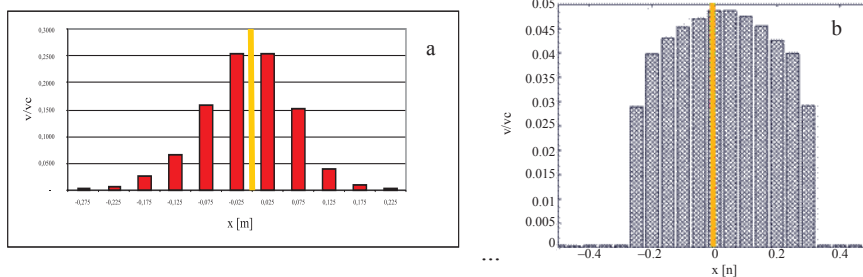
gdzie:

m – masa kropli,

k – współczynnik proporcjonalności zależny od współczynnika lepkości,

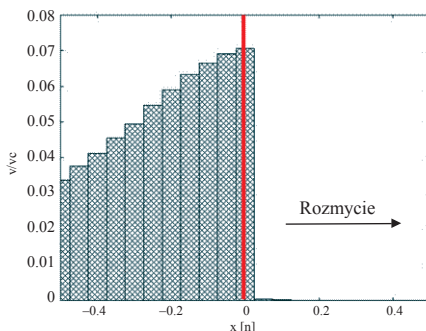
t – czas.

Wyniki obliczeń rozkładu opadu zgodnie przyjętym układem równań w przypadku układu statycznego bez ruchu powietrza zostały pokazane na rysunku 57. Na rysunku zilustrowano rozkład podłużny rozpylonej cieczy symulowany i weryfikowany doświadczalnie. Natomiast na rysunku 58 pokazano wyniki obliczeń modelowych rozkładu opadu rozpylonej cieczy w warunkach działania strumienia powietrza.



Rys. 57. Rozkład podłużny opadu rozpylonej strugi przy parametrach ustawienia rozpylacza: $h=0,5$ m, $\gamma=0^\circ$, a – badania rzeczywiste, b – symulacja komputerowa

Fig. 57. Longitudinal distribution at atomised stream for atomiser setting angle: $h=0,5$ m, $\gamma=0^\circ$, a – actual reseach, b – computer simulation



Rys. 58. Symulacja rozkładu opadu podłużnego rozpylonej strugi pod wpływem działania strumienia powietrza o prędkości $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $h=0,5$ m; $\gamma=30^\circ$

Fig. 58. Simulation of longitudinal distribution of sprayed stream under air stream at the rate of $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $h=0,5$ m; $\gamma=30^\circ$

Dzięki opracowanemu modelowi uzyskano instrument, który umożliwił opisanie rozkładu rozpylonej strugi wynikających ze zmiany ustawienia rozpylacza w płaszczyźnie pionowej równoległej do kierunku jazdy. Takie ustawienie (pod wiatr) powinno, wg założeń autorów, zmniejszać destrukcyjne działanie strumienia powietrza na rozpyloną strugę. Opracowany model spełniał te oczekiwania w sposób ograniczony w zakresie wynikający z przyjętych uproszczeń. Takim uproszczeniem było założenie, że rozpylona

struga składa się z kropli o jednakowej średnicy (MVD) [Szewczyk, Wilczok 2007]. W rzeczywistości rozpylona struga składa się z ogromnej ilości kropli o różnej średnicy. Chcąc scharakteryzować stopień rozpylenia, kwalifikuje się te krople do przyjętego przedziału wielkości. Krople w rozpylonej strudze stanowią układ polidispersyjny charakteryzującym się dużym zróżnicowaniem średnic. Stopień rozpylenia można określić jedynie doświadczalnie, pobierając dużą ilość reprezentatywnych prób, gdyż jak dotąd spektrum rozpylonej strugi nie udało się przewidzieć teoretycznie [Gajtkowski 2000, Orzechowski, Prywer 2008].

Mimo dość dużej zgodności wyników symulacji z rzeczywistością to jego możliwości praktyczno-prognostyczne były jednak ograniczone. W związku z tym poszukiwano innych instrumentów, które umożliwiałyby w sposób dokładniejszy określać wpływ wiatru i parametrów ustawienia rozpylacza na rozkład opadu. Takie możliwości dawał opracowany przez autora tzw. wskaźnik opadu cieczy W_{so} , który określał procentowo ilość cieczy opadłej na powierzchnię opryskiwaną do ilości cieczy użytej do zabiegu. Posługiwanie się wskaźnikiem opadu W_{so} jest znacznie praktyczniejsze w porównaniu do pracochłonnych pomiarów rozkładu cieczy opisanego wykresem. Poza tym wyznaczony wskaźnik opadu daje również, wg autora, możliwości szacowania zakresu znoszenia rozpylanej cieczy.

Badaniem znoszenia zajmowało się wielu badaczy, przeprowadzając swoje pomiary w różnych warunkach, polowych i laboratoryjnych. Wspólną cechą tych badań były duże nakłady pracy i środków. Większość tych badań była ukierunkowana na znoszenie cieczy poza strefę opryskiwania w aspekcie ograniczenia zagrożeń dla środowiska. Brak było dotychczas badań nad wpływem parametrów pracy rozpylaczy (wielkość kropeł, ciśnienie, rozmiar i typ, wysokość pracy) oraz warunków wykonywania zabiegów (wiatr, temperatura, wilgotność powietrza) w odniesieniu do stopnia i równomierności pokrycia roślin cieczą użytkową. Duża część doniesień literaturowych dotyczy badań z wykorzystaniem tunelu aerodynamicznego. Polegały one na pomiarach naniesienia rozpylanej cieczy na próbnikach w postaci papierków filtracyjnych usytuowanych w różnej odległości od rozpylacza i na różnej wysokości [Brusselman i in. 2005, Stadler, Regenauer 2005]. Określenie w taki sposób rozkładu i wielkości znoszenia wymagała dużych nakładów pracy. W prezentowanych wynikach, za pomocą wskaźnika W_{so} , można stwierdzić, jaki procent rozpylonej cieczy nie opada na powierzchnie opryskiwane, co – wprawdzie nie wprost – oznacza, że pozostała ilość rozpylanej cieczy uległa znoszeniu, czyli przedmieściła się poza miejsce docelowe.

Podczas przeglądu dostępnego piśmiennictwa na temat badań rozkładów opadu rozpylanej cieczy nie znaleziono publikacji dotyczących badań i oceny rozmieszczenia rozpylanej cieczy w osi podłużnej opryskiwacza w przypadku upraw płaskich. Nie natrafiono również na jakąkolwiek pracę poświęconą wyznaczeniu zależności między położeniem belki polowej, jej parametrów pracy oraz ustawieniem rozpylacza na belce a rozkładem podłużnym opadu rozpylanej cieczy. W związku z tym autor zaproponował szeroki program badań, których tylko część jest przedmiotem niniejszej monografii.

Samo poznanie rozkładu opadu cieczy przy różnych ustawieniach rozpylacza nie jest jednak wystarczającą podstawą do oceny jakości pracy rozpylacza, a w konsekwencji skuteczności opryskiwania. Niezmiernie ważnym wskaźnikiem jest stopień pokrycia

opryskiwanych obiektów. Ponieważ stopień pokrycia uzależniony jest w większości od tych samych czynników, co rozkład opadu to uzasadnione wydawało się przyjęcie założenia o istnieniu wzajemnej zależności między wskaźnikiem opadu rozpylonej cieczy W_{so} , a wskaźnikiem pokrycia opryskiwanych obiektów P_{sp} .

Najważniejszą częścią badań stopienia pokrycia opryskiwanych powierzchni był eksperyment laboratoryjny zakładający wykonanie pomiarów w warunkach działania wiatru pozornego. Na podstawie uzyskanych wyników określono wpływ wysokości belki polowej, ciśnienia roboczego a przede wszystkim kąta odchylenia rozpylacza na stopień pokrycia w warunkach dynamicznych – przy różnych prędkościach wiatru pozornego.

