

ESTIMATION OF DECREASE IN VIABILITY OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES IN SPRAYERS INSTALLATION

Summary

*Occurring in sprayer installation losses of an entomopathogenic nematodes weaken the effectiveness of pest control containing them biological agents. Regression equation, describing the viability of the entomopathogenic nematodes *Steinernema feltiae*, in a sprayer tank was determined. Changes of the entomopathogenic nematodes viability, depending on a liquid pressure, pump capacity and liquid outflow rates from the sprayer, was evaluated by means of the mathematical formulas.*

SZACOWANIE SPADKU PRZEŻYWALNOŚCI OWADOBÓJCZYCH NICIENI W INSTALACJI OPRYSKIWACZA

Streszczenie

*Straty owadobójczych nicieni występujące w instalacji opryskiwacza osłabiają skuteczność zawierających je biologicznych środków ochrony roślin w zwalczaniu szkodników. Wyznaczono równanie regresji opisujące przeżywalność owadobójczych nicieni *Steinernema feltiae* w zbiorniku opryskiwacza. Za pomocą matematycznych formuł oszacowano zmiany wartości przeżywalności względnej nicieni w zależności od ciśnienia cieczy, wydajności pompy i natężenia wypływu cieczy z opryskiwacza.*

1. Wstęp

Na świecie istnieje już duża liczba odkrytych pożytecznych organizmów, które mogą być stosowane jako biologiczne środki ochrony roślin w rolnictwie organicznym i które są alternatywą dla chemicznych środków w rolnictwie tradycyjnym [25, 30]. Większość z biologicznych czynników ochrony roślin zawierających żywe organizmy może być mieszana z cieczą, a opryskiwacze mogą być stosowane do ich aplikacji [22]. Dotyczy to wirusów, bakterii, grzybów, jaj pożytecznych owadów oraz owadobójczych nicieni. Stosowanie opryskiwaczy do aplikacji żywych organizmów, w tym owadobójczych nicieni, może powodować śmiertelne ich uszkodzenie i osłabienie skuteczności wykonywanych zabiegów [29]. Opracowanie metod umożliwiających oszacowanie strat nicieni w opryskiwaczach pozwoli na optymalny dobór parametrów pracy opryskiwaczy podczas wykonywania zabiegów.

Straty żywych czynników zawartych w środku ochrony roślin można mierzyć za pomocą ich przeżywalności względnej. Wyznacza się ją z prób według formuły:

$$V = \frac{N_l}{N_t} \cdot 100, \quad (1)$$

gdzie:

V – przeżywalność względna [%],

N_l – liczba żywych osobników,

N_t – całkowita liczba osobników.

$$N_t = N_l + N_d, \quad (2)$$

gdzie:

N_d – liczba martwych osobników.

Biologiczne środki zawierające żywe organizmy zawierają również substancje, które pozwalają przeżyć organi-

zmom w czasie ich przechowywania, transportu oraz podczas aplikacji. Występują one najczęściej w postaci proszków lub żeli [21]. W procesie mieszania z dodatkami larw nicieni część z nich jest uszkodzana i ginie. Larwy nicieni mogą ginąć również w czasie przechowywania zawierającego je biopreparatu. Powoduje to, że przed aplikacją środki ochrony roślin, w których znajdują się żywe organizmy, charakteryzują się przeżywalnością początkową nie zawsze równą 100%. Po wykonaniu zabiegu i ocenieniu przeżywalności końcowej jego składników (w próbach zawierających rozpraszany preparat) można obliczyć spadek przeżywalności względnej na podstawie wzoru:

$$\Delta V = V_o - V_k, \quad (3)$$

gdzie:

ΔV – spadek przeżywalności względnej [%],

V_o – początkowa przeżywalność względna organizmów w biopreparacie [%],

V_k – przeżywalność względna organizmów w biopreparacie po opuszczeniu urządzenia [%].

W opryskiwaczu przeżywalność składników biopreparatu będzie się zmieniać w trakcie przemieszczania się ich wraz z zawierającą je cieczą przez elementy instalacji. Ciecz przepływa z różnymi prędkościami przez główne części instalacji takie jak pompa, zawór regulacyjny, mieszadło, zbiornik. Schemat typowego układu hydraulicznego opryskiwacza przedstawiony został na rys. 1. Po opuszczeniu zbiornika część cieczy kierowana jest do rozpylaczy, a część cieczy wraca do zbiornika. W rozpylaczach, przez które ciecz przepływa jednokrotnie, efekt zniszczenia nicieni może być tak mały, że spadek ich przeżywalności może być trudny do wyznaczenia [9, 12, 28]. Bilans natężenia przepływu cieczy przez układ hydrauliczny opryskiwacza można opisać równaniem (4):

$$q_o = q + q_m + q_p, \quad (4)$$

gdzie:

q_o – wydajność pompy [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

q – natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza przez rozpylacze [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

q_m – natężenie cieczy wracającej do zbiornika poprzez mieszadło hydrauliczne [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

q_p – natężenie cieczy wracającej do zbiornika poprzez zawór regulacyjny [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

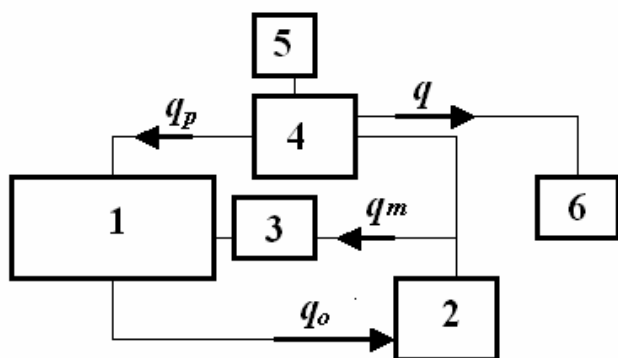
$$q_z = q_m + q_p. \quad (5)$$

q_z – całkowite natężenie cieczy przepływającej do zbiornika przez zawór regulacyjny i mieszadło hydrauliczne [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Całkowite natężenie cieczy wracającej do zbiornika można wyznaczyć również z zależności:

$$q_z = q_o - q. \quad (6)$$

W pracach [1, 4, 6, 9, 14, 29] autorzy wskazują na instalację opryskiwacza, przez którą następuje powrót cieczy do zbiornika jako główną przyczynę powstawania strat nicieni w opryskiwaczu, ponieważ ciecz przepływa tam wielokrotnie przez pompę i mieszadło lub zawór regulacyjny.



