

## **EFFECT OF FLUID FLOW THROUGH CONTROL VALVE IN SPRAYER INSTALLATION ON VIABILITY OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES**

### *Summary*

*A flow of liquid containing entomopathogenic nematodes through gap of control valves in sprayer installation can cause death of a part of these living organisms. The range of those damages were assessed using a relative nematode viability. Experiments were carried out with multiple flow of nematodes through valve gap when the liquid pressures were equal to 0,50; 1,05 and 1,60 MPa. The least fall of viability was observed when the value of pressure was 0,50 MPa and the liquid flow was equal to  $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Generally there was observed that higher values of the liquid pressures and smaller values of liquid flow ranges caused an appreciable decreasing of relative nematode viability.*

## **WPLYW PRZEPLYWU CIECZY PRZEZ ZAWÓR REGULACYJNY W INSTALACJI OPRYSKIWACZA NA PRZEŻYWALNOŚĆ OWADOBÓJCZYCH NICIENI**

### *Streszczenie*

*Przepływ cieczy, zawierającej owadobójcze nicienie, przez szczeliny zaworów regulacyjnych w instalacji opryskiwacza może powodować śmierć części tych żywych organizmów. Oszacowano rozmiar tych szkód posługując się przeżywalnością względną nicieni. Badania przeprowadzono przy wielokrotnym przepływie nicieni poprzez szczelinę zaworu i ciśnieniach cieczy równych 0,50, 1,05 i 1,60 MPa. Najmniejszy spadek przeżywalności stwierdzono przy wartości ciśnienia 0,50 MPa i natężeniu przepływu  $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Stwierdzono, że wyższe wartości ciśnienia cieczy i mniejsze natężenie przepływu powodowały znaczne obniżanie przeżywalności nicieni.*

### **1. Wprowadzenie**

Biologiczne środki ochrony roślin zawierające żywe organizmy są stosowane w rolnictwie ekologicznym i konwencjonalnym, a także w leśnictwie i w uprawach pod osłonami ze względu na brak negatywnych skutków w stosunku do zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego. Używane są przede wszystkim do zwalczania pasożytów roślin. Biopreparaty mają, podobnie jak w przypadku chemicznych środków ochrony roślin, działanie selektywne [16, 18]. Biologiczne środki, które zawierają wirusy, bakterie, grzyby i owadobójcze nicienie mogą być rozpraszane za pomocą opryskiwaczy [10].

Naturalnym środowiskiem życia owadobójczych nicieni jest gleba. Biopreparaty z nicieniami służą więc przede wszystkim do niszczenia larw owadów żerujących w glebie [7, 18, 24], ale mogą być również stosowane nalistnie. Dodatkowo można posłużyć się nimi w walce ze ślimakami [25]. Przećięte stężenie owadobójczych nicieni w 1 ml cieczy opryskowej zawiera się w granicach od 500 sztuk – przy zabiegach prewencyjnych, do 1500 sztuk – przy intensywnym zwalczaniu szkodników. Aplikacja owadobójczych nicieni związana jest z ryzykiem ich zniszczenia. Podczas nanoszenia dogłębowego nicienie narażone są na zniszczenie, które może być spowodowane wpływem czynników abiotycznych oraz możliwością ataku ich naturalnych wrogów.

Podczas opryskiwania powierzchni roślin nicienie mogą być zniszczone przez promieniowanie UV, wysoką temperaturę otoczenia oraz z powodu utraty wilgoci w wyniku wysuszenia [8]. Aby zapobiec niebezpiecznym dla życia nicieni czynnikom, zalecane jest opryskiwanie powierzchni roślin nocą i stosowanie obfitej ilości wody. Ilość cieczy na liściach nie może być zbyt duża, gdyż nadmiar płynu spowoduje tworzenie się dużych kropeł, które spłyną z powierzchni liści, zanim za-

warte w nich nicienie dotrą do szkodników. Dodanie do cieczy substancji zmniejszających jej napięcie powierzchniowe i „mocujących” ciecz do powierzchni roślin może poprawić jakość zabiegów nalistnych z nicieniami [1, 15].

Owadobójcze nicienie mogą ulegać zniszczeniu również wewnątrz opryskiwaczy. Konieczność uzyskania dobrego zmieszania środka ochrony roślin z płynem, a następnie utrzymanie jego stałej koncentracji w mieszaninie powoduje, że ciecz w opryskiwaczu musi krążyć podczas wykonywania zabiegu. Krążenie płynu wewnątrz instalacji wynika również z różnicy pomiędzy mniejszym sumarycznym natężeniem wypływu cieczy przez rozpylacze a rzeczywistą wydajnością pompy. Nadmiar cieczy w instalacji przelewa się przez zawór regulacyjny i wraca do zbiornika. Obieg krążącego płynu w typowym opryskiwaczu odbywa się przede wszystkim przez pompę, przewody, zawory regulacyjne, mieszadło hydrauliczne i zbiornik.

W czasie cyrkulacji cieczy w elementach instalacji opryskiwaczy takich jak pompa, zawory i mieszadło nicienie mogą być kaleczone, a nawet rozrywane na części w wyniku naprężeń mechanicznych [22]. Nilsson i Gripwall [17] stwierdzili około 10% spadek przeżywalności owadobójczych nicieni *Steinernema feltiae*, który wystąpił po wielokrotnym przepływie cieczy przez instalację wysokociśnieniowego opryskiwacza Wanjet.