Wyniki badań zależności stopnia pokrycia od parametrów roboczych rozpylacza są prezentowane w wielu publikacjach [Jumrych, Rogalski 1995, Wolf i in. 2001, Ehsani, Lee 2008, Abbaspour-Fard i in. 2008], najczęściej dotyczą badań wykonanych w warunkach polowych. Często celem tych badań było wykazanie możliwości zastosowania różnego typu i rodzaju rozpylaczy do ochrony upraw. [Rogalski 1996, Gajtkowski 1999, Gajtkowski, Czaczyk 2001, Czaczyk, Gajtkowski 2001, Kamionka 2002, Jansen, Spiliid 2005, Lipiński i in. 2007b].

Jednak nie zawsze warunki polowe umożliwiają precyzyjne prześledzenie wszystkich badanych zależności. Zawsze powstaje dylemat, czy próbniki do oznaczenia stopnia pokrycia mocować do obiektów opryskiwanych w postaci rosnących roślin, czy do sztucznie przygotowanych, gdzie precyzyjnie można określić orientację danego opryskiwanego obiektu w stosunku do rozpylacza. Dlatego wyniki tych badań są trudne do powtórzenia i nie mogą być wykorzystywane do uogólniania wszystkich badanych zależności. Trzeba przyznać jednak, że dużą zaletą tych badań, zwłaszcza z zastosowaniem roztworu fluorescencyjnego, są wyniki określające rzeczywiste wartości naniesienia lub strat ś.o.r. [Jansen, Spiliid 2005].

Wyniki badań własnych przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych były podstawą do przygotowania i przeprowadzenia badań polowych będących weryfikacją uzyskanych wcześniej obserwacji. Badania polowe zostały ukierunkowane na ocenę stopnia pokrycia w warunkach najczęściej występujących w produkcji polowej, tzn. gdy zabieg opryskiwania wykonywany jest bezpośrednio na uprawioną glebę lub na rośliny. Te dwie fazy rozwojowe roślin stwarzają całkiem odmienne warunki dla rozpylonej strugi. Odmienne zachowanie rozpylonej strugi występuje podczas ochrony roślin w początkowej fazie wzrostu i podczas ochrony zwanego łanu roślin. W przypadku uprawionej ziemi lub roślin w początkowej fazie wzrostu nie jest wymagana dostatecznie dobra penetracja łanu, natomiast trzeba w tych warunkach zwracać uwagę na niczym nieograniczone działanie ruchów powietrza. W przypadku opryskiwania na glebę mamy najczęściej do czynienia z nanoszeniem herbicydów, a więc najczęściej opryskiem grubokroplistym, który podlega innym wymogom niż zabieg grzybobójczy lub owadobójczy. W drugim przypadku zwarty łan roślin zdecydowanie utrudnia ruch kropel rozpylonej cieczy, które powinny dotrzeć do wszystkich roślin i pokryć równomiernie i w dostatecznym stopniu wszystkie części roślin. Dlatego też w badaniach polowych wykonano pomiary stopnia pokrycia w warunkach uprawy niskiej, tj. na polu pszenicy w fazie krzewienia oraz badania w warunkach uprawy wysokiej na polu pszenicy w fazie dojrzałości woskowej.

Wyniki badań polowych potwierdziły spostrzeżenia i wnioski wypływające z analizy wyników badań laboratoryjnych. Zgodnie z oczekiwaniami stwierdzono wyraźny wpływ odchylenia rozpylonej strugi zgodnie z ruchem agregatu na pokrycie próbników, szczególnie pionowych, umieszczonych na powierzchni i wewnątrz łąnu.

Analiza wyników stopnia pokrycia powierzchni opryskiwanych na uprawie niskiej wskazuje na dość nieoczekiwaną zależność. W takim przypadku panują warunki do swobodnego ruchu powietrza wokół obiektów opryskiwanych i w związku z tym zanotowano większy stopień pokrycia na powierzchniach pionowych zgodnych z kierunkiem przemieszczania się opryskiwacza. W badaniach powierzchnie te oznaczono jako pionowe odjazdowe.

W trzeciej części rozprawy opracowano teoretyczne modele wskaźnika opadu cieczy W_{so} i stopnia pokrycia P_{sp} oraz wzajemną zależność tych wskaźników. Materiałem wyjściowym do opracowania modeli były dane uzyskane podczas badań laboratoryjnych. Weryfikacja uzyskanych danych wyjściowych i tych z obliczeń symulacyjnych wyznaczonych modeli wskazuje na ich duże podobieństwo. Oprócz modeli w postaci wielomianów drugiego stopnia na wykresach przedstawiono najbardziej charakterystyczne przebiegi zależności badanych wskaźników od przyjętych zmiennych niezależnych, którymi były parametry i warunki pracy rozpylacza. Wyznaczając formuły matematyczne, opisujące jakość pracy rozpylacza uzyskano mechanizm umożliwiający w praktyce szybkie poszukiwanie odpowiedzi na często nurtujące użytkownika opryskiwacza pytanie: jakie w danych warunkach przyjąć ustawienia rozpylacza oraz inne parametry pracy, by zapewnić jak najlepszą jakość opryskiwania?

8. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza wyników pozwoliły na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Na rozkład poprzeczny opadu rozpylonej strugi istotny wpływ ma wysokość położenia belki polowej a nieistotna okazała się asymetria rozpylania. Zmiana wysokości położenia rozpylaczy i asymetrii rozpylania okazała się istotna przy pokryciu obiektów pionowych wewnętrznych i zewnętrznych oraz najazdowych i odjazdowych.

2. Zmiana prędkości wiatru o kierunku prostopadłym do ruchu opryskiwacza miała istotny wpływ na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów poziomych i pionowych od strony nawietrznej. Wpływ ten zaznaczył się dla wszystkich badanych kombinacji wysokości i wielkości kropli. Dla rozpylaczy wytwarzających krople o średniej wielkości stwierdzono wzrost pokrycia obiektów poziomych i pionowych od strony nawietrznej wraz ze wzrostem prędkości wiatru.

3. Czołowy wiatr deformuje rozkład podłużny rozpylonej cieczy roboczej. Charakter tej deformacji rozkładu zależy głównie od ciśnienia cieczy i wysokości belki polowej. Silny wiatr ($4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) powodował niemal całkowite przesunięcie rozpylonej strugi w stronę zawietrzną od płaszczyzny symetrii rozpylania przy wszystkich wysokościach położenia belki.

4. Skierowanie płaszczyzny rozpylonej strugi w kierunku przeciwnym do kierunku wiatru, w zakresie do 20° zwiększa pokrycie obiektów pionowych, bez obniżenia rozkładu poprzecznego. Sprzyja również symetryczniejszemu rozkładowi podłużnemu opadłej cieczy i jej większej koncentracji pod rozpylaczem. Ten pozytywny efekt nasila się przy większej wysokości opryskiwania.

5. Wiatr czołowy odchyła rozpyloną strugę w kierunku działania strumienia powietrza. Przeciwdziałać temu niekorzystnemu zjawisku można przez odchylenie rozpylacza w kierunku zgodnym z ruchem opryskiwacza a przeciwnym do kierunku wiatru. Uzasadnia to wyposażenie opryskiwaczy polowych w układy regulacji ustawienia płaszczyzny rozpylania belki polowej. Takie przekonanie potwierdzają wyniki badań polowych zarówno w łanie upraw wysokich, jak i na uprawach niskich, w których stwierdzono większe pokrycie obiektów pionowych.

6. Zaproponowany przez autora wskaźnik W_{so} dobrze opisuje relacje pomiędzy ilością cieczy wypryskanej i opadłej na chronione rośliny. Wskaźnik W_{so} może być wygodnym narzędziem w ocenie stopnia znoszenia sedymentacyjnego rozpylanej cieczy pod wpływem działania wiatru.

7. Opracowany model matematyczny wskaźnika W_{so} pozwala ustalić najkorzystniejsze, dla panujących warunków, ustawienie rozpylacza, aby uzyskać najlepszy opad rozpylonej cieczy na opryskiwane obiekty.

8. Przedstawiony w pracy model wskaźnika stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów P_{sp} pozwala na ustalenie najodpowiedniejszego ustawienia rozpylacza w celu osiągnięcia największego stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów.