Rys. 1. Schemat blokowy instalacji opryskiwacza: 1 – zbiornik, 2 – pompa, 3 – mieszadło strumieniowe, 4 – zawór regulacyjny, 5 – manometr, 6 – rozpylacze

Fig. 1. Sprayer installation block diagram: 1 – pump, 2 – jet agitator, 3 – tank, 4 – control valve, 5 – manometer, 6 – nozzles

Zmiany przeżywalności względnej nicieni powstające w mieszadłach strumieniowych opryskiwaczy można opisać w postaci zależności matematycznej jako funkcję wielu czynników [4]:

$$V = V_o - f(p, d, k), \quad (7)$$

gdzie:

p – ciśnienie cieczy w instalacji opryskiwacza [MPa],

d – średnica otworu, przez który przepływa ciecz pod ciśnieniem [mm],

k – ilość cykli przepływu cieczy.

Ponieważ w zaworze regulacyjnym powierzchnia, przez którą przepływa ciecz zmienia się w zależności od ustalonego ciśnienia i natężenia przepływającej cieczy, niemożliwe jest zmierzenie jej wymiarów, więc formuła (7) przyjmuje postać [5]:

$$V = V_o - f(p, q_p, k), \quad (8)$$

gdzie:

q_p – natężenie przepływu cieczy wracającej do zbiornika poprzez zawór regulacyjny [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Powstawanie strat owadobójczych nicieni w instalacji opryskiwacza zaobserwowali Nilsson i Gripwall [29]. Stwierdzili zmiany przeżywalności nicieni *Steinernema feltiae* zawartych w cieczy, która krążyła w instalacji wysokociśnieniowego opryskiwacza plecakowego przez 30 minut. Spowodowało to prawie 10% spadek przeżywalności nicieni. W podobny sposób badano wpływ czasu recyrkulacji cieczy w instalacji opryskiwacza na przeżywalność owadobójczych nicieni [1, 8, 11, 12, 28].

Poza badaniami spadku przeżywalności nicieni przeprowadzonymi w instalacji opryskiwacza prowadzono również badania wpływu na przeżywalność nicieni poszczególnych elementów instalacji opryskiwacza, które uznano za „sprawców” strat nicieni na stanowiskach nie będących częściami opryskiwacza. W badaniach [18] odporności nicieni na działanie ciśnienia cieczy zastosowano prasę, za pomocą której przeciskano przez otwór kolejno trzy gatunki owadobójczych nicieni *Steinernema carpocapsae*, *Heterorhabditis bacteriophora* i *Heterorhabditis megidis* zmieszane z wodą. Ciśnienie sprężanej cieczy wahało się od 1283 kPa do 10,690 kPa. W badaniach zastosowano wysoką koncentrację nicieni w cieczy – od 10690 do 17200 szt. ml^{-1} . Stwierdzono istotny wpływ ciśnienia dynamicznego na powstawanie strat nicieni oraz różną podatność gatunków owadobójczych nicieni na zniszczenie podczas przepływu cieczy przez otwór.

Do stworzenia empirycznego modelu służącego do oceny uszkodzeń nicieni w rozpylaczach wykorzystano program do komputerowej analizy dynamiki płynów Fluent. Za jego pomocą symulowano przepływ cieczy z nicieniami poprzez płaskostrumieniowe rozpylacze [17]. Posłużono się energią dyssypacji jako czynnikiem, którego wartość ma wpływ na zniszczenie nicieni. Aby zdobyć dane do symulacji zjawisk fizycznych powodujących uszkodzenie nicieni, za pomocą programu Fluent, przeprowadzono wstępnie badania strat nicieni w prasie z przeciwnie ustawionymi dwoma tłokami [16]. Jeden tłok w pierwszej komorze poruszał się do przodu przepychając ciecz z nicieniami przez tuleję o średnicy wewnętrznej 0,0635 cm, a drugi, w drugiej komorze, przesuwiał się pod wpływem ciśnienia napływającej cieczy. Zauważono występowanie różnych form zniszczenia nicieni, od zranienia do złamania i rozerwania. Podczas badań zmian przeżywalności nicieni w tulei pomiędzy tłokami nie mierzono ciśnienia cieczy. Następnie, za pomocą programu Fluent wyznaczono wartości krytyczne energii dyssypacji dla poszczególnych gatunków nicieni [15]. W podobny sposób badano straty nicieni w rozpylaczach płaskostrumieniowych oraz w rozpylaczach wirowych z pustym i pełnym stożkiem.

W innych badaniach nad stratami nicieni w rozpylaczach ciecz przetłaczano przez rozpylacze za pomocą pompy przeponowej [12] lub, aby uniknąć zniszczenia nicieni w wyniku pompowania, ciecz przemieszczano za pomocą sprężonego powietrza [9]. Ponieważ wyniki zmian przeżywalności nicieni po pojedynczym przepływie cieczy przez rozpylacze były trudne do oznaczenia, ze względu na ich niewielką wartość, w porównaniu z błędem ich obliczania, ciecz przetłaczano wielokrotnie przez ten sam rozpylacz, a następnie obliczano sumaryczne straty przeżywalności.

Poza badaniami wpływu rozpylaczy na zmiany przeży-

walności nicieni badano również wpływ pomp, mieszadła hydraulicznego oraz zaworu przelewowego. W pracy [13] przepuszczano ciecz z nicieniami pięciokrotnie przez pompę membranową. Nie stwierdzono jej wpływu na zmiany przeżywalności nicieni. Fife i in. [14] badała wpływ pompy wirowej, rolkowej i przeponowej na spadek przeżywalności nicieni. Ciśnienie pracy pompy regulowano za pomocą zaworu przelewowego. Ciecz przepływała przez pompę i zawór regulacyjny jednokrotnie. Następnie z prób cieczy wyznaczano straty przeżywalności nicieni.

