

VIABILITY OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES IN JET AGITATOR

Summary

*There were performed the investigations of the changes in viability of nematodes – *Stejnernema feltiae*, which repeatedly flew through a jet agitator applied in sprayer installations. The diameters of the agitator nozzles were from 1,2 to 3,0 mm, the maximum value of liquid pressure was 2,0 MPa and the multiplicity of liquid flow was from 0 to 40 times. The regression formula was calculated on the basis of the experiments results. There was noticed that decrease of the nematode viability depends on difference between a mathematical product of liquid pressure and flow multiple and the mathematical product of liquid pressure, flow multiple and diameter of the agitator nozzle.*

PRZEŻYWALNOŚĆ OWADOBÓJCZYCH NICIENI W MIESZADLE STRUMIENIOWYM

Streszczenie

*Przeprowadzono badania nad zmianami przeżywalności nicieni *Stejnernema feltiae*, które przepływały wielokrotnie przez mieszadło strumieniowe stosowane w instalacjach opryskiwaczy. Średnice dysz mieszadła wynosiły od 1,2 do 3,0 mm, maksymalna wartość ciśnienia cieczy wyniosła 2,0 MPa, a wielokrotność przepływu od 0 do 40 razy. Na podstawie wyników badań opracowano równanie regresji. Stwierdzono, że spadek przeżywalności nicieni jest zależny od różnicy pomiędzy iloczynem ciśnienia cieczy i wielokrotności przepływu a iloczynem ciśnienia cieczy, wielokrotności przepływu i rozmiaru średnicy dyszy w mieszadle.*

1. Wstęp

Żywe organizmy, takie jak wirusy, bakterie, grzyby, owadobójcze nicienie oraz roztocza i owady, wykorzystane jako biologiczne środki ochrony roślin coraz bardziej zyskują na znaczeniu w walce ze szkodnikami ze względu na brak ich negatywnego oddziaływania w stosunku do zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego [34]. Jest to również wynikiem rozwoju i wykorzystania do masowej produkcji tych pożytecznych organizmów innowacyjnych metod w biotechnologii [12] oraz ze wzrostem jakości i skuteczności produkowanych biopestycydów z ich wykorzystaniem [17, 21, 36].

Podczas aplikacji część spośród biologicznych środków ochrony roślin może być mieszana z wodą i stosowana podobnie jak środki chemiczne. Są to wirusy, bakterie, grzyby i owadobójcze nicienie. Część biologicznych środków może być stosowana do zwalczania szkodników wewnątrz gleby. Są to nicieniobójcze grzyby lub owadobójcze nicienie [32, 33]. Owadobójcze nicienie, ponadto w odróżnieniu od wszystkich środków chemicznych i reszty środków biologicznych, mogą się poruszać w środowisku, w które zostały naniesione, a w związku z tym samodzielnie poszukiwać zwalczanych szkodników roślin. Owadobójcze nicienie aplikowane są nalistnie lub doglebowo. Pod powierzchnią gleby można umieszczać je podczas nawadniania za pomocą beczkowsów oraz wszystkich typów deszczowni [2, 11, 37, 39], ale powszechnie, jak w przypadku chemicznych środków ochrony roślin, do aplikacji owadobójczych nicieni wykorzystuje się opryskiwacze. Mogą one służyć zarówno do nanoszenia żywych organizmów pod powierzchnię gleby, jak również do opryskiwania nalistnego roślin [1, 3, 21, 24, 27, 31, 38]. Zabiegi z użyciem nicieni mogą być wykonywane za pomocą każdego dostępnego opryskiwacza [31].

