

## LIQUID FLOW INSIDE SPRAYER INSTALLATION IN ASPECT OF BENEFICIAL ORGANISM APPLICATION

### Summary

*There are the losses of beneficial organisms - biological pest control agents in a sprayer machines during the application. The losses increase with a number of liquid flows inside the sprayer installation. The mathematical formulas to count an amount of number of flows cycles were performed. The analysis of influence of liquid capacity in sprayer tank, sprayer pump flow rate and liquid discharge flow rate from sprayer on the number of liquid circulation cycles inside the sprayer hydraulic system were made by using these mathematical formulas.*

## PRZEPIY W CIECZY WEWNATRZ INSTALACJI OPRYSKIWACZA W ASPEKCIE APLIKACJI POZYTECZNYCH ORGANIZMÓW

### Streszczenie

*W instalacjach opryskiwaczy, podczas aplikacji biologicznych środków ochrony roślin, powstają straty pożytecznych organizmów. Straty wzrastają wraz ze wzrostem liczby przepływów cieczy wewnątrz instalacji opryskiwacza. Wyznaczono modele matematyczne do obliczania liczby cykli przepływów. Za pomocą tych modeli wykonano analizy wpływu pojemności cieczy w zbiorniku, wydajności pompy opryskiwacza oraz natężenia wypływu cieczy z opryskiwacza na ilość cykli krążenia cieczy wewnątrz układu hydraulicznego opryskiwacza.*

### 1. Wprowadzenie

Pożyteczne organizmy, takie jak: wirusy, bakterie, grzyby lub owadobójcze nicienie oraz niektóre owady jako biologiczne środki ochrony roślin służą do zwalczania szkodników roślin. Są one bezpieczne dla ludzi i środowiska naturalnego i stają się alternatywą dla pestycydów opartych o związki chemiczne [7, 8, 11, 17, 18]. Pożyteczne organizmy stosowane są przede wszystkim w rolnictwie organicznym i ekologicznym, w ochronie integrowanej oraz do ochrony roślin i drzew w lasach, parkach, a także do zwalczania dokuczliwych lub chorobotwórczych owadów w zbiornikach wodnych. Do aplikacji części z tych organizmów, których formułacje pozwalają na mieszanie z cieczą, stosowane są opryskiwacze [9]. Zastosowanie urządzeń mechanicznych do aplikacji biologicznych środków ochrony roślin powoduje, że część z zawartych w nich żywych organizmów ulega zniszczeniu. Straty występują w rozpylanych za pomocą opryskiwaczy jajach owadów [21] i sporów pożytecznych grzybów [16], poranione i zabite mogą być też owadobójcze nicienie aplikowane za pomocą opryskiwaczy [1, 2, 5, 13, 16]. Niszczenie mikroorganizmów i makroorganizmów zawartych w przepompowywanych płynach może zachodzić nie tylko w instalacjach opryskiwaczy. Takie zjawiska mogą wystąpić również w innych układach hydraulicznych, np. w pompach rolkowych podczas przetaczania krwi [12, 15]. Przepływy płynów w bioreaktorach również mogą stać się przyczyną uszkodzenia zawartych w nich żywych komórek [3]. Według autorów prac [3, 4, 15] przyczyną strat tych organizmów jest dyssypacja energii zawartej w płynach, w newralgicznych elementach układów hydraulicznych takich jak pompy, dysze lub kapilary.

Wyniki przeprowadzonych badań eksploatacyjnych opryskiwaczy wskazują na ciśnienie cieczy oraz wielokrot-

ne przepompowywanie cieczy w instalacji opryskiwaczy jako eksploatacyjne przyczyny powstawania tam zniszczenia żywych organizmów [1, 2, 5]. Straty pożytecznych organizmów podczas ich aplikacji mogą być znaczne. Straty zarodników grzyba *Verticillium lecanii* rozpylanych za pomocą wysokociśnieniowego opryskiwacza Wanjet przekroczyły 50% i zależały od czasu przepompowania płynu wewnątrz instalacji.