Straty owadobójczych nicieni gatunku *Heterorhabditis bacteriophora* wewnątrz instalacji opryskiwacza zarejestrowano również w pracy [14]. Spadek ilości żywych nicieni po przepompowaniu cieczy i jej rozpyleniu w stosunku do ilości żywych nicieni przed rozpoczęciem doświadczenia wyniósł w granicach 5÷24 %. W tym eksperymencie obniżenie przeżywalności nicieni do wartości minimalnej nastąpiło po 90 minutowym krążeniu cieczy.

Ciśnienie, natężenie przepływu i czas krążenia cieczy w opryskiwaczu powodują wzrost jej temperatury. Na straty owadobójczych nicieni w wyniku działania sił mechanicznych mogą nakładać się straty spowodowane zjawiskami termicznymi.

Występowanie tych dwóch niekorzystnych dla życia nicieni zjawisk w opryskiwaczu przedstawiono w pracy [2]. Wzrost śmiertelności nicieni spowodowany przekroczeniem krytycznej dla życia nicieni *Steinernema feltiae* temperatury został zauważony w próbach cieczy o temperaturze równej 38,4°C pobranych ze zbiornika opryskiwacza. Śmierć wszystkich nicieni w opryskiwaczu została stwierdzona w próbach cieczy o temperaturze równej 41,2°C. Woda do tej temperatury nagrzała się po 75 minutach krążenia wewnątrz opryskiwacza przy ciśnieniu równym 1,2 MPa.

Wyniki badań wpływu różnych konstrukcji pomp stosowanych w opryskiwaczach na występowanie strat owadobójczych nicieni w przepompowywanej cieczy zostały przedstawione w pracy [4]. Analizowano szkody nicieni wywołane zjawiskami dynamicznymi w cieczy przepompowywanej za pomocą kilku rodzajów pomp: przeponowej, rolkowej i odśrodkowej. Aby w badanej instalacji symulować podnoszenie ciśnienia cieczy podczas pompowania, podobne do warunków występujących w instalacji opryskiwacza, instalacja wraz ze zbiornikiem, do którego przepływała ciecz, była hermetycznie zamknięta. Ciśnienie cieczy regulowano za pomocą zaworu przelewowego, przez który nadmiar płynu odpływał do osobnego pojemnika. Ciecz z nicieniami została przepompowana jeden raz. Nie stwierdzono istotnego wpływu pracy pomp na uszkodzenie nicieni.

Badano również wzrost temperatury wody wielokrotnie przepompowywanej w instalacji poprzez zawór przelewowy. Ciecz nie zawierała nicieni. Najwyższy przyrost temperatury wody w wyniku jej wielokrotnego przepompowania otrzymano przy użyciu pompy odśrodkowej.

Wpływ ciśnienia dynamicznego w cieczy na przeżywalność owadobójczych nicieni opisano w pracy [3]. Analizie poddano nicienie *Steinernema carpocapsae*, *Heterorhabditis bacteriophora* i *Heterorhabditis megidis*, w dwóch grupach wiekowych. Koncentracja nicieni wynosiła od 12400 do 17200 sztuk w 1 ml wody. Ciecz z nicieniami sprężano za pomocą praski służącej do testowania wtryskiwaczy silnikowych, a następnie otwierano wypływ i ciecz z nicieniami przepływała przy zadanym ciśnieniu przez otwór w prasie. Ciśnienie wewnątrz komory prasy ustawiano na różnych poziomach wartości, w zakresie 1283÷10690 kPa. Stwierdzono zmniejszenie koncentracji nicieni w próbach cieczy pobranych po wykonaniu każdego eksperymentu w stosunku do ich koncentracji w próbach cieczy nie poddanej doświadczeniu. Przeżywalność liczono w próbach cieczy jako stosunek liczby żywych nicieni do sumy martwych i żywych. Spadek przeżywalności nicieni zależał istotnie od wartości ciśnienia i od gatunku nicieni, natomiast wpływ wieku nicieni na procent ich zniszczenia, który zarejestrowano podczas eksperymentów, uznano za nieistotny. Najwyższy spadek przeżywalności – o około 70%, stwierdzono w próbach cieczy zawierającej „stare” nicienie *Heterorhabditis megidis*, przy ciśnieniu wypływającej cieczy równym 6414 kPa. Wartości ciśnienia cieczy, przy których wykonano eksperymenty z użyciem prasy hydraulicznej były znacznie większe od tych, jakie stosuje się przy aplikacji nicieni za pomocą opryskiwaczy. Autorzy pracy [21] wskazali 2000 kPa jako maksymalną wartość ciśnienia cieczy, którym można posłużyć się do rozpylania cieczy zawierających owadobójcze nicienie.

Dotychczas przeprowadzone badania potwierdziły możliwość wystąpienia szkód owadobójczych nicieni w opryskiwaczu, ale nie udzieliły w pełni informacji jak poszczególne elementy instalacji mogą wpływać na ich powstawanie.

## 2. Cel pracy

Celem pracy była ocena wpływu parametrów przepływu cieczy zawierającej owadobójcze nicienie, takich jak ciśnienie cieczy i jej natężenie przepływu poprzez szczelinę zaworu regulacyjnego w instalacji opryskiwacza na przeżywalność owadobójczych nicieni. Celem badań było również analiza zmian przeżywalności nicieni w wyniku wielokrotnego przepływu cieczy przez ten element zaworu.