Aby podczas rozprzestrzeniania owadobójczych nicieni utrzymać ich jednorodną koncentrację w wodzie i zapobiec sedymentacji na dno zbiornika, wymagane jest stosowanie mieszadeł [3]. W beczkowsach i przyczepach asenizacyjnych montowane są mieszadła mechaniczne [42] lub strumieniowe powietrzne [40]. W opryskiwaczach najczęściej montowane są mieszadła hydrauliczne strumieniowe [18, 20]. Intensywność mieszania cieczy w zbiornikach opryskiwaczy zależy od ciśnienia cieczy i od objętości cieczy w zbiorniku [6, 10, 35]. Podczas przygotowywania cieczy opryskowej, a następnie opryskiwania część z cieczy wraca z powrotem do zbiornika poprzez mieszadło. W ten sposób ciecz może krążyć wielokrotnie w instalacji opryskiwacza, począwszy od zbiornika poprzez pompę i mieszadło.

Owadobójcze nicienie podczas aplikacji za pomocą opryskiwaczy mogą ulegać zniszczeniu [8, 14, 15, 16, 25, 26, 27]. Śmierć owadobójczych nicieni może spowodować temperatura cieczy większa niż 32°C [7, 29]. Spadek przeżywalności nicieni w instalacjach opryskiwaczy zależy od ciśnienia cieczy. Parametrami charakteryzującymi przepływ cieczy jest ciśnienie cieczy i natężenie jej przepływu. Ciśnienie cieczy składa się z ciśnienia statycznego i dynamicznego. Nie stwierdzono szkodliwego oddziaływania na przeżywalność owadobójczych nicieni takich wartości ciśnienia statycznego, które mogą występować w instalacji opryskiwacza [5, 9]. Można więc pominąć wpływ tego ciśnienia i przyjąć, że straty nicieni będą spowodowane wyłącznie działaniem ciśnienia dynamicznego związanego z energią kinetyczną przepływającej wewnątrz opryskiwacza cieczy. Podczas rozpylania przez dysze cieczy z nicieniami zniszczenie nicieni zależy od gatunku nicieni i energii rozpraszania cieczy [13]. Na zniszczenie nicieni podczas przepływu cieczy poprzez mieszadło strumieniowe wpływ może mieć nie tylko rozmiar dyszy zasilającej, ale również zjawiska związane z przemieszczaniem się cieczy w strefie

mieszania strumieni wewnątrz mieszadła i tarciami płynu o elementy wewnętrzne strumienicy [19]. Duża prędkość cieczy wychodzącej z konfuzora może powodować ocieranie się nicieni o ściany zbiorników. Z dotychczasowych badań przepływu cieczy przez dysze wiadomo, że straty nicieni będą zależne również od liczby cyrkulacji cieczy w układzie oraz od rozmiaru średnicy otworu w dyszy zasilającej [4, 8].

2. Cel pracy

Celem pracy było wyznaczenie zależności funkcyjnej uwzględniającej wpływ parametrów eksploatacyjnych stosowanego mieszadła strumieniowego, takich jak: ciśnienie cieczy w instalacji, wielokrotność przepływu cieczy przez mieszadło i rozmiar średnicy dyszy wewnątrz strumienicy, na zmiany przeżywalności owadobójczych nicieni zmieszanych z przepływającą cieczą.

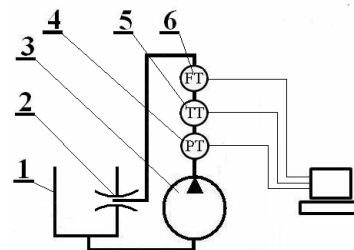
3. Metoda badań

W badaniach stosowano mieszadła strumieniowe produkowane przez firmę Geoline, z końcówkami ceramicznymi o średnicach otworu wylotowego: 1,2; 2,0 i 3,0 mm. Eksperyment przeprowadzono według trzypoziomowego planu badań, stosując do wyznaczenia punktów pomiarowych i opracowania wyników badań program statystyczny Eksperyment Planner 1.0.1 [22, 23, 30]. Przyjęte do badań wartości ciśnienia, zgodnie z planem badań wynosiły: 0,0; 1,0 i 2,0 MPa, a wartości wielokrotności przepływów ustalono na 0; 20; 40 razy. Przyjęcie wartości maksymalnego ciśnienia cieczy w instalacji opryskiwacza wynikało z zawartej w pracy [31] informacji, że ciśnienie nieprzekraczające 2000 nie powinno spowodować znaczącej szkody owadobójczych nicieni. Wprowadzenie do planu badań 40-krotnego przepływu cieczy w instalacji wynikało z szacunkowego obliczenia wielokrotności cyrkulacji dla części cieczy w opryskiwaczu, przy założeniu aplikacji nicieni za pomocą opryskiwacza ze zbiornikiem o pojemności ok. 500 dm³, z pompą o wydajności 2 dm³·s⁻¹ oraz przy natężeniu wypływu cieczy z opryskiwacza na poziomie 0,1 dm³·s⁻¹ (dwie lance).

Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 1. Zbudowane było ze zbiornika o pojemności 100 dm³, w którego bocznej ścianie zamontowano mieszadło, i pompy przeponowej Comet BP 40/15. Całkowita długość połączeń wynosiła 2,40 m, a wymiary średnic wewnętrznych były w zakresie 10-32 mm. Do rejestracji parametrów przepływu cieczy zastosowano czujnik ciśnienia, czujnik temperatury oraz przepływomierz elektromagnetyczny Arag typ 4621BA03333 kl. 0,5 o zakresie pomiaru przepływu cieczy 1-20 dm³·min⁻³ oraz typ 4621BA31414 kl. 0,5 o zakresie pomiaru przepływu cieczy 5-100 dm³·min⁻³. Za pomocą karty pomiarowej z czujników i przepływomierza przekazywano dane do pamięci komputera.

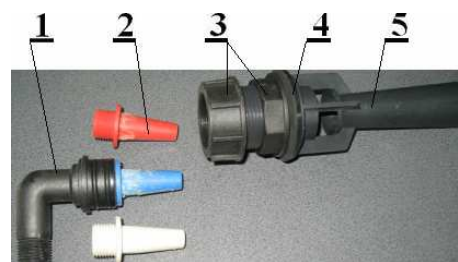
Mieszadło strumieniowe przymocowane było od wewnątrz do ściany zbiornika. Od zewnątrz do mieszadła mocowany był króciec z wymiennymi dyszami. Mieszadło strumieniowe wraz z kompletem dysz przedstawione jest na rys. 2.

Materiałem stosowanym w badaniach był biologiczny środek owadobójczy Steinernema System wyprodukowany przez Biobest N.V., zawierający larwy inwazyjne nicieni *Steinernema feltiae*. Badania przeprowadzono w pierwszym tygodniu po otrzymaniu zakupionego biopreparatu, w czasie zgodnym z terminem przydatności do użycia.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – zbiornik, 2 – mieszadło strumieniowe, 3 – pompa membranowa, 4 – czujnik ciśnienia, 5 – czujnik temperatury, 6 – przepływomierz elektromagnetyczny,

Fig. 2. Test stand view diagram: 1 – tank, 2 – jet agitator, 3 – diaphragm pump, 4 – pressure sensor, 5 – temperature sensor, 6 – electromagnetic flow-meter



Rys. 2. Mieszadło strumieniowe: 1 – króciec zasilający, 2 – wymienna dysza, 3 – nakrętki, 4 – uszczelka gumowa, 5 – dyfuzor

Fig. 2. Jet agitator: 1 – feed pipe, 2 – replacement nozzle, 3 – nuts, 4 – rubber seal, 5 – diffuser

Biopreparat Steinernema System przechowywano w lodówce, w temperaturze 4°C. Do każdego eksperymentu przeprowadzonego według planu badań przygotowywano osobną ciecz – 18 dm³, zawierającą podobną koncentrację nicieni, która wynosiła ok. 1000 sztuk w 1 ml wody. Każdy eksperyment powtarzano 2 razy.

Do wyznaczenia przeżywalności nicieni, według planu badań, ze zbiornika pobierane były próby płynu z nicieniami o pojemności 20 ml. W punkcie pomiarowym, gdy przepływ był 0-krotny lub wartość ciśnienia wynosiła 0, próby pobierano przed rozpoczęciem przepompowywania cieczy. Następnie pobierano płyn ze zbiornika po 20 i 40-krotnym przepływie, przy ustalonej wcześniej wartości ciśnienia. Pobrane próby były przechowywane w inkubatorze w temperaturze 18°C przez 24 godziny. Przyjęto, że po tym czasie wszystkie zranione nicienie będą martwe.