Powodem wielokrotnego krążenia cieczy w instalacji opryskiwacza jest mniejsze od wydajności pompy natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza. Część cieczy powraca do zbiornika poprzez mieszadło służące do utrzymywania stałej koncentracji środka ochrony roślin w płynie, a pozostała ilość cieczy powraca do zbiornika poprzez zawór przelewowy. Podczas kolejnych cykli przepływu przez instalację energia mechaniczna pochodząca od pompy opryskiwacza, a zawarta w krążącej cieczy, zamienia się w energią cieplną powodując jej nagrzewanie. Wzrost temperatury powyżej dopuszczalnej dla żywych organizmów wartości może powodować śmierć biologicznych czynników w opryskiwaczu [2]. Dla owadobójczych nicieni przekroczenie temperatury cieczy równej 32°C może być przyczyną ich śmierci [19].

Ustalenie zależności pomiędzy ilością cykli krążenia cieczy a natężeniem wypływu cieczy z opryskiwacza może pomóc w ograniczeniu strat żywych organizmów. Próbę taką podjęła Fife [5], która starała się zbadać nakładanie się zjawisk destrukcyjnych wytwarzanych przez pompę w stosunku do wielokrotnie przepompowywanych z cieczą nicieni. Posłużyła się formułą matematyczną opisującą krążenie cieczy w opryskiwaczu w zależności od czasu trwania eksperymentu zacierpniętą z pracy [20]. Formuła ta, nie pozwalała na obliczenie w sposób bezpośredni całkowitej liczby przepływów cieczy przez pompę. Nie pozwala również optymalizować warunków przeprowadzenia zabiegu.

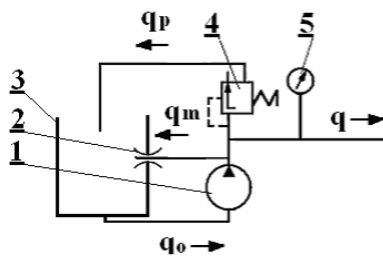
## 2. Cel badań

Celem badań było znalezienie zakresu optymalnych parametrów wykonywania zabiegu aplikacji żywych organizmów za pomocą opryskiwacza tak, aby uniknąć nadmiernej strat tych pożytecznych organizmów w wyniku wielokrotnego przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza.

## 3. Opracowanie metodyczne

Aby zrealizować cel pracy postanowiono wyznaczyć formuły matematyczne, za pomocą których można by było dokonać oceny wpływu takich czynników jak pojemność cieczy w zbiorniku, wydajność pompy opryskiwacza oraz natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza na ilość cykli przepływu cieczy wewnątrz układu hydraulicznego opryskiwacza.

Do analizy przyjęto typową instalację hydrauliczną opryskiwacza posiadającego własny napęd lub agregatowego z ciągnikiem rolniczym. Składa się ona ze zbiornika na ciecz opryskową, pompy, mieszadła hydraulicznego, zaworu regulacyjnego, często połączonego z zaworem głównym oraz zaworów sekcyjnych i rozpylaczy [6, 10]. Uproszczony schemat układu hydraulicznego, w którym wielokrotnie krąży ciecz przedstawiony został na rys. 1.



Rys. 1. Schemat instalacji opryskiwacza: 1 – pompa, 2- mieszadło strumieniowe, 3 – zbiornik, 4 – zawór regulacyjny, 5 – manometr  
Fig. 1. Sprayer installation view diagram: 1 – pump, 2 – jet agitator, 3 – tank, 4 – control valve, 5 – manometer

Prędkość przemieszczania się opryskiwacza po polu, szerokość pracy i dawka cieczy na powierzchnię pola mają wpływ na sumaryczne natężenie wypływu cieczy z rozpylaczy, które stanowi tylko część wydajności pompy. Bilans natężeń przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza można opisać równaniem:

$$q_o = q + q_m + q_p = q + q_z \quad (1)$$

gdzie:

- $q_o$  – wydajność pompy, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q$  – sumaryczne natężenie wypływu cieczy 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, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q_z$  – całkowite natężenie cieczy wracającej do zbiornika, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q_o$  – flow rate of pump, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q$  – summary liquid discharge flow rate through nozzles, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q_m$  – flow rate of liquid returning to the tank through hydraulic agitation, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q_p$  – flow rate of liquid returning to the tank through control valve, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q_z$  – total flow rate of liquid returning to the tank, [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

W celu określenia liczby cykli przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza obejmującą pompę, mieszadło, zawór regulacyjny i zbiornik można określić ile cieczy powróci do zbiornika po przepłynięciu całej pojemności cieczy zawartej poprzednio w zbiorniku. Opisuje to wzór (2):

$$Q_1 = Q - Q \cdot \frac{q}{q_0} \quad (2)$$

gdzie:

- $Q$  – początkowa objętość cieczy w zbiorniku, [ $\text{dm}^3$ ],
- $Q_1$  – objętość cieczy w zbiorniku po jej powrocie, po jej jednokrotnym przepływie przez instalację opryskiwacza, [ $\text{dm}^3$ ],
- $Q$  – initial liquid volume in the tank, [ $\text{dm}^3$ ],
- $Q_1$  – liquid volume returning to the tank after its single passage through of the sprayer installation, [ $\text{dm}^3$ ].

Wstępnie założono, że początkowa objętość cieczy w zbiorniku jest równa pojemności zbiornika opryskiwacza. Po uproszczeniu wzór (2) można zapisać w postaci:

$$Q_1 = Q \cdot \left(1 - \frac{q}{q_0}\right) \quad (3)$$

Pojemność cieczy w zbiorniku będzie maleć w stosunku do objętości zbiornika po kolejnych jej przepływach przez instalację. Zmiany pojemności cieczy opisuje równanie 4 według [14]:

$$Q_n = Q \cdot \left(1 - \frac{q}{q_0}\right)^k \quad (4)$$

gdzie:

- $k$  – liczba cykli przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza,
- $Q_n$  – objętość cieczy w zbiorniku po jej powrocie, po jej n-krotnym przepłynięciu przez instalację opryskiwacza, [ $\text{dm}^3$ ],
- $k$  – number of cycles of the liquid flows through the installation,
- $Q_n$  – liquid volume returning to the tank after its n-repeated passage through of the sprayer installation, [ $\text{dm}^3$ ].

Do określenia, jaka procentowa część początkowej pojemności cieczy wróci do zbiornika po jej n-krotnym przepłynięciu przez instalację posłużmy wzór (5):

$$z_n = \frac{Q_n}{Q} \cdot 100, \quad (5)$$

gdzie:

- $z_n$  – stosunek objętości cieczy powracającej do zbiornika do początkowej pojemności cieczy, [%],
- $z_n$  – relation of liquid volume returning to the tank to the initial liquid volume, [%].

Wprowadzając zależność (6) jako współczynnik wypływu cieczy:

$$l = \frac{q}{q_0} \quad (6)$$

gdzie:

- $l$  – współczynnik wypływu cieczy z opryskiwacza
- $l$  – coefficient of liquid discharge from the sprayer.

Po podstawieniu do wzoru 5 zależności 4 i 6 można otrzymać zależność:

$$z_n = 100 \cdot (1-l)^k \quad (7)$$

Wzór 7 można zapisać również w innej postaci:

$$z_n = 100 \cdot e^{k \cdot \ln(1-l)} \quad (8)$$

Funkcja opisana równaniem 8 pokazuje, jaka procentowo część początkowej pojemności cieczy równej objętości zbiornika powróci do zbiornika w zależności od współczynnika wypływu cieczy oraz liczby cykli przepływu cieczy przez pompę.