## 3. Metoda badań

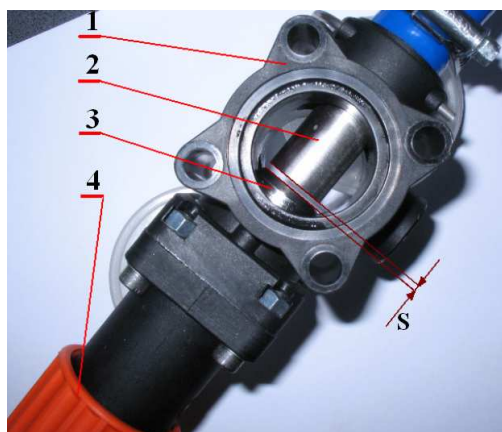
W instalacjach opryskiwaczy zamontowane są zespoły zaworów sterujących przepływem cieczy. Poszczególne zawory służą do włączania i wyłączania obiegu cieczy, regulacji ciśnienia cieczy, oraz regulacji natężenia przepływu. Ponadto ciecz przepływa przed wlotem do rozpylaczy przez zawory antykroplowe montowane na korpusach rozpylaczy. Wielokrotne krążenie cieczy może następować przede wszystkim przez zawory służące do regulacji ciśnienia i natężenia przepływu oraz zawory kompensacyjne pełniące również funkcje regulacyjne w przypadku wyłączenia sekcji rozpylaczy [6, 11, 23]. Zawory regulacyjne posiadają zazwyczaj konstrukcję kulową, stożkową, tłokową lub przeponową. Działanie ich polega na zmienianiu rozmiaru szczeliny, przez którą nadmiar cieczy odpływa z instalacji do zbiornika. W nowoczesnych opryskiwaczach stosowane są dwa podstawowe typy zaworów regulacyjnych: ciśnieniowy i proporcjonalny. Różnica pomiędzy nimi polega na tym, że rozmiar szczeliny odpływowej w zaworze ciśnieniowym zależy od naprężenia sprężyny regulacyjnej, ciśnienia cieczy i natężenia odpływu cieczy z instalacji do zbiornika, natomiast w zaworze proporcjonalnym to rozmiar szczeliny jest regulowany, natomiast ciśnienie i natężenie cieczy przepływającej przez szczelinę jest wynikiem tego ustawienia.

Działanie destrukcyjne zaworów w stosunku do zawartych w odpływającej cieczy nicieni może wynikać ze zjawisk mechanicznych związanych z przemieszczaniem się nicieni z dużą prędkością i ocieraniem o elementy zaworu. Skrajnym przypadkiem masowo występującego zniszczenia nicieni może być zbyt mały rozmiar szczeliny w stosunku do wymiarów nicieni, przez który te makroorganizmy nie będą w stanie się przemieścić. Zjawiska występujące podczas przepływu przez zawór cieczy zawierającej nicienie mogą być podobne do zjawisk występujących podczas homogenizacji mleka [13].

Poza ocieraniem się nicieni o elementy zaworu, na ich uszkodzenia mogą mieć wpływ drgania grzybka zaworowego spowodowane ciśnieniem cieczy, natężeniem przepływu oraz ściśliwością płynu. Zauważono występowanie tych drgań zarówno w dużych instalacjach [9], jak i w homogenizatorach [12].

Zbadanie wszystkich typów zaworów regulacyjnych pod względem ich destrukcyjnego działania na owadobójcze nicienie byłoby trudne do zrealizowania, więc do badań przyjęto uproszczenie polegające na przyjęciu jednego typu zaworu, pozwalającego na regulację wymiaru szczeliny pomiędzy ruchomym grzybkem – czopem zaworu a gniazdem.

Ze względu na prostotę konstrukcji ułatwiającą wykonanie badań, wybrano zawór regulacyjny Firmy Arag serii 463, służący do regulacji natężenia przepływu cieczy w opryskiwaczach sadowniczych. Zawór przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Zawór regulacyjny: 1 – korpus zaworu, 2 – nieruchoma stalowa tuleja, 3 – czop zaworu, 4 – pokrętło zaworu, s – rozmiar szczeliny

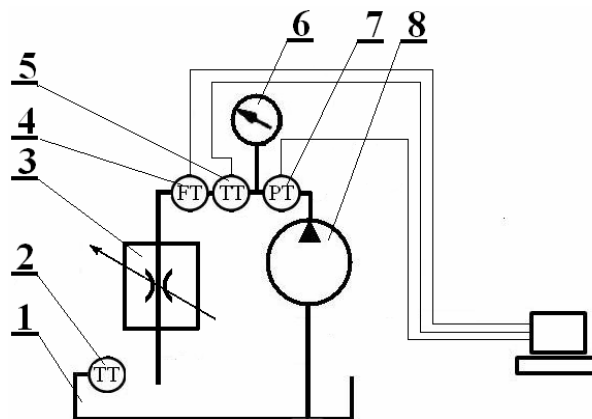
Fig. 1. Control valve: 1 – valve body, 2 – stationary steel tube, 3 – valve plug, 4 – valve handwheel, s – gap size

Według danych producenta zawór dostosowany jest do obciążania maksymalnym ciśnieniem 4 MPa. Podstawowe części zaworu to:

- nieruchoma stalowa tuleja o średnicy zewnętrznej 19,0 mm i średnicy wewnętrznej 16,0 mm z wykonanym fazowaniem na jej obwodzie o szerokości 0,5 mm pod kątem 45° do osi cylindra,
- ruchomy, przesuwany wzdłuż osi cylindra stalowy czop o średnicy 25,0 mm, fazowany na czole, naprzeciw stalowego cylindra, na głębokość 3 mm pod kątem 45° do osi czopa.