Przeżywalność względną nicieni wyznaczano z pobranych prób cieczy, zgodnie z formułą opisaną 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 – całkowita liczba nicieni, żywych i martwych.

Do obliczenia ilości żywych i martwych nicieni, z każdej próby, po dokładnym jej wymieszaniu, pobierano pipetą po trzy próbki płynu o pojemności 0,05 ml. Żywe i martwe nicienie zliczano pod mikroskopem. Za żywe uznawano te nicienie, które poruszały się lub poruszyły się po dotknięciu ich igłą. Stwierdzono, że martwe nicienie występowały w całości lub

w segmentach. Dokonano podziału segmentów nicieni na klasy pod względem długości, a następnie zliczono je posługując się wzorem (2). Taka metodą obliczania martwych nicieni opisano w pracach [4, 14, 15, 16].

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

gdzie:

N_d – liczba martwych nicieni,

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

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

4. Analiza wyników pomiarów

Przyjęte do badań wartości ciśnienia cieczy przepływającej przez poszczególne dysze mieszadła otrzymywano regulując prędkością obrotową pompy za pomocą elektrycznej przystawki napędowej. Wartości natężenia przepływu cieczy przez otwory dysz mieszadła znajdują się w tab. 1.

Tab. 1. Wartości natężenia przepływu cieczy przez dysze mieszadła

Tab. 1. Value of liquid flow range through jets of agitator

Średnica otworu dyszy [mm]	Natężenie przepływu cieczy [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	
	Ciśnienie cieczy 1,0 [MPa]	Ciśnienie cieczy 2,0 [MPa]
1,2	0,053	0,075
2,0	0,151	0,292
3,0	0,328	0,425

Ponieważ mieszadło strumieniowe połączone było z instalacją zasilającą je w ciecz, przed przystawieniem do badań z cieczą zawierającą biologiczne środki ochrony roślin, wyznaczono jaki spadek ciśnienia występuje w instalacji bez mieszadła przy maksymalnym natężeniu przepływu cieczy w układzie równym $0,425 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wyniosło ono $0,132 \text{ MPa}$ i stanowiło 6,6% wartości ciśnienia przy tym samym natężeniu przepływu cieczy przez zamontowaną w mieszadle dyszę o średnicy 3,0 mm. Spadek ciśnienia cieczy w instalacji jest sumą spadków ciśnienia na skutek strat liniowych na długości przewodu oraz sumą miejscowych strat ciśnienia [28]. Ze względu na dużą różnicę pomiędzy ciśnieniem cieczy w instalacji z dyszą w porównaniu do instalacji bez dyszy, przyjęto uproszczenie polegające na nieuwzględnianiu osobnych strat nicieni spowodowanych przepływem cieczy przez instalację zasilającą mieszadło.

W trakcie badań temperatura cieczy nie przekroczyła 32°C . Przeciętna temperatura początkowa cieczy wynosiła $17,1^\circ\text{C}$. Maksymalną wartość $28,2^\circ\text{C}$ ciecz osiągnęła przy ciśnieniu 2,0 MPa, średnicy otworu dyszy równej 3,0 mm i 40-krotnym przepływie cieczy przez instalację.

Wartości przeżywalności względnej przed rozpoczęciem eksperymentów stanowią przeżywalność początkową. Średnia jej wartość wynosiła 98,0%, co oznacza, że w cieczach przed rozpoczęciem badań było przeciętnie 2% martwych nicieni. Średnia wartość odchylenia standardowego dla wszystkich uzyskanych w eksperymentach wyników przeżywalności względnej wyniosła 2,17, a obliczona tylko dla wyników przeżywalności początkowej była równa 1,32. Wyniki z pomiarów przeżywalności względnej nicieni poddano wieloczynnikowej analizie wariancji. Dla poziomu istotności $\alpha < 0,05$ uzyskano istotność wpływu wszystkich

badanych czynników, tj. ciśnienia, wielokrotności przepływu cieczy, średnicy otworu w dyszy, oraz interakcji pomiędzy poszczególnymi czynnikami na przeżywalność nicieni.