Krażenie cieczy w instalacji opryskiwacza będzie trwało tak długo, aż poziom płynu w zbiorniku na tyle się obniży, że pompa zacznie wciągać powietrze. Można założyć, że ta pozostała w układzie hydraulicznym pojemność cieczy stanowi tylko tę pojemność cieczy, która pozostanie w pompie, przewodach, zaworach i mieszadło. Wtedy wartość  $z_r$  osiągnie minimum. Przyjmując, że początkowa pojemność cieczy w opryskiwaczu jest równa pojemności zbiornika to wg normy [22] dopuszczalna wartość  $z_r$  nie powinna przekraczać:

- 4%, gdy pojemności zbiornika jest mniejsza niż 400, [dm<sup>3</sup>],
- 3%, w przypadku zbiorników o pojemności 400-1000, [dm<sup>3</sup>],
- 2%, gdy pojemność zbiornika jest większa niż 1000, [dm<sup>3</sup>].

Według [10] do mieszadła powinno być skierowane natężenie przepływu cieczy liczone w dm<sup>3</sup>·min<sup>-1</sup> nie mniejsze niż 5% pojemności zbiornika opryskiwacza. Zgodnie z tą regułą natężenie przepływu cieczy przez mieszadło może stanowić, w zależności od ciśnienia cieczy w opryskiwaczu i wydajności pompy, średnio od ok. 10 do 50% wydajności pompy. Pozostała część wydajności pompy może wypłynąć poprzez rozpylacze. Podstawiając wartość współczynnika wypływu cieczy z opryskiwacza  $l=0,5$  do równania 8 uzyskuje się zależność:

$$z_n = 100 \cdot e^{-0,0513k} \quad (9)$$

W przypadku, gdy  $l=0,1$  równanie (8) przyjmie postać:

$$z_n = 100 \cdot e^{-0,1054k} \quad (10)$$

Dla tego samego opryskiwacza w przypadku opryskiwania z bardzo małym sumarycznym natężeniem wypływu cieczy, np. za pomocą lanc współczynnik wypływu cieczy z opryskiwacza może przyjąć wartość  $l=0,05$ . Równanie 8 po podstawieniu tej wartości współczynnika wypływu cieczy przedstawiać się będzie następująco:

$$z_n = 100 \cdot e^{-0,6931k} \quad (11)$$

Wyznaczone matematycznie przykłady przedstawione zostały graficznie na rys. 2. Końcową wartość  $z_n$  w zbiorniku, dla której sporządzono wykres, przyjęto równą 3%.

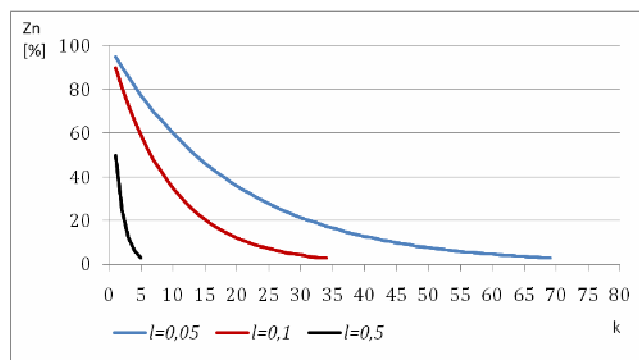
Wykres wskazuje, jakie procentowo części cieczy poddawane są wzrastającym liczbom cykli krążenia płynu w instalacji opryskiwacza. Wynika z niego, że najbardziej narażone na zniszczenie są żywe organizmy wypływające wraz z końcową pojemnością płynu w zbiorniku.