Na korpus zaworu, po uszczelnieniu, zostały nałożone pokrywy (skręcone za pomocą śrub), z których jedna miała otwór z przymocowanym przewodem doprowadzającym ciecz. Zawór w instalacji opryskiwacza mocowany jest w taki sposób, że ciecz przepływa przez korpus, a jej nadmiar odpływa przez szczelinę, a następnie poprzez stalową tuleję do zbiornika.

Układ hydrauliczny zmontowany do badań był uproszczoną wersją instalacji opryskiwacza, z podstawowymi elementami, przez które odpływa nadmiar cieczy z instalacji. Składał się z pompy przeponowej Comet BP 40/15 zasilającej układ, badanego zaworu regulacyjnego oraz zbiornika na ciecz. Na przewodzie doprowadzającym płyn do zaworu znajdował się czujnik ciśnienia KELLER typ PA-21SR/100 bar kl. 1, manometr, czujnik temperatury oraz przepływomierz elektromagnetyczny Arag typ 4621BA03333 kl. 0,5 o zakresie pomiaru przepływu cieczy  $1.0 \div 20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-3}$  (rys. 2). Dodatkowy czujnik temperatury zamontowany został w zbiorniku i podłączony był do elektronicznego termometru DT1 mierzącego temperaturę z dokładnością do 0,1°C. Czujniki te przekazywały dane do komputera poprzez kartę pomiarową NI DAQCARD-6024. Dane zostały zbierane przy użyciu programu LabView firmy National Instrument. Użyte oprogramowanie umożliwiało rejestrację danych i wyświetlanie ich na monitorze w czasie rzeczywistym. Poszczególne elementy układu hydraulicznego połączone zostały typowymi przewodami i kształtkami stosowanymi w instalacji opryskiwaczy. Całkowita długość połączeń wynosiła 2,20 m, a wymiary średnic wewnętrznych mieściły się w zakresie 10–32 mm.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – zbiornik, 2 – czujnik temperatury, 3 – zawór regulacyjny, 4 – przepływomierz elektromagnetyczny, 5 – czujnik temperatury, 6 – manometr, 7 – czujnik ciśnienia, 8 – pompa membranowa  
Fig. 2. Measuring position view diagram: 1 – tank, 2 – temperature sensor, 3 – control valve, 4 – electromagnetic flowmeter, 5 – temperature sensor, 6 – manometer, 7 – pressure sensor, 8 – diaphragm pump

Pompa napędzana była za pomocą przystawki napędowej połączonej z nią za pomocą wału przegubowego. Maksymalna moc silnika elektrycznego zamontowanego w urządzeniu napędowym wynosi 7,5 kW. Prędkość obrotowa wału napędowego przystawki była regulowana za pomocą przemiennika częstotliwości prądu w zakresie  $0 \div 62,8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  z dokładnością do  $0,1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  (rys. 3).



Rys. 3. Przystawka napędowa  
Fig. 3. Driving device

Aby dokonać oceny wpływu parametrów przepływu cieczy zawierającej owadobójcze nicienie na przeżywalność nicieni podczas przemieszczania się cieczy przez zawór, zaplanowane wartości czynników wejściowych podzielono je na dwie grupy.

Grupa I – dotyczyła oceny wpływu ciśnienia cieczy na przeżywalność nicieni.

Grupa II – dotyczyła oceny wpływu natężenia przepływu cieczy na przeżywalność nicieni.

Przyjęte do badań parametry grupy pierwszej przedstawione zostały w tab. 1a, a parametry grupy drugiej zawiera tab. 1b. W obu przypadkach przyjęto te same wartości wielokrotności przepływu cieczy w instalacji.

Tab. 1a. Parametry przepływu cieczy przez zawór regulacyjny – grupa I: F – ciśnienie cieczy, MPa, q – natężenie przepływu cieczy,  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , k – wielokrotność przepływu cieczy przez zawór

Tab. 1a. Parameters of liquid flow through valve – group I: F - liquid pressure, MPa, q - liquid flow rate,  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , k - multiple of liquid flow through valve

F	q		k					
0,50	0,1	0,33	0	4,5	10,0	18,0	27,0	32,0
1,60	0,1	0,33	0	4,5	10,0	18,0	27,0	32,0

Tab. 1b. Parametry przepływu cieczy przez zawór regulacyjny – grupa II

Tab. 1b. Parameters of liquid flow through valve – group II

F	q	k					
1,05	0,016	0	4,5	10,0	18,0	27,0	32,0
1,05	0,216	0	4,5	10,0	18,0	27,0	32,0
1,05	0,416	0	4,5	10,0	18,0	27,0	32,0

Straty nicieni mogą wynikać z oporów miejscowych przepływu cieczy i z oporów wynikających z długości przewodu [19]. Aby wykluczyć błąd, wynikający ze strat nicieni poza zaworem, postanowiono sprawdzić jak bardzo na przeżywalność nicieni ma wpływ pompa i układ hydrauliczny z czujnikami pomiarowymi. W tym celu przez układ badawczy, po wymontowaniu zaworu, przepuszczono ciecz z natężeniem przepływu równym  $0,33 \text{ [dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ . Analizowano przeżywalność nicieni przy tych samych krotnościach przepływu, tak jak w przypadku przepływu przez układ z zaworem regulacyjnym.

Materiałem badanym były larwy owadobójczych nicieni *Steinernema feltiae*. Nicienie *Steinernema feltiae* stosowane są przede wszystkim przeciwko ziemiorkom. Zawierał je zakupiony środek ochrony roślin Steinernema system, wyprodukowany przez firmę Biobest BV. Średnia długość nicieni gatunku *Steinernema feltiae* wynosi  $849 \mu\text{m}$ , a szerokość  $26 \mu\text{m}$  [20].