Za pomocą programu komputerowego Eksperiment Planner 1.0, na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono równanie regresji opisujące wpływ badanych czynników na zmiany przeżywalności względnej owadobójczych nicieni *Stejnernema feltiae*. Do wyznaczenia równania regresji przyjęty został model wielomianowy. Równanie regresji, w zakresie wartości badanych czynników, przyjęło postać opisaną wzorem (3).

$$V = 97,81 + 0,04167 \cdot p + 0,0213 \cdot k + 0,07935 \cdot d - 0,3922 \cdot p \cdot k + 0,09855 \cdot p \cdot k \cdot d, \quad (3)$$

gdzie:

V – przeżywalność względna nicieni wyznaczona z równania regresji [%],

p – ciśnienie cieczy w instalacji [MPa],

k – wielokrotność przepływu cieczy przez mieszadło,

d – średnica otworu w dyszy mieszadła strumieniowego [mm].

Zależność opisana wzorem (3) jest wysoce istotna. Dla otrzymanego równania regresji współczynnik korelacji wielowymiarowej $R^2 = 0,9773$. Przeciętna względna różnica pomiędzy wartościami przeżywalności względnej nicieni uzyskanymi z eksperymentów a wynikami wyliczonymi z równania (3), liczona jako pierwiastek z sumy kwadratów poszczególnych różnic wyniosła 1,3%, a absolutna średnia wartość różnic przeżywalności względnej nicieni liczona w podobny sposób była równa 1,1518.

Równanie powstało przy założeniu liniowości wpływu ciśnienia, wielokrotności przepływu cieczy i średnicy dyszy na zmiany przeżywalności nicieni w cieczy. Wyznaczona na podstawie równania (3) zależność przeżywalności względnej nicieni od ciśnienia cieczy i rozmiaru średnicy dyszy przy dwukrotnym przepływie cieczy i przy czterdziestokrotnym przepływie przez mieszadło przedstawiono graficznie na rys. 3a i 3b.

Na podstawie testu Studenta dokonano oceny istotności składników równania (3). Istotnymi składnikami równania przy t-kryt = 2,831 są:

- wartość stała - 97,81, t Studenta = 46,1
- iloczyn - $p \cdot k$, t Studenta = 6,163
- iloczyn - $p \cdot k \cdot d$, t Studenta = 3,969

Pozostałe składniki równania są nieistotne (t Studenta < t-kryt).

Po uwzględnieniu istotności czynników równanie (3) przyjęło postać:

$$V = 97,81 - 0,3922 \cdot p \cdot k + 0,09855 \cdot p \cdot k \cdot d \quad (4)$$

Wartością stałą jest przeżywalność początkowa. Podczas krążenia cieczy, na skutek uszkodzeń nicieni powodujących ich śmierć, spada wartość przeżywalności względnej.

Równanie (4) można uogólnić wzorem (5)

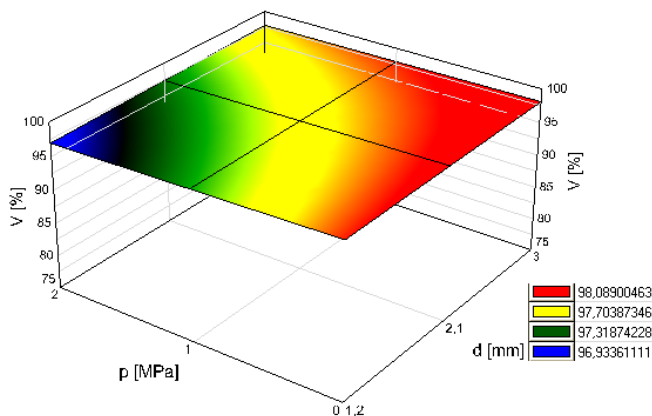
$$V = V_o - B \cdot p \cdot k + C \cdot p \cdot k \cdot d, \quad (5)$$

gdzie:

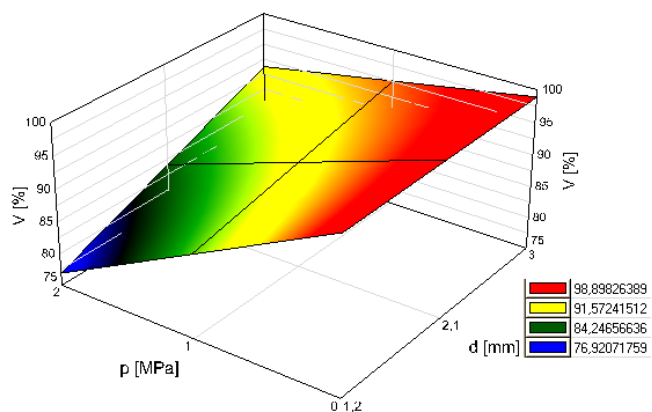
V_o – przeżywalność względna początkowa nicieni [%],

B – współczynnik = 0,3922, [%/MPa],

C – współczynnik = 0,09855, [%/MPa·mm].



Rys. 3a. Wpływ ciśnienia cieczy i średnicy dyszy mieszadła strumieniowego na przeżywalność względną nicieni przy dwukrotnym przepływie cieczy przez mieszadło
 Fig. 3a. Influence of liquid pressure and nozzle diameter of jet agitator on nematodes relative viability at double liquid flow through the agitator



Rys. 3b. Wpływ ciśnienia cieczy i średnicy dyszy mieszadła strumieniowego na przeżywalność względną nicieni przy czterdziestokrotnym przepływie cieczy przez mieszadło
 Fig. 3b. Influence of liquid pressure and nozzle diameter of jet agitator on nematodes relative viability at forty times of liquid flow through the agitator

Równanie (5) można również zapisać w postaci:

$$V = V_o - \Delta V \quad (6)$$

gdzie:

ΔV – spadek przeżywalności względną nicieni [%],

$$\Delta V = B \cdot p \cdot k - C \cdot p \cdot k \cdot d \quad (7)$$

Ciśnienie dynamiczne cieczy w instalacji jest wynikiem liniowej prędkości przepływu cieczy i sumarycznych współczynników oporów miejscowych i liniowych. Stosunek rozmiaru średnicy dyszy w mieszadle strumieniowym do średnicy wewnętrznej przewodu w króćcu strumienicy, kształt i rozmiary elementów strumienicy, kształty i rozmiary rozpylaczy oraz pozostałych elementów instalacji opryskiwacza mają więc wpływ na wartość oporów miejscowych, a więc i na spadek przeżywalności nicieni podczas ich przepływu przez układ hydrauliczny opryskiwacza. Przy stałej, dobranej przez konstruktorów opryskiwacza, średnicy otworu dyszy w mieszadle strumieniowym użyt-

kownik opryskiwacza może regulować wartość ciśnienia cieczy i tak dobierać warunki wykonania opryskiwania, by ilość cykli krążenia cieczy w instalacji była jak najmniejsza. Wybór wartości ciśnienia zależy od doboru rozpylaczy, wymaganego natężenia wypływu cieczy z rozpylaczy oraz rozmiaru uzyskiwanych kropeł podczas rozpylania cieczy. Przy opryskiwaniu dogłębowym, stosując grube i bardzo grube krople, można stosować niższe ciśnienia cieczy niż przy opryskiwaniu nalistnym, które wymaga lepszego rozdrobnienia płynu. Nie można jednak stosować zbyt niskiego ciśnienia cieczy, gdyż spowodowałoby to pogorszenie jakości wymieszania biologicznych środków z wodą. W pracy [6] stwierdzono, że ciśnienie 0,05 MPa pozwalało na dobre wymieszanie środka w zbiorniku opryskiwacza o pojemności 400 dm³ tylko wtedy, gdy zbiornik był wypełniony do połowy cieczą, ale było niewystarczające przy pełnym zbiorniku. Minimalną wartością ciśnienia pozwalającą na uzyskanie dobrego wymieszania nicieni z wodą było 0,10 MPa.