Badanie wpływu mieszadła strumieniowego i zaworu regulacyjnego na przeżywalność nicieni wykonywano na stanowiskach badawczych zbudowanych z elementów instalacji opryskiwaczy [4, 5, 6]. Ciecz przepływała wielokrotnie przez badany element przy różnych ciśnieniach. Po wykonaniu badań, na podstawie uzyskanych wyników przeżywalności względnej nicieni, wyznaczono równania regresji opisujące zmiany przeżywalności nicieni w zależności od parametrów przepływów cieczy.

W trakcie przeprowadzania eksperymentów mierzono wzrost temperatury cieczy. Temperatura cieczy może być również przyczyną powstawania strat nicieni [8, 32]. Ciecz podczas wielokrotnego krążenia w instalacji opryskiwacza może się nagrząć i osiągnąć temperaturę krytyczną dla życia zawartych w niej nicieni.

W dotychczasowych metodach badań skupiono się albo na analizie zjawisk powodujących straty owadobójczych nicieni w poszczególnych elementach opryskiwaczy albo przeprowadzano proste badania, polegające na wyznaczeniu przeżywalności nicieni w cieczy krążącej ze stałym natężeniem przepływu wewnątrz instalacji opryskiwaczy natomiast nie prowadzono badań i nie wyznaczono modeli matematycznych pozwalających na oszacowanie strat nicieni w instalacjach opryskiwaczy w zależności od ich konstrukcji i parametrów wykonywania zabiegów wynikających z dawki cieczy lub dawki środków ochrony roślin na powierzchni pola.

Celem pracy było oszacowanie spadku przeżywalności względnej nicieni wewnątrz instalacji opryskiwacza w zależności od ustalonych parametrów pracy opryskiwacza.

2. Metody i materiał

Aby uzyskać wymaganą dawkę cieczy lub czynników szkodnikobójczych na powierzchni pola należy na podstawie przyjętej prędkości przemieszczania się opryskiwacza i szerokości jego pracy wyliczyć wymagane natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza [19, 23]. Następnie, w zależności od rodzaju zabiegu (doglebowy lub nalistny), dobierane są rozpylacze i ciśnienie cieczy. A więc natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza i jej ciśnienie w instalacji są tymi parametrami pracy opryskiwacza, od wartości których zależeć będą straty nicieni.

Podczas pracy opryskiwacza, zgodnie z prawem Bernoulliego, w jego instalacji występują dwa rodzaje ciśnienia – statyczne i dynamiczne [31] i mogą być one przyczyną powstawania strat nicieni. Przeprowadzone doświadczenia nie wskazują, by ciśnienie statyczne lub jego zmiany wewnątrz opryskiwacza powodowały śmierć nicieni [1, 2, 7, 10, 18]. Pozostaje więc tylko działanie ciśnienia dynamicznego, które może powodować przemieszczanie się nicieni z tak dużymi prędkościami wewnątrz elementów instalacji opryskiwacza, że część z tych makroorganizmów ginie na skutek ocierania lub uderzania w elementy instalacji.

Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że na spadek przeżywalności względnej nicieni w opryskiwaczu wpływa również liczba cykli przepływu cieczy przez instalację. Znajac wydajność pompy zamontowanej w opryskiwaczu i wyliczone do wykonania zabiegu natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza, można wyznaczyć liczbę cykli przepływu cieczy wewnątrz instalacji posługując się wzorem (9) wg [3]:

$$k = \frac{\ln z_n - \ln 100}{\ln(1-l)}, \quad (9)$$

gdzie:

k - liczba cykli krążenia cieczy w instalacji po rozpoczęciu rozpylania,

z_n - stosunek objętości cieczy znajdującej się w opryskiwaczu do początkowej objętości cieczy w zbiorniku [%],

l - współczynnik wpływu cieczy z opryskiwacza.

Ciecz, którą wiano do zbiornika po rozpoczęciu pracy pompy, wypełnia elementy instalacji opryskiwacza – przewody, pompę i zawory. A więc ciecz pozostająca w opryskiwaczu, to ciecz znajdująca się w zbiorniku opryskiwacza i w pozostałych elementach instalacji opryskiwacza.

Wartość z_n wyznacza się na podstawie wzoru:

$$z_n = \frac{Q_n}{Q} \cdot 100, \quad (10)$$

gdzie:

Q_n - pozostająca objętość cieczy w opryskiwaczu [dm³],

Q - początkowa objętość cieczy w opryskiwaczu [dm³],

Współczynnik wpływu cieczy opisany jest wzorem (11) jako stosunek natężenia wypływu cieczy z opryskiwacza do wydajności pompy:

$$l = \frac{q}{q_0} \quad (11)$$

Dokonując oceny zmian przeżywalności żywych organizmów w przepompowywanym płynie należy mieć na uwadze, że przeżywalność względna żywych organizmów może zmieniać się nie tylko w wyniku przepływu cieczy w opryskiwaczu. Zależy ona także od gatunku i stanu zdrowotności nicieni, zmienia się podczas ich czasu życia, a ponadto, jak u każdego żywego organizmu odporność na zniszczenie jest cechą indywidualną poszczególnych osobników. [6, 15, 16, 17]. Złożoność zjawisk przepływowych w cieczy przemieszczającej się przez instalację hydrauliczną zbudowaną z pompy, przewodów, zaworów i dysz oraz różne wartości odporności nicieni na działanie podobnych naprężeń niszczących utrudniają opracowanie jednej reguły matematycznej dla wszystkich rodzajów i konstrukcji opryskiwaczy [31]. Sposobem stworzenia formuł umożliwiających oszacowanie strat nicieni jest wyznaczenie ich na podstawie wyników badań przeżywalności wewnątrz opryskiwaczy. Z pomocą dobranego planu badań uwzględniającego charakterystyczne wartości ciśnienia cieczy w instalacji i natężenie przepływu cieczy powracającej do zbiornika oraz liczbę cykli przepływu cieczy przez zbiornik można opracować formułę, która stanowić będzie opis

zmian przeżywalności danego gatunku owadobójczych nicien w instalacji badanego opryskiwacza.