Aby uzyskać wysoką dokładność zmian przeżywalności względnej nicieni, należało stosować do badań materiał o wysokiej (100%) przeżywalności początkowej. Tak doskonały zbiór nicieni można było otrzymać poprzez usunięcie martwych osobników. W tym celu w dniu poprzedzającym wykonanie każdego eksperymentu odważoną ilość biopreparatu wykładano na włókninę na zanurzonej w wodzie siatce. Włóknina ta stosowana jest do filtrowania mleka – Atest PZH 5345/01. Do przygotowania cieczy z nicieniami używano żywych nicieni, pobranych spod siatki, które przedostały się przez otwory we włókninie. Podobna metoda oddzielania żywych nicieni od martwych opisana jest w pracach [3, 5]. Badania przeprowadzono w drugim tygodniu od daty zakupu biopreparatu, w czasie zawierającym się w terminie jego przydatności do użycia. Nicienie przechowywano zgodnie z zaleceniami zawartymi w instrukcji producenta biopreparatu.

Dla każdej kombinacji ciśnienia cieczy i natężenia przepływu przygotowano osobne mieszaniny wody z nicieniami. Pojemność cieczy z nicieniami używanej do przeprowadzenia poszczególnych doświadczeń wynosiła  $6,0 \text{ litrów}$ . Przeciętne stężenie nicieni w cieczy wynosiło ok.  $900 \text{ sztuk w } 1 \text{ ml wody}$ . Każdy eksperyment powtarzano 2 razy. Przed rozpoczęciem eksperymentu pobierano ze zbiornika próby kontrolne cieczy o pojemności  $20 \text{ ml}$  do szczelnie zamykanych plastikowych pojemników. Są to próby oznaczone w tab. 1a i 1 b jako 0-krotność przepływu cieczy. Kolejne próby, również o pojemności  $20 \text{ ml}$ , były pobierane z powracającej z instalacji i wlewającej się do zbiornika cieczy, po n-krotnym przepływie cie-

czy. Następnie, wszystkie naczynia z cieczą przez 24 godziny były przechowywane w inkubatorze w temperaturze  $18^\circ\text{C}$ . Przyjęto, że przez ten czas nicienie, które zostały tylko zranione, lecz nie zabite, zdechną. Następnie z naczyń, po dokładnym zmieszaniu cieczy, pobierano pipetą po trzy próbki o pojemności  $0,050 \text{ ml}$  na szkiełko mikroskopowe i pod mikroskopem zliczano nicienie, klasyfikując je jako żywe lub martwe.

Jako parametr opisujący jakość środka ochrony roślin zawierającego żywe organizmy – owadobójcze nicienie przyjęto przeżywalność względną, która liczona była dla każdej próbki, jako procentowy udział liczby żywych organizmów w stosunku do sumy organizmów żywych i martwych. Opisano ją wzorem (1):

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

gdzie:

$V_r$  – przeżywalność względna, %

$N_l$  – liczba żywych nicieni,

$N_t$  – suma nicieni

Martwe nicienie po niektórych silnie niszczących eksperymentach były rozbite na części, więc do wyznaczenia liczby martwych nicieni przyjęto metodę opisaną w pracy [5]. Obliczano je posługując się wzorem (2).

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

gdzie:

$N_d$  – liczba martwych nicieni,

$N_{dp}$  – liczba cząstek nicieni uznanych wielkością za połowę nicienia,

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

#### 4. Analiza wyników pomiarów

Podczas eksperymentów temperatura przepompowywanej cieczy wzrosła, ale nie przekroczyła  $30^\circ\text{C}$ . Najwyższa jej wartość przy ciśnieniu cieczy  $1,60 \text{ MPa}$  i natężeniu przepływu  $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , po 32-krotnym przepływie cieczy wyniosła  $28,1^\circ\text{C}$  i wzrosła w stosunku do wartości początkowej o  $11,2^\circ\text{C}$ . W czasie trwania eksperymentów nie stwierdzono różnicy pomiędzy temperaturą w przewodzie a temperaturą w zbiorniku z cieczą.

Wyniki pomiarów przeżywalności względnej przedstawione zostały na rys. 4. Podano tam wartości liczbowe wyników

przeżywalności względnej nicieni przy ciśnieniu 1,60 MPa. Wartości liczbowe wyników przeżywalności nicieni przy niskim ciśnieniu cieczy (0,50 MPa) oraz dla przepływu cieczy przez instalację z wyjętym zaworem przedstawiono w tab. 2. Podczas przepływu płynu z nicieniami przez instalację bez zaworu regulacyjnego ciśnienie cieczy w układzie wyniosło 0,126 MPa.

Analiza regresji wyników względnej przeżywalności nicieni dla przepływów bez zaworu regulacyjnego oraz z zaworem przy natężeniu przepływu cieczy  $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  oraz wyników względnej przeżywalności nicieni przy ciśnieniu 0,5 MPa (tab. 2) wykazała brak istotności wpływu ciśnienia i natężenia przepływu cieczy na względną przeżywalność nicieni  $P > 0,05$ . Stwierdzono jedynie istotność wpływu wielokrotności przepływu cieczy na względną przeżywalność nicieni  $P < 0,05$ .