5. Wnioski

- Spadek przeżywalności względnej owadobójczych nicieni zawartych w cieczy przepływającej przez mieszadło strumieniowe wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia cieczy i liczby jej przepływów przez mieszadło.
- Stosowanie w mieszadle strumieniowym dysz o większych rozmiarach powoduje mniejszy spadek przeżywalności względnej przy tych samych ciśnieniach cieczy.
- Spadek przeżywalności względnej owadobójczych nicieni podczas przepływu zawierającej je cieczy przez mieszadło strumieniowe jest zależny od różnicy pomiędzy iloczynem ciśnienia cieczy i wielokrotności jej przepływu przez mieszadło a iloczynem ciśnienia cieczy, wielokrotności przepływu i rozmiaru średnicy dyszy w mieszadle.

6. Literatura

- [1] Brusselman E., Beck B., Temmerman F., Pollet S., Steurbaut W., Moens M., Nuytens D.: The Spray Pattern of Entomopathogenic Nematodes. An ASABE Meeting Presentation. Paper Number: 1009541. David L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh, Pennsylvania, 20–23 June, 2010.
- [2] Cabanillas H E., Raulston J.R.: Effects of furrow irrigation on the distribution and infectivity of *Steinernema riobraviss* against corn earworm in corn. Fund. Appl. Nematol., 1996, 19:273-281.
- [3] Chapple A., Gwynn R.L.: Entomopathogenic application – practical demonstration. W: COST 819 Entomopathogenic nematodes Application and persistence of entomopathogenic nematodes, Proceeding of workshop held at Todí, Perugia, Italy, 16-20 May 1995. Publications of European Communities, 1999.
- [4] Chojnacki J.: Zmiany w przeżywalności owadobójczych nicieni podczas przepływu przez otwór w dyszy. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2011, Vol. 56(1), s. 26-31.
- [5] Chojnacki J.: The resistance of beneficial nematodes to liquid static pressure. 4th International Conference TAE 2010. Trends in Agricultural Engineering, Prague, 2010, s. 241–243.
- [6] Chojnacki J.: Efektywność mieszania biologicznych środków ochrony roślin w zbiorniku opryskiwacza. Inżynieria Rolnicza, 2009, nr 1 (110), s. 69-75.
- [7] Chojnacki J.: Zjawiska termiczne w opryskiwaczach w aspekcie aplikacji biologicznych środków ochrony roślin. Inżynieria Rolnicza, 2007, nr 8 (96), s. 37-42.
- [8] Chojnacki J.: Ocena przeżywalności biologicznych środków ochrony roślin: nicieni - *Steinernema feltiae* rozpraszanych za pomocą dyszy hydraulicznej. Inżynieria Rolnicza, 2006, nr 13, s. 47–53.