9. Uzyskane wyniki symulacji z wykorzystaniem modeli wskaźników W_{so} i P_{sp} przedstawiają rozkład cieczy jak i pokrycie. Na podstawie zaproponowanych modeli można przeprowadzić wstępną analizę wpływu przyjętych parametrów ustawienia rozpylacza na rozkład opadu cieczy. Bardzo kosztowne i pracochłonne badania empiryczne będą wówczas wykorzystane tylko do końcowej weryfikacji przyjętych parametrów pracy.

10. Uzyskane wyniki badań stanowią podstawę do przyszłych prac ukierunkowanych na doskonalenie konstrukcji belek opryskowych oraz opracowanie układów sterowania inteligentnymi opryskiwaczami polowymi realizującymi zasady rolnictwa precyzyjnego w ochronie roślin.

11. Badania przedstawione w niniejszej monografii powinny być kontynuowane. Obok rozwoju inteligentnych opryskiwaczy polowych dalsze prace powinny koncentrować się na badaniach równomierności dystrybucji cieczy roboczej i biologicznej skuteczności ochrony wybranych gatunków upraw polowych.

9. PIŚMIENNICTWO

- Abbaspour-Fard M.H., Daneshjoo A., Aghakhani M.H., Arian M., 2008. Introducing Easy to Use and Accurate Image Processing object Detection Algorithms Suitable for Sprayer Calibration and Other Similar Purposes. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 4(2), 199–204.
- Ade G., Molari G., Rondelli V., 2007. Recycling Tunnel Sprayer for Pesticide Dose Adjustment to the Crop Environment. *Trans. of the ASABE*, 50(1), 409–413.
- Ade G., Rondelli V., 2007. Performance of an air-assisted boom sprayer in the control of Colorado beetle infestation in potato crops. *Biosystems Engineering*, 97(2), 181–187.
- Agüera F., Aguilar F., Aguilar F.J., Aguilar M.A., Carvajar F., 2006. Atomization Characteristics of Hydraulic Nozzles Using Fractal Geometry. *Trans. of the ASABE*, 49(3), 581–587.
- Bahrouni H., Sinfort C., Hamza E., 2008. Evaluation of Pesticides Losses During Cereal Crop Spraying in Tunisian Conditions. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 4(2), 215–220.
- Balsari P., Marucco P., Tamagnone M., 2005. A System to Access the Mass Balance of Spray Applied to Tree Crops. *Trans. of the ASAE*, 48(5), 1689–1694.
- Balsari P., 2005. The International Standard Proposals in the Filed of Spray Application Techniques: State of the Art and Their Implications for Manufactureres. *Ann. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 29–39.
- Basista G., Kaczorowski J., Langman J., 2002. Charakterystyki hydrauliczne rozpylaczy płaskostrumieniowych jako parametr diagnostyczny. *Inżynieria Rolnicza*, 6 (36), 57–63.
- Bayat A., Soysal A., Serhan Sen A., 2008. A Survey Study on Inspection of Field and Air-Assisted Orchard Sprayers in Use. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 4(2), 209–214.
- Biller R.H., 1998. Reduced Input of Herbicydes by Use of Optoelektronic Sensors. *J. Agric. Engn. Res.*, 71, 357–362.
- Bolinteanu G., Matache M., Vladut V., Uceanu E., Voicea I., 2008. Procedure for Testing Field, Orchard and Vineyard Sprayers to Improve the Spray Distribution Uniformity. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 4(2), 205–208.
- Böhme A., 2003. Rechnergestzter Weinbau. *Landtechnik*, 3/2003, 144–145.
- Bottger H., Langer H., 2003. Neue Technik zur variablen Spritzmitteldosierung. *Landtechnik*, 3, 142–143.

- Braekman P., Sonck B., 2005. The Periodic Inspection of Sprayers in Flanders, Belgium as a Means to Instruct Farmers in the Maintenance of their Sprayer. *Annual Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 279–285.
- Brusselman E., Nuyttens D., Baetens K., Gabrielis W., Van Driessen K., Steurbaut W., 2005. Wind Tunnel Test with Different Tracers and Collection Techniques for the Measurement of Spray Drift. *Annual Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 303–312.
- Butler Ellis M.C., Swan T., Miler P.C.H., Waddelow S., Bradley A., Tuck C.R., 2002. Design Factors affecting Spray Characteristics and Drift Performance of Air Induction Nozzles. *Biosystems Engineering*, 82(3), 289–296.
- Carroll J.P., Holden N.M., 2005. A Method to Quantify Weed Distribution for Relating to Patch Spraying Systems. *Trans. of the ASAE*, 48(1), 27–35.
- Chojnacki J., 2006. Rozkład poprzeczny biologicznego środka ochrony roślin, 4, 13–20.
- Chojnacki J., 2007. Zjawiska termiczne w opryskiwaczu w aspekcie aplikacji biologicznych środków ochrony roślin. *Inżynieria Rolnicza*, 8(96), 37–42.
- Chojnacki J., 2008. Równomierność osadzania owadobójczych nicieni pod rozpylaczem szczelinowym. *Inżynieria Rolnicza*, 10(108), 25–30.
- Chojnacki J., 2008a. Ocena koncentracji owadobójczych nicieni w cieczy roboczej za pomocą komputerowej analizy obrazu. *Inżynieria Rolnicza*, 10(108), 31–38.
- Clijmans L., Swevers J., De Beardemaeker J., Ramon H., 2000a. Sprayer Boom Motion. Part 1: Derivation of the Mathematical Model using Experimental System Identification Theory. *J. Agric. Eng. Res.*, 76, 61–69.
- Clijmans L., Swevers J., De Beardemaeker J., Ramon H., 2000b. Sprayer Boom Motion. Part 2: Validation of the Effect of Boom Vibration on Spray Liquid Deposition. *J. Agric. Eng. Res.*, 76, 121–128.
- Cross J.V., Berrie A.M., 1993. Spray Deposits and efficacy of a Tunnel sprayer at three volume rates (50, 100, 200 l/ha) in comparison with an axial Fan sprayer (50 l/ha) on Apple. *A.N.P.P.-B.C.P.C. Strasbourg*, 273–280.
- Crowe G., Downey T.D., Ken Giles D., Slougher D.C., 2005a. An Electronic Sensor to Characterize Transient Response of Nozzle Injection for Pesticide Spraying. *Transactions of the ASAE*, 48(1), 73–82.
- Crowe T.G., Downey D., Giles D.K., 2005b. Digital Device and Technique for Sensing Distribution of Spray Deposition. *Trans. of the ASAE*, 48(6), 2085–2093.
- Cupiał M., 2007. Komputerowe wspomaganie chemicznej ochrony roślin przy pomocy programu „Herbicyd-2”. *Inżynieria Rolnicza*, 6(94), 21–25.
- Czaczyk Z., Gajtkowski A., 2001. Wpływ parametrów roboczych na jakość opryskiwania buraków (badania polowe). *Sci. Papers Agric. Univ. Pozn. Agricult. 2*, 3–11.
- Czaczyk Z., 2008. Tendencje w rozwoju opryskiwaczy. *Top Agrar*, 5/08, 122–126.
- Czaplicki E., 2003. Ponowna ocena „starych” substancji aktywnych w Unii Europejskiej. *Postępy Ochrony Roślin*, 43 (1), 69–77.
- Dahab M.H., Callaghan J.R., 1997. A Simulation Modelling Approach to the Management of Spray Treatments of Fungal Attacks on Wheat. *J. Agric. Eng. Res.*, 66, 287–293.
- Dammer H.H., Giebel A., Witzke K., Adamek R., 2002. Semsorgestützte Applikation von Pflanzenschutzmitteln. *Landtechnik*, 4/2002, 210–211.