Analiza regresji wyników względnej przeżywalności nicieni, pomiędzy przepływami przy ciśnieniu cieczy 1,60 MPa oraz w porównaniu z wynikami przeżywalności względnej przy ciśnieniu 0,50 MPa wykazała istotność wpływu ciśnienia cieczy, natężenia przepływu cieczy oraz wielokrotności przepływu cieczy na wartość względną przeżywalności nicieni,  $P < 0,01$ . Obliczono również wartości najmniejszych istotnych różnic:

- dla wpływu ciśnienia  $\text{NIR}_F = 1.536$ ,

- dla wpływu natężenia przepływu cieczy  $\text{NIR}_q = 1.536$ ,
- dla wpływu wielokrotności przepływu  $\text{NIR}_k = 2.660$ .

Ponadto stwierdzono liniową zależność przeżywalności względnej nicieni od wielokrotności przepływu cieczy przez układ przy ciśnieniu cieczy równym 1,60 MPa,  $R^2 > 0,9$ .

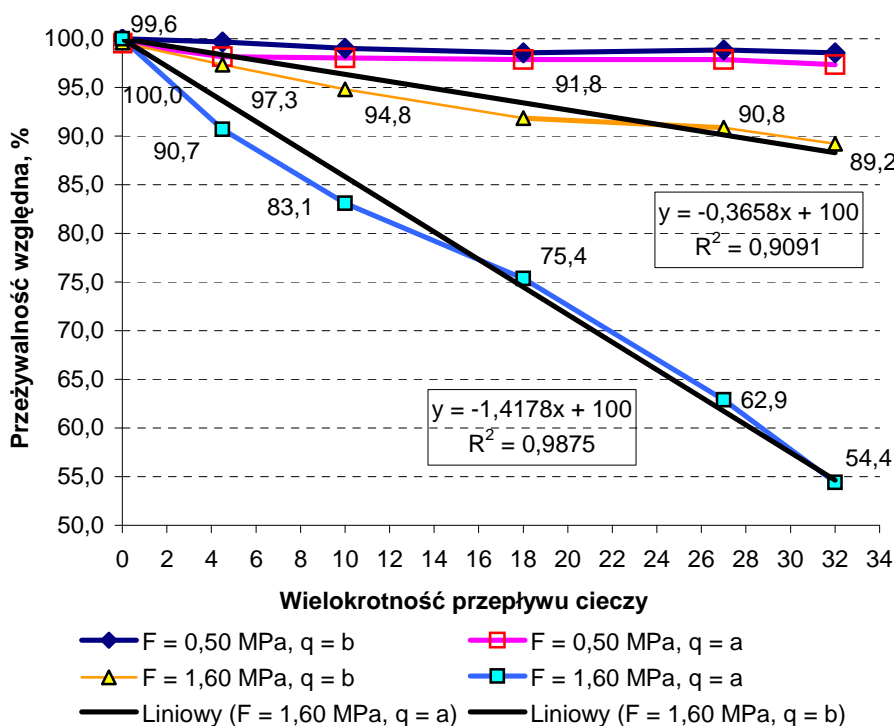
Nie można więc stwierdzić istotnego wpływu natężenia przepływu cieczy na przeżywalność względną nicieni przy ciśnieniu cieczy 0,5 MPa.

Wyniki badań zmian przeżywalności względnej nicieni dla grupy II, według przyjętego do badań planu, zostały przedstawione na rys. 5.

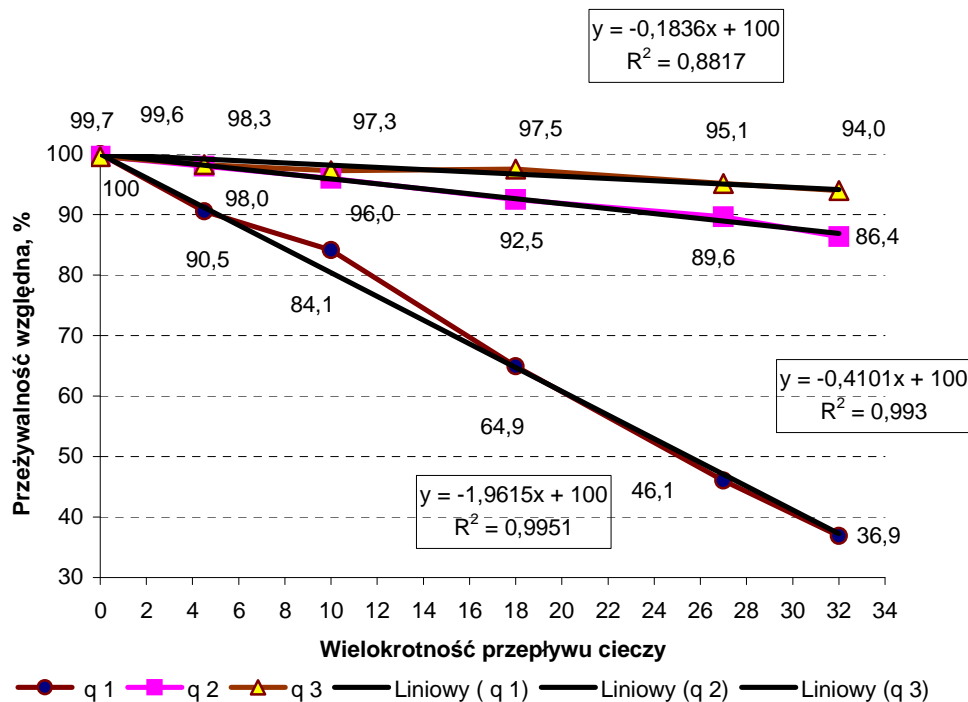
Dwuczynnikowa analiza regresji wyników względnej przeżywalności nicieni dla przepływów przez zawór regulacyjny, przy ciśnieniu cieczy 1,05 MPa wykazała istotną zależność wartości względnej przeżywalności nicieni od natężenia cieczy i wielokrotności przepływu,  $P < 0,01$ . Obliczone wartości najmniejszych istotnych różnic wyniosły:  $\text{NIR}_q = 1.453$ ,  $\text{NIR}_k = 2.055$ . Stwierdzono bardzo silną liniową zależność przeżywalności względnej nicieni od wielokrotności przepływu cieczy przez szczelinę zaworu przy natężeniu przepływu równym  $0,016$  i  $0,216 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $R^2 > 0,9$  oraz silną przy natężeniu przepływu cieczy równym  $0,416 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $R^2 > 0,8$ .