Gdyby przepływ cieczy powracającej do zbiornika opryskiwacza był wyłącznie jednorazowy zmiany przeżywalności względnej żywych organizmów można by było opisać zależnością:

$$\Delta V = \left(\Delta V_1 \cdot \frac{q_m}{q_z} + \Delta V_2 \cdot \frac{q_p}{q_z} \right), \quad (12)$$

gdzie:

ΔV_1 – straty przeżywalności w cieczy przepływającej przez mieszadło hydrauliczne,

ΔV_2 – straty przeżywalności w cieczy przepływającej przez zawór regulacyjny.

Ilość cykli krążenia cieczy w instalacji od rozpoczęcia do zakończenia opryskiwania może wynosić od kilku do ponad 100 razy [3]. Ponieważ charakterystyki strat przeżywalności nicieni w mieszadle i w zaworze regulacyjnym mają różne wartości dla tego samego ciśnienia [4, 5] mogą wystąpić silne interakcje, które spowodują, że wyniki rzeczywiste przeżywalności nicieni podczas wielokrotnego krążenia cieczy w instalacji opryskiwacza będą znacznie różnić się od obliczonych wg wzoru (12). Dlatego, ze względu na uproszczenie sposobu szacowania zmian przeżywalności nicieni w instalacji opryskiwacza, przyjęto do badań sumaryczne spadki przeżywalności nicieni, wynikające z całkowitego natężenia wpływu cieczy do zbiornika opryskiwacza – q_z . Jako materiału badawczego użyto biologicznego środka ochrony roślin o nazwie „Steinernema System” wyprodukowanego przez Biobest NV. Środek ten zawierał larwy owadobójczych nicieni *Steinernema feltiae*, które stosowane są głównie przeciwko ziemiorcom. Biopreparat po zakupieniu przechowywano zgodnie z zaleceniem producenta w temperaturze 4°C. Nicienie zakupiono jednorazowo i pochodziły z tej samej partii produkcyjnej. Każde z zakupionych opakowań zużyto w ciągu 6 godzin po otwarciu. Doświadczenia związane z przeprowadzonym eksperymentem rozpoczęto 5 dnia po zakupie nicieni i wraz z oznaczeniem przeżywalności nicieni zakończono w ciągu 96 godzin.

Przeciętna koncentracja nicieni w cieczy użytej w badaniach wynosiła 900 sztuk w 1 ml wody. Ciecz do badań przygotowywano wyznaczając uprzednio koncentrację larw w stosunku do masy zakupionego środka ochrony roślin, który następnie mieszano z cieczą w odpowiednim stosunku wagowym.

Do wyznaczenia przeżywalności nicieni podczas eksperymentów pobierano z instalacji próby cieczy o pojemności 20 ml, które przechowywano w inkubatorze w temperaturze 18°C przez 24 godziny. Czas ten był przyjęty po to, by zranione podczas eksperymentu nicienie zginęły. Do analizy przeżywalności z każdego pojemnika, po uprzednim wymieszaniu cieczy z nicieniami, pobierano pipetą 6 próbek cieczy o pojemności 50 μ l. Ponieważ martwe nicienie występowały w całości lub w segmentach, w zależności od poziomu zniszczenia nicieni, klasyfikowano na żywe lub martwe na podstawie ich ruchu oraz wielkości szczątków. W przypadku, gdy cały nicienie nie poruszał się, naciskano na niego igłą próbując wywołać reakcję ruchu. Aby obliczyć całkowitą liczbę nicieni N , posłużono się wzorem (13) [14, 15, 18].

$$N_t = Nl + N_d + N_{dp}/2 + N_{dq}/4, \quad (13)$$

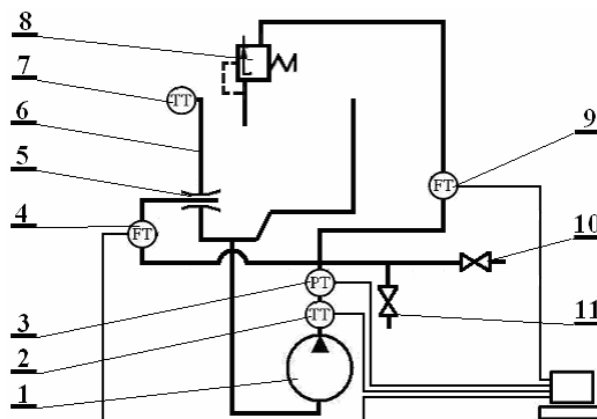
gdzie:

N_{dp} – liczba segmentów nicieni uznanych wielkością za półkę nicienia,

N_{dq} – liczba segmentów nicieni uznanych wielkością za ćwiartkę nicienia.

Do badań użyto zawieszanego opryskiwacza Optimal 200/6. Opryskiwacz nigdy nie był wykorzystywany do aplikacji środków chemicznych. Pojemność polietylenowego zbiornika zamontowanego w opryskiwaczu wynosi 200 dm³. Zastosowana jest w nim pompa przeponowa Comet BP 40 oraz zawór przelewowy Comet GCP 3V o dopuszczalnym maksymalnym natężeniu przepływu cieczy – 1,67 dm³·s⁻¹ i dopuszczalnym maksymalnym ciśnieniu cieczy 1,5 MPa. W opryskiwaczu zamontowane było mieszadło strumieniowe Geoline, w którym średnica dyszy wynosi 1,25 mm.

Przed rozpoczęciem badań usunięto z instalacji opryskiwacza wszystkie filtry cieczy (zalecenie producenta środka biologicznego), a na przewodach zasilających mieszadło strumieniowe i zawór regulacyjny zamontowano przepływomierze elektromagnetyczne firmy Arag o klasie dokładności pomiaru 0,5. Na przewodzie, przez który ciecz wypływała z pompy zamontowano czujniki temperatury i ciśnienia cieczy. Ponadto, dodatkowy pomiar temperatury cieczy w zbiorniku opryskiwacza wykonywano za pomocą wpuszczonego do zbiornika termometru elektronicznego. Schemat badanej instalacji opryskiwacza przedstawiony został na rys. 2.