- Delele M.A., De Moor A., Sonck H., Ramon H., Nicolai B.M., Verbowen P., 2005. Modelling and Validation of the Air Flow generated by a Cross Flow Air Sprayer as affected by Travel Speed and Fan Speed. *Biosystems Engineering*, 92(2), 165–174.
- Deprez K., Anthonis J., Ramon H., Van Brussel H., 2002a. Development of a Slow Active Suspension for Stabilizing the Roll of Spray Booms. Part 1: Hybrid Modelling. *Biosystems Engineering*, 81(2), 185–191.
- Deprez K., Anthonis J., Ramon H., Van Brussel H., 2002b. Development of a Slow Active Suspension for Stabilizing the Roll of Spray Booms, Part 2: Hybrid Modelling. *Biosystems Engineering*, 81(3), 273–279.
- Derksen R.C., Gray R.L., 1995. Deposition and Air Speed Patterns of Air-Carrier Apple Orchard Sprayers. *Trans. of the ASAE*, 38(1), 5–11.
- Derksen R.C., Zhu H., Fox D.R., Brazee D.R., Krause C.R., 2007. Coverage and Drift Produced by Air Induction and Conventional Hydraulic Nozzles Used for Orchard Applications. *Trans. of the ASABE*, 50(5), 1493–1501.
- Derksen R.C., Frantz J., Ranger C.M., Locke C., Zhu H., Krause C.R., 2008. Comparing Greenhouse Handgun Delivery to Poinsettias by Spray Volume and Quality. *Trans. of the ASABE*, 51(1), 27–35.
- Doruchowski G., Łabanowska B., Goszczyński W., 1995. Wpływ techniki opryskiwania na skuteczność zwalczania przędziorka chmielowca (*Tetranychus urticae* Koch) na czarnej porzeczce. *J. Fruit Ornament. Plant Res.*, 3(3), 103–113.
- Doruchowski G., 2008. Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. *Inżynieria Rolnicza*, 9(107), 19–31.
- Downey D., Crowe T.G., Crowe T.D.K., Giles D.C., Slaughter D.C., 2006. Direct Nozzle Injection of Pesticide Concentrate into Continuous Flow for Intermittent Spray Applications. *Trans. of the ASABE*, 49(4), 865–873.
- Dwiliński L., Pietrzyk J., 1999. Szacowanie nierównomierności oprysku. *Badania maszyn i urządzeń rolniczych*, 176, 5–14.
- Ehsani R., Lee K.-H., 2008. A Measurement System for Quantifying Citrus Foliage Volume and Porosity. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 4(4), 333–338.
- Farooq M., Salyani M., 2004. Modeling of Spray Penetration and Deposition on Citrus Tree Canopies. *Trans. of the ASAE*, 47(3), 619–627.
- Fietsam J.F.W., Young B.G., Steffen R.W., 2004. Differential Response of Herbicide Drift Reduction Nozzles to Drift Control Agents with Glyphosate. *Trans. of the ASAE*, 47(5), 1405–1411.
- Fife J.P., Özkan H.E., Derksen R.C., Grewal P.S., Krause C.R., 2005. Viability of a Biological Pest Control Agent through Hydraulic Nozzles. *Trans. of the ASAE*, 48(1), 45–54.
- Fife J.P., Özkan H.E., Derksen R.C., Grewal P.S., 2006. Using Computational Fluid Dynamics to predict Damage of a Biological Pesticide during Passage through a Hydraulic Nozzle. *Biosystems Engineering*, 94(3), 387–396.
- Forster W.A., Kimberley M.O., Zabkiewicz J.A., 2005. A Universal Spray Droplet Adhesion Model. *Trans. of the ASAE*, 48(4), 1321–1330.
- Fritz B.K., 2006. Meteorological Effects on Deposition and Drift of Aerially Applied Sprays. *Trans. of the ASABE*, 49(5), 1295–1301.

- Gajtkowski A., 1999. Wpływ parametrów pracy opryskiwacza na jakość opryskiwania jęczmienia jarego. *Roczniki AR Poznań. Rolnictwo*, z. 54(312), 21–28.
- Gajtkowski A., 2000. *Technika ochrony roślin*. Wyd. AR Poznań.
- Gajtkowski A., 2001a. Investigation of Drift Guard Flat Spray Tips- Spray Mikroparameters. *Sci. Papers Agric. Univ. Pozn. Agricult.*, 2, 49–57.
- Gajtkowski A., 2001b. Influence of Air Assistance on Spray Coverage of Wheat. *J. Plant Prot.*, 41 (4), 323–328.
- Gajtkowski A., 2001c. Spraying of Weat by Filed Sprayer Equipped with an Air Sleeve and drift Guard nozzles. *J. Plant Prot. Res.* vol. 41(3), 223–228.
- Gajtkowski A., 2002. The Spray coverage of Wheat with an Air Assisted Sprayer and Air Induction Nozzels ID. *J. Plant Prot. Res.* vol. 42(2), 173–180.
- Gajtkowski A., Czaczyk Z., 2001. Laboratory Tests on Beet Spraying Quality. *Sci. Papers Agric. Univ. Pozn. Agricult.*, 2, 59–67.
- Gan-Mor S., Matthews G.A., 2003. Recent Developments in Sprayers for Application of Biopesticides-an Overview. *Biosystem Engineering*, 84(2), 119–125.
- Ganzelmeier H., 2001. Trends bei der Pflanzenschutztechnik. *Landtechnik*, 6/2001, 378–380.
- Ganzelmeier H., 2003. Trends bei der Pflanzenschutztechnik. *Landtechnik*, 6/2003, 360–361.
- Giles D.K., Slaughter D.C., 1997. Precision Band Spraying with Machine-Vision Guidance and Adjustable Yaw Nozzles. *Trans. of the ASAE* vol. 40(1), 29–36.
- Giles D.K., Andersen P.G., Nilars M., 2002. Flow Control and Spray Cloud Dynamics from Hydraulic Atomizers. *Trans. of the ASAE*, 45(3), 539–546.
- Gillis K.P., Giles D.K., Sloughter D.C., Downey D., 2003. Injection Mixing System for Boomless, Target-Activated Herbicide Spraying. *Trans. of the ASAE*, 46(4), 997–1008.
- Godyń A., Hołownicki R., Doruchowski G., 2008. Ocena rozkładu cieczy opryskowej w sadzie jabłoniowym wykonana za pomocą papieru wodnoczułego. *Inżynieria Rolnicza*, 4(102), 299–305.
- Göhlich H., Westphal O., 1991. Zur Verminderung von Pflanzenschutzmittelverlusten. *Landtechnik*, 3/91, 113–115.
- Guler H., Zhu H., Özkan H.E., Derksen H.R.C., Yu Y., Krause C.R., 2007. Spray Characteristics and Drift Reduction Potential with Air Induction and Conventional Flat-Fan Nozzles. *Trans. of the ASABE*, 50(3), 745–754.
- Hewitt A.J., 2000. Spray drift modelling, labellig and management in the US. *Aspect Aplication Biol.*, 57, 11–19.
- Hoffmann W.C., Kirk I.W., 2005. Spray Deposition and Drift from Two Medium Nozzles. *Trans. of the ASAE*, 48(1), 5–11.
- Hollstein A., Biller R.H., 1997. Erkennung und gezielte Kontrolle von Unkraut. *Landtechnik*, 52(3), 292–293.
- Hołownia K., 2008. Oprysk na dużą skalę. *Farmer*, 4, 90–94.
- Hołownicki R., 2000. Nowe tendencje w technice ochrony roślin. *Racjonalna technika ochrony roślin, Mat. konf.*, 121–131.