Tab. 2. Wartości średniej względnej przeżywalności nicieni *Steinernema feltiae* przy niskim ciśnieniu cieczy  
Tab. 2. Mean values of relative viability of *Steinernema feltiae* nematodes at lower liquid pressure

	wielokrotność	0	4,5	10	18	27	32
Układ bez zaworu	F = 0,126 MPa Q = $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	99,6	100	99,2	98,4	98,5	98,1
Układ z zaworem	F = 0,50 MPa Q = $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	100	99,7	99	98,6	98,9	98,6
Układ z zaworem	F = 0,50 MPa, Q = $0,10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	99,5	98,2	98	97,9	97,8	97,3



Rys. 4. Wpływ ciśnienia cieczy i natężenia przepływu cieczy przez zawór regulacyjny na przeżywalność względną owadobójczych nicieni: a =  $0,10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , b =  $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
Fig. 4. Influence of liquid pressure and liquid flow rate through control valve on relative nematode viability: a =  $0,10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , b =  $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Rys. 5. Wpływ natężenia przepływu cieczy przez zawór regulacyjny na przeżywalność względną owadobójczych nicieni:  $F = 1,05 \text{ MPa}$ ,  $q_1 = 0,016 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $q_2 = 0,216 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $q_3 = 0,416 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   
 Fig. 5. Influence of liquid flow rate through control valve on relative nematode viability:  $F = 1,05 \text{ MPa}$ ,  $q_1 = 0,016 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $q_2 = 0,216 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $q_3 = 0,416 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

## 5. Dyskusja

Podczas badań rozmiar szczeliny w zaworze, pomiędzy czopem a tuleją, oraz ciśnienie cieczy miały wpływ na natężenie przepływu zawiesiny wraz ze znajdującymi się w niej owadobójczymi nicieniami. Te same czynniki miały wpływ na zniszczenie nicieni. Najniższa wartość przeżywalności wystąpiła przy natężeniu przepływu cieczy równym  $0,016 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , wartości ciśnienia  $1,05 \text{ MPa}$  i maksymalnej ilości przepływów płynu przez zawór równej 32. Najmniejsze straty nicieni otrzymano przy ciśnieniu cieczy równym  $0,50 \text{ MPa}$ . Wartości przeżywalności względnej nicieni przy tym ciśnieniu nie różnią się istotnie od wartości przeżywalności nicieni w cieczy płynącej przez ten układ hydrauliczny bez zaworu. Może to świadczyć o określonej odporności nicieni na dopuszczalne naprężenia mechaniczne, wynikające z ciśnienia dynamicznego panującego w instalacji, ale i również o znacznych stratach nicieni w samym układzie hydraulicznym, bez zaworu.

We wszystkich przeprowadzonych eksperymentach wystąpiła istotna zależność spadku wartości przeżywalności względnej wraz ze wzrostem liczby przepływów cieczy przez badany układ hydrauliczny. Przy ciśnieniach  $1,05$  i  $1,60 \text{ MPa}$  wystąpił wzrost liniowy. Wyznaczone równania regresji opisujące te zależności znalazły się na rys. 4 i 5. Wykorzystując wyliczone współczynniki równań opisujące to zjawisko można teoretycznie określić wartość przeżywalności względnej nicieni po określonej ilości przepływów cieczy przez zawór.

Odwrótnością przeżywalności względnej jest śmiertelność względna nicieni definiowana stosunkiem procentowym ilości martwych nicieni do całkowitej liczby nicieni w próbce. Przeżywalność względną zdefiniowaną wzorem (1) można również zapisać za pomocą wzoru (3).

$$V_r = 100 - M_r \quad (3)$$

gdzie:

$M_r$  – śmiertelność względna nicieni, %.

Po przyrównaniu modelu równania regresji liniowej dla przeżywalności względnej  $y = -Ax + 100$  do wzoru (3) współczynnik  $A$  staje się w rzeczywistości współczynnikiem śmiertelności względnej nicieni. Wartość śmiertelności względnej rośnie wraz ze wzrostem ciśnienia cieczy występującego w instalacji, ale jej wzrost jest coraz mniejszy, gdy wzrasta natężenie przepływu cieczy.

Przy ciśnieniu cieczy równym  $1,60 \text{ MPa}$  i natężeniu przepływu równym  $0,10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  wartość współczynnika  $A$  była równa  $1,4178$  dla, a dla natężenia przepływu cieczy równego  $0,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  przy tym samym ciśnieniu  $A = 0,3658$ . Maksymalną wartość współczynnika  $A = 1,9615$  otrzymano przy ciśnieniu cieczy  $1,05 \text{ MPa}$  i natężeniu przepływu cieczy  $q = 0,016 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Oznacza to, że podczas każdego przepływu cieczy przez zawór regulacyjny w tych warunkach może zginąć około 2% znajdujących się w cieczy owadobójczych nicieni.