Rys. 2. Schemat instalacji stanowiska badawczego: 1 – pompa membranowa, 2 – czujnik temperatury cieczy, 3 – czujnik ciśnienia cieczy, 4 – przepływomierz elektromagnetyczny, 5 – mieszadło strumieniowe, 6 – zbiornik opryskiwacza, 7 – termometr, 8 – zawór regulacyjny, 9 – przepływomierz elektromagnetyczny, 10, 11 – zawory kulowe

Fig. 2. Diagram of the test bench: 1 - diaphragm pump, 2 - liquid temperature sensor, 3 - liquid pressure sensor, 4 - electromagnetic flow-meter, 5 - jet agitator, 6 - sprayer tank, 7 - thermometer, 8 - control valve, 9 - electromagnetic flow-meter, 10, 11 - ball valves

Wykonanie badań według planu nie jest możliwe na opryskiwaczu pracującym ze stałą prędkością obrotową pompy, gdyż nie jest możliwe uzyskanie dowolnego natężenia przepływu cieczy wewnątrz instalacji przy ustalonym ciśnieniu i ustalonej liczbie przepływów cieczy w instalacji opryskiwacza. W typowym opryskiwaczu te parametry są ze sobą powiązane. Dlatego też pompa napędzana była silni-

kiem elektrycznym zamontowanym na przystawce przewoźnej. Elektroniczny układ sterowania przystawką napędową umożliwiał regulację prędkości obrotowej silnika w zakresie od 0 do 600 obr. \cdot min⁻¹ z dokładnością do 1 obr. \cdot min⁻¹ (rys. 3).

Wszystkie czujniki zamontowane w instalacji, poza termometrem, były podłączone do komputera poprzez kartę pomiarową. Karta pomiarowa i program LabView firmy National Instrument umożliwiały rejestrację danych.

3. Przebieg badań

Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych (przed właściwym eksperymentem) ustalono brzegowe wartości badanych czynników niezależnych, a ich wartości pośrednie obliczono za pomocą programu statystycznego „Experiment Planner 1.1” dla trzypoziomowego planu badań [26, 27]. Wartości te wynosiły następująco:

- ciśnienie cieczy: $p = 0,0; 0,6; 1,2$ [MPa],
- liczba cykli przepływów cieczy przez zbiornik: $k = 0; 16; 32$,
- całkowite natężenie cieczy wracającej do zbiornika: $q_z = 0,14; 0,335; 0,532$ [dm³ \cdot s⁻¹].

Jako maksymalną wartość natężenia przepływu cieczy powracającej do zbiornika q_z przyjęto wartość wydajności pompy przy ciśnieniu 1,2 MPa równą 0,532 dm³ \cdot s⁻¹, a minimalną wartość $q_z = 0,14$ dm³ \cdot s⁻¹. Była to wartość natężenia wpływu cieczy do zbiornika opryskiwacza, przy którym na podstawie szacunku wg wzoru (9) liczba cykli przepływu cieczy w zbiorniku wynosi około 2 razy.



Rys. 3. Widok stanowiska badawczego
Fig. 3. View of the test bench.

Pomierzone natężenie przepływu cieczy przez miesza-dło q_m dla ustalonych wartości ciśnienia $p = 0,6$ i $1,2$ MPa wynosiło kolejno 0,023; 0,035 [dm³ \cdot s⁻¹]. Wynikowe wartości natężenia przepływu cieczy przez zawór regulacyjny – q_p znajdują się w tab. 1.

Natężenie przepływu cieczy przez zawór regulacyjny przy dobranych ciśnieniach regulowano zmieniając rozmiar szczeliny w zaworze i prędkość obrotową pompy w opryskiwaczu. Do każdego eksperymentu dla ustalonych parametrów ciśnienia i natężenia przepływu cieczy przygotowywano osobno 50 dm³ cieczy z nicieniami. Aby nie dopuścić do strat nicieni podczas mieszania wstępnego w zbiorniku opryskiwacza i wymieszać nicienie z wodą bez używania miesza-dła opryskiwacza, odważoną porcję nicieni zmieszano z 1 dm³ wody, a następnie dodawano porcjami

po 200 ml do wiadra z wodą o pojemności 10 dm³, mieszano ręcznie i wlewano do zbiornika. Próby do analizy przeżywalności nicieni pobierano przed rozpoczęciem każdego eksperymentu oraz przy ustalonych wielokrotnościach przepływu cieczy przez zbiornik. Każdy eksperyment powtarzano dwa razy.

Tab. 1. Wartości natężenia przepływu cieczy przez zawór regulacyjny - q_p

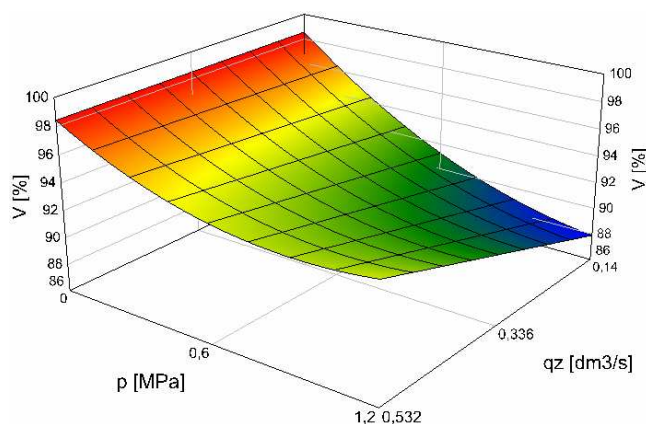
Tab. 1. Values of liquid flow rate through the control valve- q_p

p [MPa]	0,6	1,2	q_z [dm ³ \cdot s ⁻¹]
q_p [dm ³ \cdot s ⁻¹]	0,117	0,105	0,14
	0,312	0,3	0,335
	0,509	0,497	0,532