- Hołownicki R., Doruchowski G., 2000. Variation of Spray Deposit and Loss with Air-jet Directions applied in Orchards. *J. Agric. Eng. Res.*, 77(2), 129–136.
- Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W., Jaeken P., 2002. Methods of Evaluation of Spray Deposit and Coverage on Artificial Targets. *Electronic J. Polish Agric. Universities*. 5(1), Ser. Agric. Eng. (www.ejpau.media.pl).
- Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W., Godyń A., 2004. VarioWindSelect System for Automatic Adjustment of Nozzle Typ to Wind Velocity in Order to Decrease Spray Drift in Orchard. 7th International Symposium on Technology Application in Horti- and Viticulturese, Stuttgart 10–11.05.2004, 36–42.
- Hołownicki R., 2006. Technika opryskiwania roślin dla praktyków. Plant press. ISBN 83-89874-50-4.
- Hołownicki R., Doruchowski G., 2006. Rola techniki opryskiwania w ograniczaniu skażenia środowiska środkami ochrony roślin. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 239–247.
- Hołownicki R., Doruchowski G., Godyń A., Świechowski W., 2006. Okresowa inspekcja opryskiwaczy w Polsce i w innych krajach UE. *Inżynieria Rolnicza*, 2(77), 35–44.
- Hołownicki R., 2008. Przed agrotechniką stoją nowe zadania. *Inżynieria Rolnicza*, 4(102), 13–24.
- Hołownicki R., 2009. Wyzwania dla techniki ochrony w obliczu nowej dyrektywy o zrównoważonym stosowaniu pestycydów. *Racjonalna technika ochrony roślin. Mat. konf.*, 12–20.
- Huyghebaert B., Bally G., i in., 2004. Wstępne badanie porównawcze rozpylaczy „anty-dryfowych”. *Inżynieria Rolnicza*, 3 (1), 159–166.
- Jaworska M., 2000. Ochrona środowiska rolniczego a zdrowie ludzi. VI Ogólnopolska Sesja Popularnonaukowa „Środowisko a zdrowie–2000”, 183–190.
- Jensen P.K., Spiliid N.H., 2005. Loss of Spray Liquid to the Soil below Cereal Crops as Related to Formulation, drop Size, Spray Angling, Travel Speed and Boom Height. *Annu. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 323–331.
- Jeon H.Y., Womac A.R., Gunn J., 2004a. Sprayer Boom Dynamic Effects on Application Uniformity. *Trans. of the ASAE*, 47(3), 647–658.
- Jeon H.Y., Womac A.R., Wilkerson J.B., Hart W.E., 2004b. Sprayer Boom Instrumentation for Field use. *Trans. of the ASAE*, 47(3), 659–666.
- Jiang C., Derksen R.C., 1995. Morphological Image Processing for Spray Deposit Analysis. *Trans. of the ASAE*, vol. 38(5), 1581–1591.
- Jumrych M., Rogalski L., 1995. Zastosowanie karty obrazu Frame Grabber VFG 512 do analizy oprysków w ochronie roślin. *Zesz. Post. Nauk Rol.*, 426, 93–100.
- Kamionka J., 2001. Dobry opryskiwacz to warunek precyzyjnej ochrony roślin. *Więś Jutra*, 9, 42–44.
- Kamionka J., 2002. Wpływ stanu technicznego opryskiwacza na skuteczność oprysku. *Więś Jutra*, 5, 45–46.
- Kennes P., Ramon H., De Baerdemaeker J., 1999. Modelling the Effect of Passive Suspensions on the Dynamic Behaviour of Sprayer Booms. *J. Agric. Eng. Res.*, 72, 217–239.

- Kierzek R., 2001. Zwalczenie chwastów w zbożach – ważna technika opryskiwania. *Agrochemia*, 4(493), 29–32.
- Kierzek R., 2002. Wpływ wielkości kropeł wytwarzanych przez różne rozpylacze na skuteczność zwalczania chwastów w jęczmieniu jarym. *J. Plant. Prot. Res.*, 42(1), 23–35.
- Kierzek R., 2003. Wpływ doboru rozpylaczy na skuteczność zabiegów. *Agrochemia*, 1(493), 24–28.
- Kierzek R., 2008a. Poprawić jakość oprysku. *Top Agrar*, 5/08, 68–71.
- Kierzek R., 2008b. Wiele rozpylaczy, jeden oprysk. *Top Agrar*, 7–8/08, 118–121.
- Kierzek R., Wachowiak M., 2009. Wpływ techniki ochrony roślin na skuteczność wykonywanych zabiegów. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 75–81.
- Koszel M., Sawa J., 2005. Wpływ zużycia rozpylaczy płaskostrumieniowych na wielkość śladów kropeł. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 17–23.
- Koszel M., 2006. Badania stanu technicznego rozpylaczy płaskostrumieniowych użytkowanych w warunkach polowych. *Inżynieria Rolnicza*, 12(87), 259–265.
- Koszel M., Sawa J., 2006. Wpływ parametrów pracy rozpylaczy płaskostrumieniowych na spektrum śladu kropeł. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 313–319.
- Koszel M., Hanusz Z., 2008. Porównawcza analiza natężenia wypływu cieczy z rozpylaczy płaskostrumieniowych. *Inżynieria Rolnicza*, 1(8), 195–199.
- Kośmicki Z., 2008. Kierunki rozwoju techniki rolniczej. *Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna*, 1, 6.
- Krause C.R., Zhu H., Zhu H., Fox R.D., Brazee R.D., Derksen R.C., Horst L.E., Zondag R.H., 2004. Detection and Quantification of Nursery Spray Penetration and Off-Target Loss with Electron Beam and Conductivity Analysis. *Trans. of the ASAE*, 47(2), 375–384.
- Krawczyk R., Kaczmarek S., Mrówczyński M., 2008. Rolnictwo zrównoważone – nowe technologie a problematyka zachwaszczenia. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 25–32.
- Krishnaswamy M., Krishnan P., 2002. Nozzle Wear Rate Prediction using Regression and Neural Network. *Biosystems Engineering*, 82(1), 53–64.
- Kuna-Browniowski M., Plichta D., 2005. Instrument wirtualny do oceny poprzecznego rozkładu rozpylonej strugi w opryskiwaczach rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*, 8(68), 197–202.
- Kurfess W., Grutberlett B., Kleisinger S., 1999. Heisswasser auf Unkrautpflanzen. *Landtechnik*, 3/99, 148–149.
- Langenakens J.J., Ramon H., De Beardemaeker J., 1995. A Model for Measuring the Effect of Tire Pressure and Driving Speed on Horizontal Sprayer Boom Movements and Spray Pattern. *Trans. of the ASAE*, 38(1), 65–72.
- Langenakens J.J., Clijmans L., Ramon H., De Beardemaeker J., 1999. The Effects of Vertical Sprayer Boom Movements on the Uniformity of Spray Distribution. *J. Agric. Eng. Res.*, 74, 281–291.
- Langman J., Pedryc N., 2006. Skaner do badania rozkładu poprzecznego strugi rozpylaczy płaskostrumieniowych. *Inżynieria Rolnicza*, 13(88), 287–294.

- Langman J., Pedryc N., 2008. Diagnostyka rozpylacza polowego w czasie rzeczywistym. *Inżynieria Rolnicza*, 10(108), 167–173.
- Langner H.R., 2003. Teilflächenspezifische Ausbringung von Fungiziden und Herbiziden. *Landtechnik*, 3/2003, 384–385.
- Lardoux Y., Sinfort C., Enfaltand P., Sevilla F., 2007a. Test Method for Boom Suspension Influence on Spray Distribution. Part I: Experimental Study of Pesticide Application under a Moving Boom. *Biosystems Engineering*, 96(1), 29–39.
- Lardoux Y., Sinfort C., Enfaltand P., Sevilla F., 2007b. Test Method for Boom Suspension Influence on Spray Distribution. Part II: Validation and Use of a Spray Distribution Model. *Biosystems Engineering*, 96(2), 161–168.
- Lipiński A., Choszcz D., Konopka S., 2007a. Rozkład poprzeczny cieczy dla rozpylaczy syngenta potato nozzle. *Inżynieria Rolnicza*, 9(97), 143–148.
- Lipiński A., Choszcz D., Konopka S., 2007b. Ocena rozpylaczy do oprysku ziemniaków w aspekcie równomierności pokrycia roślin cieczą. *Inżynieria Rolnicza*, 9(97), 135–142.
- Liu Q., Cooper S.E., Qi L., Fu Z., 2006. Experimental Study of Droplet Transport Time between Nozzles and Target. *Biosystems Engineering*, 95(2), 151–157.
- Lodwik D., 2004. Wyznaczenie wskaźnika poprzecznej nierównomierności oprysku metodą symulacji komputerowej. *Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna*, 2, 19–24.
- Marphy D.S., Miller P.C.H., Parkin C.S., 2000. The Effect of Boom Section and Nozzle Configuration on the Risk of Spray Drift. *J. Agric. Eng. Res.*, 75, 127–137.
- Matthews G., 2005. Plant Protection Technique-Successes and Failures of Past Century and Challenges for Coming Decades. *Annu. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 21–28.
- Michalak G., 2004. Ocena wpływu kąta strugi emitowanej z rozpylaczy płaskostrumieniowych na nierównomierność poprzeczną oprysku. *Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna*, 3, 20–22.
- Miszczak M., 1997. Hardi Commander-Twin na tle światowych trendów w budowie opryskiwaczy. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 5/97, 13–15.
- Molari G., Benini L., Ade G., 2005. Design of a Recycling Tunnel Sprayer Using CFD Simulations. *Trans. of the ASAE*, 48(2), 463–468.
- Mostade O., Huyghebaert B., Miserque O., Sawa J., 2002. Iniekcyjne dozowanie pestycydów w opryskiwaczach rolniczych. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria*, 1(2), 13–21.
- Mrówczyński M., Roth M., 2009. Zrównoważone stosowanie środków ochrony roślin. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 93–97.
- Mulugeta E., Geyer M., Oberbarnscheidt B., 2002. Entwicklung von Waschdüsen für eine effizientere Gemüsewasche. *Landtechnik*, 4/2002, 220–221.
- Mulugeta E., Geyer M., Oberbarnscheidt B., 2003. Düsen für die Gemüsewasche. *Landtechnik*, 4/2003, 256–257.
- Nowakowski T., 2005a. Metody ograniczenia znoszenia cieczy podczas ochrony roślin. *Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna*, 5, 14–16.
- Nowakowski T., 2005b. System Släpduk – skuteczna ochrona roślin. *Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna*, 11, 6–10.