- [9] 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.
- [10] Chojnacki J., Jarmocik E.: Wpływ mieszadła eżektorowego na jakość biologicznego środka ochrony roślin. Zeszyty Problemy Postępów nauk Rolniczych, 2005, 508: 21-26.
- [11] Curran J., Patel V.: Use of trickle irrigation system to distribute entomopathogenic nematodes (*Nematoda: Heterorhabditidae*) for the control of weevil pests (*Coleoptera: Curculionidae*) of strawberries. Aust. J. Exp. Agric., 1988, 28:639-645.
- [12] Echlers R.U., Shapiro-Ilan D.I.: Mass Production. W: Nematodes as Biocontrol Agents. Grewal, Echlers, Shapiro-Ilan. CABI Publishing, CAB International Wallingford Oxfordshire OX10 8DE UK, 2005, s. 65-78.
- [13] 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.
- [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, Vol. 23(4), 2007, s. 405-412.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Fridman M.J.: Commercial production and development. W: Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. Gaugler R., Kaya H. K. CNC Press, Inc. Boca Ranton, Florida, 2000, s. 153-172.
- [18] Gajtkowski A.: Technika ochrony roślin. Poznań: AR, 2000.
- [19] Goliński J.A., Troskoleński A.T.: Strumienice. Teoria i Konstrukcja. Warszawa: WNT, 1969.
- [20] Hołownicki R.: Technika opryskiwania roślin dla praktyków. Kraków: Plantpress, 2006.
- [21] Kowalska J., Pruszyński S.: Metody i środki proponowane do ochrony roślin w uprawach ekologicznych. Poznań: IOR, 2007.
- [22] Kukiełka L.: Podstawy badań inżynierskich. Warszawa: PWN, 2002.
- [23] Kukiełka S.: Experiment Planner 1.0 – komputerowy program planowania eksperymentów rozpoznawczych i właściwych oraz identyfikacji i analizy modelu matematycznego obiektu badań. Koszalin, 2002, maszynopis.
- [24] Lello E.R., Patel. M.N., Mathews G.A., Wright D.J.: Application technology for entomopathogenic nematodes against foliar pests. Crop Protection, 1996, 15: 567-574.
- [25] 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.
- [26] Mason J.M., Matthews G.A., Wright D.J.: Appraisal of spinning disc technology for the application of entomopathogenic nematodes. Crop Prot., 1998:17(5):453-461.
- [27] 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.
- [28] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: Mechanika płynów w inżynierii środowiska. Warszawa: WNT, 2001.
- [29] Poinar Jr. G.O.: Entomopathogenic nematodes. W: Franz, J.M. (Ed), Biological Plant and Health Protection. Fischler. Verlag. Stuttgart, 1986, s. 95.
- [30] Polański Z.: Planowanie doświadczeń w technice. Warszawa: PWN, 1984.
- [31] 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.
- [32] Sosnowska D.: Wpływ terminu stosowania grzybów nicieniobójczych na ich skuteczność w ograniczaniu populacji guzaka arachidowego (*Meloidogyne arenaria*). Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin, 2007, 47(4): 212-215.
- [33] Tomalak M.: Wykorzystanie nicieni owadobójczych w ochronie roślin. Ochrona Roślin, 2000, 9, s. 2-3.
- [34] Tomalak M., Sosnowska D.: Organizmy pożyteczne w środowisku rolniczym. Poznań: IOR, 2008.
- [35] Ucar T., Ozkan H.E., Fox R.D., Brazee R.D., Derksen R.C.: Experimental study of jet agitation effects on agrochemical mixing in sprayer tanks. J. Agric. Engng Res., 2000, 75: 195-207.
- [36] Van Lenteren J.C.: Quality control and Production of Biological Control Agents: Theory and Testing Procedures. Cab International, 2003.
- [37] Wang X., Zhu H., Reding M.E., Locke J.C., Leland J.E., Derksen R.C., Spongberg A.L., Krause C.R.: Delivery of chemical and microbial pesticides through drip irrigation systems. Applied Engineering in Agriculture, 2009, Vol. 25(6), s. 883- 893.
- [38] Wright D.J., Peters A., Schroer S., Fife J.P.: Application technology. W: Nematodes as Biocontrol Agents. Grewal, Echlers, Shapiro-Ilan. CABI Publishing, CAB International Wallingford Oxfordshire OX10 8DE UK, 2005, s. 91-106.
- [39] Wright, P.J., Witkowski J.F., Echtenkamp G., Georgia R.: Efficacy and persistence of *S. carpocapsae* (*Rhabditida: Steinernematidae*) applied through center-pivot irrigation systems against larval corn rootworms (*Coleoptera: Chrysomelidae*). J.Econ. Entom., 1993, 86:1348-1354.
- [40] Mat. inform. firmy Annaburger - <http://www.bagpolska.pl/przyczepy-assenizacyjne-annaburger/>
- [41] Mat. informacyjne firmy Geoline - <http://www.geoline.it/database/tecomec/geoline.nsf>
- [42] Mat. inform. firmy Meprozet - <http://www.meprozet.pl/>

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