Ilość powtórzeń pomiarów przeżywalności względnej dla każdej próby cieczy pobranej podczas każdego eksperymentu obliczono na podstawie wyników badań wstępnych przy założeniu, że współczynnik zmienności nie przekroczy 1% [20, 24]. Odchylenie standardowe od wartości średniej przeżywalności względnej nicieni uzyskane z badań okazało się w wielu punktach pomiarowych wyższe od założonej wartości. Wyniki pomiarów przeżywalności względnej owadobójczych nicieni przedstawione zostały w tab. 2. Średnia wartość odchylenia standardowego z pomiarów przeżywalności względnej wyniosła 2,308. Do wyznaczenia formuły matematycznej użyty został program Experiment Planner. Otrzymano następujące równanie regresji (współczynnik istotności $\alpha = 0,05$):

$$V = 99,06 - 6,862 \cdot p - 0,3233 \cdot q_z - 0,02873 \cdot k - 0,6573 \cdot p \cdot k + 5,441 \cdot p^2 + 0,8789 \cdot p \cdot q_z \cdot k \quad (14)$$

Równanie (14) było bardzo dobrze dopasowane do wyników uzyskanych z eksperymentu. Współczynnik korelacji wielowymiarowej $R = 0,988$. Istotność współczynnika korelacji sprawdzono za pomocą testu F Snedecora. Wyznaczona formuła przedstawiona została graficznie na rys. 4 dla liczby cykli przepływu cieczy $k = 16$.



Rys. 4. Wpływ ciśnienia cieczy w instalacji opryskiwacza – p i natężenia przepływu cieczy powracającej do zbiornika – q_z na zmiany przeżywalności owadobójczych nicieni *Steinernema feltiae* – V

Fig. 4. Effect of liquid pressure in sprayer installation – p and liquid ratio flow back to tank – q_z on change of viability of entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* - V

Tab. 2. Wartości przeżywalności względnej owadobójczych nicieni *Steinernema feltiae*
 Tab. 2. Values of relative viability of entomopathogenic nematodes *Steinernema feltiae*

p	qz	k		k		k	
		0	16	16	32	32	32
[MPa]	[dm ³ ·s ⁻¹]	Wart. śred.	Od. stand.	Wart. śred.	Od. stand.	Wart. śred.	Od. stand.
0	0,14	98,68	1,508	98,15	1,759	98,17	1,737
0,6	0,14	98,05	2,211	90,98	4,135	86,58	3,257
1,2	0,14	98,47	1,261	87,76	2,875	77,55	2,437
0	0,336	99,22	1,216	97,27	2,254	99,02	1,028
0,6	0,336	97,35	2,445	93,19	2,456	87,4	4,618
1,2	0,336	97,8	1,718	90,44	2,793	83,46	3,912
0	0,532	98,2	1,395	98,92	1,165	98,82	1,063
0,6	0,532	98,0	2,374	93,78	3,228	90,45	1,866
1,2	0,532	98,78	1,935	93,8	3,74	92,28	4,041

Analiza istotności współczynników regresji zawartych w równaniu wskazała na silną istotność takich czynników jak: wartość stała, iloczyn ciśnienia i liczby przepływów cieczy, natężenie przepływu cieczy i liczby przepływów. Wpływ następujących czynników: samego ciśnienia, natężeniem przepływu i liczby przepływów oraz kwadratu ciśnienia był nieistotny (statystyka t Studenta mniejsza od $t_{kr} = 2,086$) [20, 26]. Pozostawiono jednak te czynniki, gdyż usunięcie ich z równania powodowałoby znaczny spadek współczynnika korelacji. Wartość stała w równaniu regresji jest równa 99,06. Średnia wartość początkowej przeżywalności nicieni obliczona na podstawie wyników eksperymentu była równa 98,31, a średnie odchylenie standardowe obliczone z tych samych wyników wyniosło 1,764. Ocena adekwatności modelu matematycznego względem obiektu rzeczywistego wykonana za pomocą testu F Snedecora wykazała istotność dla $\alpha = 0,05$.

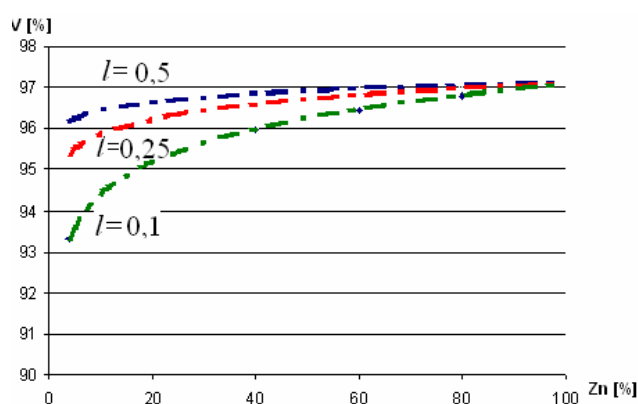
Następnie dokonano oszacowania spadku przeżywalności względnej nicieni *Steinernema feltiae* w instalacji badanego opryskiwacza za pomocą wyznaczonego równania regresji (14) i formuł matematycznych, służących do obliczania ilości cykli przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza w zależności od współczynnika wypływu cieczy z opryskiwacza (wzory 9, 10, 11). Ustalono wartości ciśnienia cieczy – p równe 0,4 i 0,8 MPa. Ustalono wartości współczynnika wypływu cieczy – l równe: 0,1; 0,25; 0,5. Wartości te dla badanego opryskiwacza odpowiadały natężeniu wypływu cieczy z opryskiwacza – q równemu odpowiednio: 0,0532; 0,133; 0,266 dm³·s⁻¹. Za minimalną wartość z_n , przy której pompa zaczyna ssać powietrze ze zbiornika przyjęto 4% pojemności zbiornika. Wartość ta wynika z normy dla pojemności zbiornika mniejszej niż 400 dm³ [33]. Jest to ciecz zawarta w elementach instalacji opryskiwacza, która tam pozostaje po spadku ciśnienia w układzie hydraulicznym opryskiwacza. Wyniki szacowania przeżywalności względnej nicieni *Steinernema feltiae* w opryskiwaczu przedstawione zostały na rys. 5 i 6.