- Nowakowski T., 2007. Współdziałanie wybranych parametrów oprysku na współczynnik zmienności rozkładu poprzecznego cieczy. *Inżynieria Rolnicza*, 3(91), 135–141.
- Nowakowski T., Chlebowski J., 2008. Wpływ ciśnienia cieczy i konstrukcji rozpylaczy płaskostrumieniowych na kąt rozpylenia. *Inżynieria Rolnicza*, 1(99), 319–323.
- Nuyttens D., Windey S., Sonck B., 2004. Optimisation of a Vertical Spray Boom for Greenhouse Spray Applications. *Biosystems Engineering*, 89(4), 417–423.
- Nuyttens D., Baetens K., De Schampheleire M., Sonck B., 2007a. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*, 97(3), 333–345.
- Nuyttens D., De Schampheleire M., De Schampheleire D., Baetens K., Sonck B., 2007b. The Influence of Operator-Controlled Variables on Spray Drift from Field Crop Sprayers. *Trans. of the ASABE*, 50(4), 1129–1140.
- Olszak R.W., 1994. Koncepcja integracji metod ochrony roślin – twórcza idea czy racjonalna konieczność. *Ochrona Roślin*, 11, 12–13.
- Olszak R.W., Pruszyński S., Naerot J., 2003. Chemiczna ochrona roślin a ochrona środowiska – stan obecny i przyszłość. *Postępy w ochronie roślin*, 43(1), 305–309.
- Orzechowski Z., Prywer J., 1991. Rozpylanie cieczy. WNT, Warszawa.
- Orzechowski Z., Prywer J., 2008. Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy. WNT, Warszawa.
- Oszmiańska M., Mielczarek M., 2006. Ochrona środowiska w gospodarstwach chłopskich. *Zesz. Nauk. AR Wroc. Rol.*, 540, 409–414.
- Özkan H.E., 2008. Technological Solution to Problems Associated with Application of Pesticides. *J. of Agric. Machin. Science*, 4(2), 193–198.
- Panneton B., Piché M., 2005. Interaction Between Application Volume, Airflow, and Spray Quality in Air-Assisted Spraying. *Trans. of the ASAE*, 48(1), 37–44.
- Parloo E., Guillaume P., Anthonis J., Heylen W., Swevers J., 2003a. Modelling of Sprayer Boom Dynamics by Means of Maximum Likelihood Identification Techniques. Part I. Comparison of Input-output and Output-only Modal Testing. *Biosystems Engineering*, 85(2), 163–171.
- Parloo E., Guillaume P., Anthonis J., Heylen W., Swevers J., 2003b. Modelling of Sprayer Boom Dynamics by Means of Maximum Likelihood Identification Techniques. Part 2. Sensitivity – based Mode Shape Normalisation. *Biosystems Engineering*, 83 (3), 291–298.
- Pergher G., Zucchiatti N., Gubiani R., 1999. Influence of Application Parameters on Deposition in an Asparagus Crop. *J. Agric. Eng. Res.*, 73, 19–28.
- Phillips J.C., Miller P.C.H., 2000. Field and Wind Tunnel Measurements of the Airborne Spray Volume Downwind of Single Flat-fan Nozzles. *J. Agric. Eng. Res.*, 72, 161–170.
- Planas S., Solanelles F., Fillat A., 2002. Assessment of Recycling Tunnel Sprayer in Mediterranean Vineyards and Apple Orchards. *Biosystem Engineering*, 82(1), 45–52.
- Pochi D., Vannucci D., 2001. Laboratory Evaluation of Angular Potentiometers for measuring Spray Boom Movements. *J. Agric. Eng. Res.*, 80(2), 153–161.

- Pochi D., Vannucci D., 2002. A System with Potentiometric Transducers to Record Spray Boom Movements under Operating Conditions. *Biosystems Engineering*, 82(4), 393–406.
- Pruszyński S., 2003a. Światowy rynek środków ochrony roślin – zmiany i tendencje. *Ochrona roślin*, 5, 6–8.
- Pruszyński S., 2003b. Ochrona roślin – spojrzenie w przyszłość. *Racjonalna technika ochrony roślin*, Mat. konf. 4, 5–16.
- Pruszyński S., 2005. Plant protection in Poland: Past, present and future. *Ann. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 11–20.
- Ramon H., Anthonis J., Moshou D., De Baerdemaeker J., 1998. Evaluation of a Cascade Compensator for Horizontal Vibrations of a Flexible Spray Boom. *J. Agric. Eng. Res.*, 71, 81–92.
- Ramon H., De Baerdemaeker J., 1995. Using Principal Gains for Evaluating and Optimizing the Performance of Sprayer. *Trans. of the ASAE*, 38(5), 1327–1333.
- Ramon H., De Baerdemaeker J., 1997a. Spray Boom and Spray Distribution. Part 1. Derivation of a Mathematical Relation. *J. Agric. Eng. Res.*, 66, 23–29.
- Ramon H., De Baerdemaeker J., 1997b. Spray Boom and Spray Distribution. Part 2. Experimental Validation of the Mathematical Relation and Simulation Results. *J. Agric. Eng. Res.*, 66, 31–39.
- Richardson B., Thistle H.W., 2006. Measured and Predicted Aerial Spray Interception by a Young *Pinus Radiata* Canopy. *Trans. of the ASABE*, 49(1), 15–23.
- Rietz S., Ganzelmeier H., 1994. Elektronische Regeleinrichtungen für Feldspritzgeräte. *Landtechnik und Pflanzenbau*, 6, 345–350.
- Ringel R., Andersen G., 1991. Trägerluftunterstützung an Feldspritzen. *Landtechnik*, 3/91, 116–118.
- Rocamora M.C., Val L., Pérez M., 2002. Modelling the Performance of Air-assisted Spraying on Artichoke. *Biosystems Engineering*, 81(4), 385–393.
- Rogalski L., 1996. Wpływ techniki opryskiwań nawozowo-pestycydowych na zagrożenia powodowane przez agrotechnologie. *Problemy Inżynierii Rol.*, 4(1), 47–54.
- Roszkowski A., Zasiewski P., 2003. Nowe techniki ochrony roślin. *Przegląd Techniki Rolniczej*, 3, 8–11.
- Rowiński R.S., 1994. *Agrolotnictwo*. Wyd. ART Olsztyn.
- Rowiński R.S., 2002. Kwestie standaryzacji metod w badaniach nad znoszeniem. *Racjonalna technika ochrony roślin*, Mat. konf., 3, 94–103.
- Rut J., Szwedziak K., 2008. Zastosowanie akwizycji obrazu do szacowania strat w uprawie ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 7(105), 179–184.
- Sadło J., Surma M., 2000a. Ekologiczna ocena układu hydraulicznego opryskiwacza polowego. *Inżynieria Rolnicza*, 6(17), 241–246.
- Sadło J., Surma M., 2000b. Poprawa cech ekologicznych opryskiwacza polowego. *Inżynieria Rolnicza*, 6(17), 247–253.
- Salyani M., Sweeb R.D., Farooq M., 2006. Comparison of String and Ribbon Samplers in Orchard Spray Applications. *Trans. of the ASAE*, 49(6), 1705–1710.
- Salyani M., Farooq M., Sweeb R.D., 2007. Spray Deposition and Mass Balance in Citrus Orchard Applications. *Trans. of the ASAE*, 50(6), 1963–1969.