## 6. Wnioski

1. Ciśnienie cieczy, natężenie przepływu cieczy i liczba przepływów cieczy zawierającej owadobójcze nicienie przez szczelinę zaworu regulacyjnego w instalacji opryskiwacza mają istotny wpływ na zmiany przeżywalności względnej nicieni.
2. Stwierdzono, że im mniejsze są wartości natężenia przepływu cieczy przez szczelinę zaworu, tym większe występują spadki przeżywalności względnej owadobójczych nicieni podczas wielokrotnego przepływu cieczy przez szczelinę zaworu.

3. Wzrastanie wartości ciśnienia cieczy przepływającej przez szczelinę zaworu regulacyjnego powoduje zwiększenie spadków przeżywalności względnej owadobójczych nicieni.
4. Przy ciśnieniach cieczy 1,05 i 1,60 MPa stwierdzono występowanie liniowej zależności pomiędzy spadkiem wartości przeżywalności względnej nicieni a liczbą przepływów cieczy zawierającej nicienie przez szczelinę zaworu regulacyjnego.
5. Badania wykazały najmniejsze zmiany przeżywalności owadobójczych nicieni znajdujących się w cieczy przepływającej przez szczelinę zaworu przy ciśnieniu równym 0,50 MPa.
6. Nie stwierdzono istotnego wpływu natężenia przepływu cieczy na przeżywalność względną nicieni przy ciśnieniu cieczy 0,50 MPa.

## 7. Literatura

- [1] Bauer M. E., Kaya H., K., Gaugler R., Tabashnik B., E.: Effects of adjuvants on entomopathogenic nematode persistence and efficacy against *Plutella xylostella*. *Biocontrol Science and Technology*, 1997, 7, s. 513-525.
- [2] Chojnacki J.: Zjawiska termiczne w opryskiwaczu w aspekcie aplikacji biologicznych środków ochrony roślin. *Inżynieria Rolnicza*, 2007, 8(96), s. 37-42.
- [3] File 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* 27, 2003, s. 65-72.
- [4] File 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), 405-412.
- [5] 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.
- [6] Gajtkowski A.: *Technika ochrony roślin*. AR Poznań, 2000.
- [7] Gaugler R., Kaya H., K.: *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. Cnc. Press Inc., Corporation Blvd. N. W. Boca Raton, Florida, 2000.
- [8] Grewal P., S.: *Formulation and application technology*. In: Gaugler, R. (ed) *Entomopathogenic Nematodology*. CAB International Wallingford UK 2002, s. 265-287.
- [9] Misra A., Behdinan K., Cleghorn W.L.: Self-excited vibration of a control valve due to fluid-structure interaction. *Journal of Fluids and Structures* 2002, 16(5), s. 649-665.
- [10] Hall F. R., Menn J. J.: *Biopesticides use and delivery*. *Methods in biotechnology* 5. Humana Press Inc. Totowa, New Jersey 1999.
- [11] Hołownicki R.: *Technika opryskiwania roślin dla praktyków*. Kraków: Plantpress, 2006.
- [12] Komsta H., Łukasik K.: *Badania charakterystyki drgań zaworu homogenizującego*. *Inżynieria Rolnicza*, 2008, 9(107), s. 143-150.
- [13] Komsta H., Olszewski K.: *Modernizacja układu regulacji ciśnienia homogenizacji*. *Inżynieria Rolnicza*, 2006, 5(80), s. 283-289.
- [14] 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.
- [15] Mason J., M., Matthews G., A., Wright D., J., *Screening and selection of adjuvants for the spray application of entomopathogenic nematodes against a foliar pest*. *Crop Protection*, 1998, 5, s. 463-470.
- [16] *Metody i środki proponowane do ochrony roślin w uprawach ekologicznych*. Praca zbiorowa pod redakcją Kowalska J., Pruszyński S. IOR Poznań 2007.
- [17] Nilsson U., Gripwall E.: Influence of application technique on the viability of the biological control agents *Verticillium lecanii* and *Steinernema feltiae*. *Crop Protection*, 1999, 18(1), s. 53-59.
- [18] *Organizmy pożyteczne w środowisku rolniczym*. Praca zbiorowa pod redakcją Tomalak M., Sosnowska D. IOR Poznań, 2008.
- [19] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*. Warszawa: WNT, 2001.
- [20] Poinar G. O. Jr.: *Taxonomy and Biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae*. *Entomopathogenic nematodes in biological control*. Eds. Gaugler R. and Kaya H.K. CRC Press Inc., Boca Ration, Florida, USA 1990, s. 23-58.
- [21] Shapiro-Ilan D. I., Gouge D. H., Piggott S. J., Fife J. P.: *Application technology and environmental considerations for use of entomopathogenic nematodes in biological control*. *Biological Control* 2006, 38, s. 124-133.
- [22] Steinke, W. E., and D. K. Giles: *Delivery systems for biorational agents*. In *Biorational Pest Control Agents – Formulation and Delivery*. F. R. Hall and J. W. Barry, eds. ACS Symp. Series 595. Washington, D.C.: American Chemical Society. 1995, 80-94.
- [23] *Technologie prac maszynowych w rolnictwie ekologicznym*. Praca zbiorowa pod redakcją Dulcet E. i Fleszar J. Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2009.
- [24] Tomalak M.: *Wykorzystanie nicieni owadobójczych w ochronie roślin*. *Ochrona Roślin* 9, 2000, s. 2-3.
- [25] Wilson, M.J., Glen, D.M., Hamacher, G.M., Smith, J.U.: *A model to optimise biological control of slugs using nematode parasites*. *Applied Soil Ecology*, 26, 2004, s. 179-191.

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