4. Dyskusja wyników

Przeprowadzenie badań zmian przeżywalności względnej owadobójczych nicieni wg planu badań możliwe było dzięki specjalnie do tego celu zbudowanej przystawce napędowej. Wykorzystanie przystawki do regulacji obrotów pompy przeponowej nie miało wpływu na zmiany przeżywalności spowodowane pracą pompy, ponieważ pompa przeponowa nie ma istotnego wpływu na straty nicieni [13, 14].

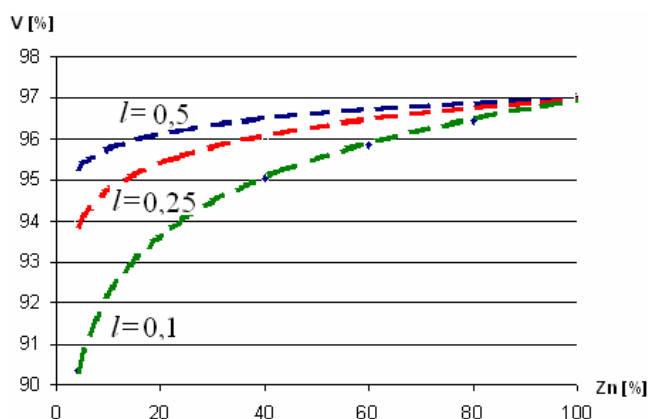
Wykorzystanie wyznaczonego na podstawie badań równania regresji opisującej zmiany przeżywalności względnej owadobójczych nicieni do obliczania strat nicieni przy dobranych różnych wartościach ciśnienia cieczy i natężenia wypływu cieczy z opryskiwacza było możliwe dzięki opracowanej do tego

celu formuły matematycznej pozwalającej na obliczenie ilości cykli przepływów cieczy przez układ hydrauliczny w instalacji opryskiwacza [3].



Rys. 5. Wpływ współczynnika wypływu cieczy z opryskiwacza – l oraz współczynnika pozostałej cieczy w opryskiwaczu – z_n na przeżywalność względną owadobójczych nicieni przy ciśnieniu cieczy – 0,4 MPa

Fig. 5. Effect of liquid flow rate from the sprayer – l and the coefficient of the remaining liquid in the sprayer – z_n on the relative viability of entomopathogenic nematodes, at a pressure of liquid – 0.4 Mpa



Rys. 6. Wpływ współczynnika wypływu cieczy z opryskiwacza – l oraz współczynnika pozostałej cieczy w opryskiwaczu – z_n na przeżywalność względną owadobójczych nicieni przy ciśnieniu cieczy – p = 0,8 MPa

Fig. 6. Effect of liquid flow rate from the sprayer – l and the coefficient of the remaining liquid in the sprayer – z_n on the relative viability of entomopathogenic nematodes, at a pressure of liquid – 0.8 Mpa

W metodzie zastosowanej w badaniach uniknięto pełnego wypełnienia cieczą zbiornika opryskiwacza, co pozwoliło skrócić czas badań i zmniejszyć koszty stosowanego biologicznego środka zawierającego nicienie. Założono, że zakłócenia przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza spowodowane różnicami w ciśnieniu słupa wody pomiędzy zbiornikiem wypełnionym całkowicie a wypełnionym tylko częściowo nie będą miały istotnego wpływu na zmiany przeżywalności nicieni.

Zastosowany sposób szacowania strat nicieni umożliwia wykonanie skróconych badań na opryskiwaczu z wykorzystaniem jego oryginalnego wyposażenia. Uwzględniono w ten sposób zakłócenia przepływu wpływające na przeżywalność nicieni występujące w instalacji opryskiwacza. Tylko dodatkowe zakłócenia w przemieszczaniu się cieczy, jakie mogą zaistnieć, pochodzą od zainstalowanych czujników, ale elektromagnetyczne czujniki przepływu nie posiadają części ruchomych, które mogłyby spowodować straty nicieni, zaś przekroje, przez które przepływa ciecz są tak dobrane, by przy pomiarze natężeń przepływu cieczy stanowiły znikomy opór przemieszczającemu się płynowi.

5. Wnioski i zalecenia

Zastosowana metoda oszacowania strat przeżywalności nicieni pozwala oceniać wpływ natężenia wypływu cieczy z opryskiwacza i jej ciśnienia na wartość strat. Są to informacje ważne przy planowaniu zabiegów ochrony roślin z zastosowaniem nie tylko owadobójczych nicieni, ale także z użyciem innych dobroczynnych organizmów.

Największy wpływ na straty owadobójczych nicieni ma ciśnienie cieczy w opryskiwaczu i liczba cykli krążenia cieczy w instalacji opryskiwacza.

Analiza wyników oszacowania zmian przeżywalności owadobójczych nicieni w instalacji opryskiwacza wskazuje, że optymalnymi parametrami do opryskiwania żywymi organizmami są: minimalne ciśnienie cieczy i jak największe, możliwe do zastosowania natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza, ponieważ wpływa ono pozytywnie na zminimalizowanie liczby cykli krążenia cieczy w instalacji.

W podobny sposób można również oszacować zmiany przeżywalności względnej nicieni spowodowane przepływem cieczy tylko przez mieszadło lub tylko przez zawór przelewowy.