- Sawa J., Kubacki K., Huyghebaert B., 2001. Equivalence of the Criteria of Assessing Results of Tests on Legalizing Crop Sprayers. *Electronical J. Polish Agr. Univ., Agricultural Engineering*, Volume 4, Issue 2.
- Sawa J., Huyghebaert B., Mostade O., Miserque O., 2002. Ekologiczne i techniczne ograniczenia w obowiązkowych badaniach opryskiwaczy rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*, 6(39), 43–50.
- Sawa J., Kubacki K., Huyghebaert B., 2002a. Metodyczne ograniczenia w obowiązkowych badaniach opryskiwaczy. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4(38), 17–25.
- Schmider F., 2008. Stop ochronie w UE? *Top Agrar*, 7–8/08, 162–165.
- Sidahmed M.M., Brown R.B., 2001a. Simulation of Spray Dispersal and Deposition from a Forestry Airblast Sprayer – Part I. Air Jet Model. *Trans. of the ASAE*, 44(1), 5–10.
- Sidahmed M.M., Brown R.B., 2001b. Simulation of Spray Dispersal and Deposition from a Forestry Airblast Sprayer – Part II. Dropelt Trajectory Model. *Trans. of the ASAE*, 44(1), 11–17.
- Sidahmed M.M., Awadalla H.H., Haidar M.A., 2004. Symmetrical Multi-foil Shields for reducing Spray Drift. *Biosystems Engineering*, 88(3), 305–312.
- Spugnoli P., Vieri M., 1998. Operational risk assessment of sprayers by environmental impact analysis. *Journal Agricultural Engineering Research*, 71(4), 405–414.
- Stadler R., Regenauer W., 2005. Drift Studies in Wind Tunnel. *Ann. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 314–321.
- Steward B.L., Tian L.F., Tang L., 2002. Distance-Based Control System For Machine Vision-Based Selective Spraying. *Trans. of the ASAE*, 45(5), 1255–1262.
- Szewczyk A., Sadło J., 1996. Badania opryskiwacza Pilmet 2-412 z zastosowaniem multikontrolera MC-92. *Rocz. AR Poznań*, 49, 241–249.
- Szewczyk A., 1998. Wpływ parametrów pracy opryskiwacza na położenie belki polowej w płaszczyźnie pionowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 454, Cz. 1, 201–206.
- Szewczyk A., 1999. Wpływ nachylenia belki polowej opryskiwacza na rozkład poprzeczny rozpylonej strugi dla wybranych rozpylaczy. *Inżynieria Rolnicza*, 5(11), t. I, 263–268.
- Szewczyk A., 2001. Badania techniczne opryskiwaczy – krok w kierunku postępu technologicznego w polskim rolnictwie. *Więś Jutra*, 2, 14–17.
- Szewczyk A., 2002. The impact of sprayer work parameters on field beam position in a vertical plane for some tractor-attached sprayers. *Maintenance and Reliability PAN Lublin*, 3(15), 13–18.
- Szewczyk A., Wilczok G., 2007. Teoretyczny i rzeczywisty rozkład cieczy dla wybranych parametrów ustawienia rozpylacza. *Inżynieria Rolnicza*, 9(96), 265–271.
- Szewczyk A., Wilczok G., 2008. Teoretyczny opis rozkładu rozpylonej cieczy w warunkach działania czołowego strumienia powietrza. *Inżynieria Rolnicza*, 5(103), 292–299.
- Szewczyk A., Wilczok G., 2008. Położenie belki polowej opryskiwacza a rozkład przestrzenny rozpylonej cieczy i pokrycie opryskiwanych powierzchni. *Eksploatacja i niezawodność*, 1(37), 57–60.

- Szulc T., 1996. Badania nad doborem końcówek rozpylających opryskiwaczy polowych i wpływ ich zużycia na jakość oprysku. *Prace PIMR*, 41(4), 6–66.
- Szulc T., 1997. Wpływ zmian eksploatacyjnych końcówek rozpylających opryskiwaczy polowych na jakość oprysku w aspekcie negatywnych oddziaływań ekologicznych. Cz. 2. *Prace PIMR*, 42(4), 8–9.
- Świechowski W., Hołownicki R., Doruchowski G., Godyń A., 2006. Porównanie metod oceny rozpylaczy płaskostrumieniowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4, 5–12.
- Tadel E., 2002a. Kupuję nowy opryskiwacz. *Top Agrar Polska*, 3, 148–153.
- Tadel E., 2002b. Nowoczesna technika opryskiwania roślin pestycydami. *Zesz. Nauk. AR Kraków. Sesja Naukowa*, 82(387), 45–51.
- Thorp K.R., Tian L.F., 2004. Performance Study of Variable-rate Herbicide Applications based on Remote Sensing Imagery. *Biosystems Engineering*, 88(1), 35–47.
- Tian L., Zheng J., 2000. Dynamic Deposition Pattern Simulation of Modulated Spraying. *Trans. of the ASAE*, 43 (1), 5–11.
- Tsay J., Ozkan H.E., Brazee R.D., Fox R.D., 2002a. CFD Simulation of Moving Spray Shields. *Trans. of the ASAE*, 45(1), 21–26.
- Tsay J., Fox R.D., Ozkan H.E., Brazee R.D., Derksen R.C., 2002b. Evaluation of a Pneumatic -Shielded Spraying System by CFD Simulation. *Trans. of the ASAE*, 45 (1), 47–54.
- Tsay J., Özkan H.E., Fox R.D., Brazee R.D., 2002c. CFD Simulation of Mechanical Spray Shields. *Trans. of the ASAE*, 45(5), 1271–1280.
- Tsay J.R., Liang L.S., Lu L.H., 2004. Evaluation of an Air-Assisted Boom Spraying System under a No-Canopy Condition Using CFD Simulation. *Trans. of the ASAE*, 47(6), 1887–1897.
- Ucar T., Özkan H.E., Fox R.D., Brazee R.D., Derksen R.C., 2000. Experimental Study of Jet Agitation Effects on Agrochemical Mixing in Sprayer Tanks. *J. Agric. Eng. Res.*, 75, 195–207.
- Ustawa o Ochronie Roślin z dnia 18 grudnia 2003 Dz. U. z 2004 r. Nr 11, poz. 94.
- Van de Zande J.C., Stallinga H., Michielsen J.M.G.P., Van Velde P., 2005a. Effect of Sprayer Speed on Spray Drift. *Annu. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 129–142.
- Van de Zande J.C., Stallinga H., Michielsen J.M.G.P., Van Velde P., 2005b. Introduction of Släpduk in the Netherlands. *Annu. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 205–215.
- Van de Zande J.C., Achten V.T.J.M., 2005. Precision Agriculture in Plant Protection Technique. *Annu. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 218–228.
- Wachowiak M., 1998. Badanie rozkładu poprzecznego cieczy w opryskiwaczach polowych i urządzenia służące do tego celu. *Pr. Przem. Inst. Masz. Rol.*, 43(2), 51–53.
- Wachowiak M., 2003. Opryskiwacze rękawowe w ochronie upraw polowych. *Agrochemia*, 6(498), 19–22.
- Walklate P.J., Cross J.V., Richardson G.M., Murray R.A., Baker D.E., 2002. Comparison of Different Spray Volume Deposition Models Using LIDAR Measurements of Apple Orchards. *Biosystems Engineering*, 82(3), 253–267.

- Wartenberg G., 2000. Teilflächenspezifische Spritzen von Pflanzenschutzmitteln. *Landtechnik*, 6/2000, 438–439.
- Wenneker M., Heijne B., Van De Zande J.C., 2005. Effect of Air Induction Nozzle (Coarse Groplet), Air Assistance and One-Sided Spraying of the Outer Tree Row on Spray Drift in Orchard Spraying. *Ann. Rev. of Agric. Eng.*, 4(1), 115–128.
- Wenneker M., Heijne B., Van De Zande J.C., 2006. Ograniczenie znoszenia cieczy podczas opryskiwania sadów w Holandii. *Racjonalna technika ochrony roślin. Mat. konf.*, 6, 163–176.
- Westphal O., Göhlich H., 1998. Sehendes Spruhgerät. *Landtechnik*, 5/98, 298–299.
- Wolf P., Herbst A., Ganzelmeier H., 2001. Dynamische Verteilungsqualität von Feldspritzgeräten. *Landtechnik*, 1/2001, 20–21.
- Womac A.R., Bui Q.D., 2002. Design and Test of Variable-flow Fan Nozzle. *Trans. of the ASAE*, 45(2), 287–295.
- Womac A.R., Valcore D.L., Maynard I.R.A., 2002. Variable-Concentration Direct Injection from Fixed-Ratio Diluent-Driven Pumps. *Trans. of the ASAE*, 45(6), 1721–1728.
- Womac A.R., Smith C.W., Mulrooney J.E., 2004. Foliar Spray Banding Characteristics. *Trans. of the ASAE*, 47(1), 37–44.
- www.garmin.com
- www.krukowiak.pl
- Zasiewski P., 2001. Kryteria i dobór optymalnych parametrów pracy opryskiwaczy ciągnikowych. Cz. 1. Opryskiwacze polowe. *Racjonalna technika ochrony roślin. Mat. konf.*, 191–197.
- Zhu H., Rowland D.L., Dorner J.W., Derksen R.C., 2002. Influence of Plant Structure, Orifice Size and Nozzle Inclination on Spray Penetration into Peanut Canopy. *Trans. of the ASAE*, 45(5), 1295–1301.
- Zhu H., Brazee R.D., Derksen R.C., Fox R.D., Krause R.C., Ozkan K., 2006a. A Specially Designed Air-Assisted Sprayer to Improve Spray Penetration and Air Jet Velocity Distribution Inside Dense Nursery Crops. *Trans. of the ASABE*, 49(5), 1285–1294.
- Zhu H., Derksen R.C., Guler C.R., Krause C.R., Özkan H.E., 2006b. Foliar Deposition and Off-Target Loss with Different Spray Techniques in Nursery Application. *Trans. of the ASABE*, 49(2), 325–334.

Analysis of the setting, parameters and working conditions of a nozzle and quality of spray application in field crops

S u m m a r y

During the operation of field sprayer the spray boom can change position in vertical plane, perpendicular and parallel to the axis of the sprayer or turn round its own axis. Each change of boom position alters the orientation of the nozzle's spray jet in relation to the treated surface. This considerably affects the pattern of spray distribution and spray coverage on the treated surface. The spray distribution and coverage are the basic indicators of the spray application quality and they determine the pesticide deposition on the protected crop and efficacy of the treatment.

The objective of this study was to determine the influence of working conditions and parameters, and nozzle setting in relation to the treated surfaces on the quality of the spray application. The quality of application was evaluated based on the spray distribution and spray coverage on the treated surfaces.

The guidelines of this investigation include finding the relationships between the studied indicators of application quality and independent variables rather than determining absolute values of this indicators.

The investigations were divided into three parts: laboratory tests, field tests and theoretical elaboration. During the laboratory tests the spray distribution and coverage were measured for the following independent variables: nozzle height, asymmetry of spray, different setting of the nozzle in relation to the treated surfaces, liquid pressure and airflow velocity.

Evaluation of spray distribution included determining the indices of transverse distribution CV (coefficient of variation) and longitudinal distribution W_{so} . During the spray coverage tests the index of coverage P_{sp} was determined as affected by selected independent variables.

The field tests were to verify the results and conclusions of the lab tests. These tests were carried out on low crop, being wheat in early growth stage, and high crop, a wheat at the late growth stage.

In the third part of this investigations the mathematical models of spray distribution and spray coverage were developed. The relationship between the spray distribution index W_{so} and spray coverage index P_{sp} was found.

The statistical analysis proved that the developed models enabled determining the quality of the treatment with a fair proximity.

The results of the investigations showed that the longitudinal spray distribution and the spray coverage on the treated surfaces are influenced by deflection of nozzles towards driving direction of the sprayer, which reduces the effect of the air flow caused by sprayer movement and wind.

Key words: sprayer, nozzle, spray jet, psterator, air tunnel, spray cover, spray distribution, deflection angle of nozzle, air flow.

Analiza ustawienia, parametrów i warunków pracy rozpylacza w aspekcie jakości opryskiwania upraw polowych

Streszczenie

Belka polowa jest najważniejszym podzespołem opryskiwacza polowego. Podczas pracy może zmieniać swoje położenie w płaszczyźnie pionowej prostopadłej i równoległej do osi symetrii opryskiwacza oraz wykonywać ruchy skrętne wokół własnej osi. Każda zmiana położenia belki zmienia ustawienia rozpylonej strugi rozpylacza w stosunku do opryskiwanych powierzchni, co ma negatywny wpływ na rozkład objętościowy opadu rozpylonej cieczy oraz stopień pokrycia opryskiwanych obiektów. Rozkład opadu cieczy oraz stopień pokrycia są podstawowymi wskaźnikami jakości opryskiwania i decydują o naniesieniu pestycydu na chronioną uprawę i skuteczności zabiegu.

Celem pracy było określenie wpływu wiatru i parametrów pracy oraz ustawienia belki polowej w stosunku do opryskiwanych powierzchni na jakość opryskiwania. Jakość opryskiwania oceniano na podstawie rozkładu objętościowego opadu rozpylonej cieczy i stopnia pokrycia opryskiwanych obiektów.

Przyjęte założenia badawcze nie obejmowały określenia absolutnych wartości badanych wskaźników jakości opryskiwania, ale wyznaczenia ich zależności od przyjętych w badaniach zmiennych niezależnych.

Publikacja została podzielona na trzy części; badania laboratoryjne, badania polowe i opracowania teoretyczne. W badaniach laboratoryjnych przeprowadzono pomiary rozkładu objętościowego opadu cieczy i stopnia pokrycia dla najważniejszych czynników wpływających na jakość zabiegu, były to: wysokość i asymetria rozpylania, różne ustawienia rozpylacza w stosunku do opryskiwanych obiektów, ciśnienie robocze i prędkość strumienia powietrza. Badania rozkładu opadu rozpylonej cieczy obejmowały wyznaczenie wskaźników rozkładu poprzecznego CV i podłużnego W_{so} . W ocenie stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni wyznaczono wskaźnik stopnia pokrycia P_{sp} dla wybranych zmiennych niezależnych.

Druga część pracy została poświęcona badaniom w warunkach polowych, które stanowiły weryfikację wyników i wniosków uzyskanych podczas badań laboratoryjnych. Badania te przeprowadzono w warunkach opryskiwania uprawy niskiej, którą była pszenica w fazie krzewienia oraz w warunkach uprawy wysokiej, opryskując pszenicę w fazie pełnego wzrostu.

W trzeciej części monografii opracowano modele statystyczno-matematyczne opadu rozpylonej cieczy oraz stopnia pokrycia opryskiwanych powierzchni. Wyznaczono również wzajemną zależność opracowanych wskaźników opadu W_{so} i stopnia pokrycia P_{sp} . Zgodnie z przeprowadzoną analizą statystyczną wyznaczone modele umożliwiają przybliżone określenie jakości opryskiwania.

Na podstawie analizy wyników badań można stwierdzić, że na rozkład podłużny rozpylonej cieczy i stopień pokrycia opryskiwanych powierzchni ma dodatni wpływ wychylenie rozpylacza w kierunku ruchu opryskiwacza, ograniczając w ten sposób niekorzystny wpływ strumienia powietrza wynikający z ruchu opryskiwacza i wiatru atmosferycznego.

słowa kluczowe: opryskiwacz, rozpylacz, rozpylona struga, stół rowkowy, tunel aerodynamiczny, stopień pokrycia, rozkład opadu, kąt odchylenia rozpylacza, strumień powietrza.