6. Literatura

- [1] Ade G., Lanzoni A., Martelli R., Pezzi F.: Influence of Mechanical Aspects of Distribution on Viability of the Biological Control Agent *Steinernema carpocapsae*. Materiały Konf. International Conference Ragusa SHWA2010 - September 16-18, 2010 Ragusa Ibla Campus- Italy "Work Safety and Risk Prevention in Agro-food and Forest Systems".
- [2] Chojnacki J.: The investigation of influence of static pressure periods in sprayers on entomopathogenic nematodes viability EJPAU 2011, 14(2).
- [3] Chojnacki J.: Przepływ cieczy wewnątrz instalacji opryskiwacza w aspekcie aplikacji pożytecznych organizmów. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2011, Vol. 56(3), (zgłoszone do druku).
- [4] Chojnacki J.: Przeżywalność owadobójczych nicieni w mieszadle strumieniowym. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2011, Vol. 56(2), s. 27-31.
- [5] Chojnacki J.: Wpływ przepływu cieczy przez zawór regulacyjny w instalacji opryskiwacza na przeżywalność owadobójczych nicieni. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2011, Vol. 56(1), s. 19-25.
- [6] Chojnacki J.: Zmiany w przeżywalności biologicznych środków ochrony roślin owadobójczych nicieni podczas przepływu przez otwór w dyszy opryskiwacza. Journal of Research and Applications in Agricultural En-

- gineering, 2011, Vol. 56(1), s. 26-31.
- [7] Chojnacki J.: The resistance of beneficial nematodes to liquid static pressure. 4th International Conference TAE 2010. Trends in Agricultural Engineering. Prague, 2010, 241-243.
- [8] Chojnacki J.: Zjawiska termiczne w opryskiwaczu w aspekcie aplikacji biologicznych środków ochrony roślin. Inżynieria Rolnicza, 2007, 8 (96), s. 37-42.
- [9] Chojnacki J.: Ocena przeżywalności biologicznych środków ochrony roślin: nicieni - *Steinernema feltiae* rozpraszanych za pomocą dyszy hydraulicznej. Inżynieria Rolnicza, 2006, 13, s. 47-53.
- [10] Chojnacki J., Dulcet E., Grieger A.: Influence of Static Pressure on Viability of Entomopathogenic Nematodes – *Steinernema feltiae*, Word Academy of Science, Engineering and Technology, 908-910, WASET, Tokio 2010, (ISSN: 2070-3724).
- [11] Chojnacki J., Jarmocik E.: Wpływ mieszadła eżektorowego na jakość biologicznego środka ochrony roślin. Zeszyty Problemowe Postępów nauk Rolniczych, 2005, Z. 508, s. 21-26.
- [12] Chojnacki J., Jarmocik E.: The Influence of sprayer parameters on damage of entomopathogenic nematodes *Steinernema feltiae* - the biological pesticides. Annual Review of Agricultural Engineering, 2005, Vol. 4/1: 297-301.
- [13] Chojnacki J., Jarmocik E.: Wpływ pracy pompy membranowej na śmiertelność nicieni *Steinernema feltiae* – biologicznego środka ochrony roślin. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2004, 3 (45), s. 31-37.
- [14] Fife J.P., Ozkan H.E., Derksen R.C., Grewal P.S.: Effects of pumping on entomopathogenic nematodes and temperature increase within a spray system. Applied Engineering in Agriculture, 2007, Vol. 23(4), s. 405-412.
- [15] Fife J.P., Ozkan H.E., Derksen R.C., Grewal P.S., Krause C.R.: Viability of a biological pest control agent through hydraulic nozzles Transactions of the ASAE, 2005, 48(1), s. 45-54.
- [16] Fife J.P., Derksen R.C., Ozkan H.E., Grewal P.S., Chalmers J.J., Krause C.R.: Evaluation of a contraction flow field on hydrodynamic damage to entomopathogenic nematodes - a biological pest control agent. Biotechnology and Bioengineering, 2004, vol. 86 (1), s. 96-107.
- [17] Fife J.P., Derksen R.C., Ozkan H.E., Grewal P.S.: Using CFD Methods to Predict Damage of a Biological Pest Control Agent during Passage through a Hydraulic Nozzle Paper Number: 033002 ASAE Annual International Meeting Las Vegas, Nevada, USA, 27-30 July 2003.
- [18] Fife J.P., Derksen R.C., Ozkan H.E., Grewal P.S.: The effect of pressure differentials on the viability and infectivity of entomopathogenic nematodes. Biological Control, 2003, 27, s. 65-72.
- [19] Gajtkowski A.: Technika ochrony roślin. AR Poznań 2000.
- [20] Greń J.: Modele i zadania statystyki matematycznej. Warszawa: PWN, 1967.
- [21] Grewal P.S., Peters A.: Formulation and Quality. W: Nematodes as Biocontrol Agents. Grewal, Echlers, Shapiro-Ilan. CABI Publishing, CAB International Wallingford Oxfordshire OX10 8DE UK. 2005, s. 79-90.
- [22] Hall F.R., Menn J.J.: Biopesticides use and delivery. Methods in biotechnology 5. Humana Press Inc. Totowa, New Jersey 1999.
- [23] Hołownicki R.: Technika opryskiwania roślin dla praktyków. Kraków: Plantpress, 2006.
- [24] Januszewicz K., Puzio-Idźkowska M.: Doświadczalnictwo Rolnicze. WUWM Olsztyn, 2002.
- [25] Kowalska J., Pruszyński S.: Metody i środki proponowane do ochrony roślin w uprawach ekologicznych. IOR Poznań, 2007.
- [26] Kukielka L.: Podstawy badań inżynierskich. Warszawa: PWN, 2002.
- [27] Kukielka S.: Experiment Planner 1.0 – komputerowy program planowania eksperymentów rozpoznawczych i właściwych oraz identyfikacji i analizy modelu matematycznego obiektu badań. Koszalin 2002, maszynopis.
- [28] Łączyński A., De Moor A., Dierikx W., Moens M., Darius P., Sonck B., Ramon H.: The effect of hydraulic agitation on the viability of nematode *Heterorhabditis bacteriophora*. Crop Protection, 2006, 25, s. 1135-1141.
- [29] Nilsson U., Gripwall E.: Influence of application technique on the viability of the biological control agents *Vercillium lecanii* and *Steinernema feltiae*. Crop Protection, 1999, 18 (1), s. 53-59.
- [30] Tomalak M., Sosnowska D.: Organizmy pożyteczne w środowisku rolniczym. IOR Poznań, 2008.
- [31] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: Mechanika płynów w inżynierii środowiska. Warszawa: WNT, 2001.
- [32] Poinar Jr., G.O.: Entomopathogenic nematodes. In: Franz, J.M. (Ed), Biological Plant and Health Protection. Fischler. Verlag. Stuttgart, 1986, s. 95.
- [33] EN 12761-3:2001 CEN Bruxelles, Belgium.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy nr N 310 049 32/2537.