Aby znaleźć funkcję opisującą ilość cykli krążenia cieczy w zależności od współczynnika wypływu cieczy należy przekształcić wzór 8 logarytmując go stronami do postaci:

$$\ln z_n = \ln 100 + k \cdot \ln(1-l) \quad (12)$$

po przekształceniu:

$$k = \frac{\ln z_n - \ln 100}{\ln(1-l)} \quad (13)$$



Rys. 2. Wpływ liczby cykli przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza przy wartościach współczynników wypływu cieczy z opryskiwacza równych 0,05, 0,1 i 0,5 na stosunek objętości cieczy powracającej do zbiornika do objętości początkowej -  $z_n$ ;  $k$  – liczba cykli przepływu cieczy przez instalację,  $l$  – współczynnik natężenia wypływu cieczy z opryskiwacza

Fig. 2. Effect of number of liquid circulation cycles through the sprayer installation at the coefficient of liquid discharge from the sprayer equal to 0,05, 0,1 and 0,5 on relation of liquid volume returning to the tank to the initial liquid volume -  $z_n$ ;  $k$  - number of cycles of the liquid flows through the installation,  $l$  - coefficient of liquid discharge from the sprayer

Przed rozpoczęciem opryskiwania ciecz jest przygotowywana do wykonania zabiegu. Po wprowadzeniu do zbiornika środka ochrony roślin następuje jego mieszanie z płynem. Aby uwzględnić dodatkową ilość cyrkulacji cieczy, które są wynikiem tego mieszania w zbiorniku opryskiwacza, przyjęto do obliczeń czas mieszania w zakresie od 5 do 10 minut [10]. Odpowiada to od 1 do 2 cyrkulacji cieczy w opryskiwaczu.

$$K = k_0 + k \quad (14)$$

gdzie:

$K$  – całkowita liczba cykli przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza do opróżnienia zbiornika,

$k_0$  – liczba cykli przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza podczas przygotowywania cieczy przed opryskiwaniem,

$K$  – number of cycle of the liquid flows through sprayer installation until the emptying of the tank.

$k_0$  – number of cycles of the liquid flows through the installation during preparing of liquid before spraying,

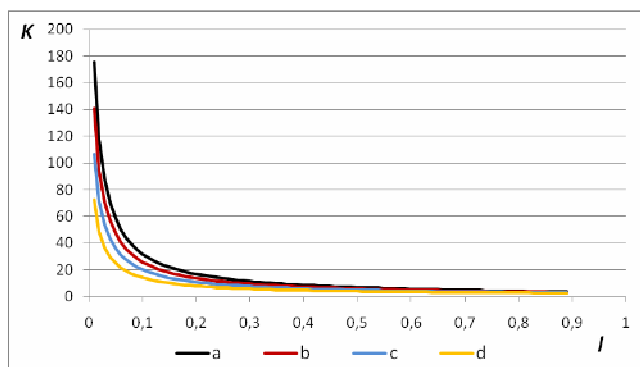
$$K = k_0 + \frac{\ln z_n - \ln 100}{\ln(1-l)} \quad (15)$$

Maksymalną wartość cykli przepływu cieczy przez instalację, po której nastąpi opróżnienie zbiornika opryskiwacza można wyznaczyć z równania 15 przyjmując w zależności od pojemności zbiornika wartość  $z_n$ . Przy założeniu pojemności zbiornika opryskiwacza od 400 do 1000 dm<sup>3</sup> i przyjęciu wartości  $z_n$  równej 3% oraz wartości współczynnika  $k_0 = 2$  otrzyma się wzór:

$$K = 2 - \frac{3,51}{\ln(1-l)} \quad (16)$$

Na rys. 3 przedstawiono graficzną formę równania 16, uwzględniając pełne i częściowe wypełnienie zbiornika.

Analizując wykres na rys. 3 można stwierdzić, że przy wypełnieniu zbiornika cieczą do pełnej jego pojemności – linia „a” – następuje powolny, prawie liniowy wzrost liczby cykli przepływu cieczy przez instalację opryskiwacza wraz ze zmniejszaniem się wartości  $l$  do momentu, gdy w przybliżeniu wartość ta równa jest 0,2.



Rys. 3. Wpływ współczynnika wypływu cieczy z opryskiwacza –  $l$  na liczbę cykli przepływu cieczy przez instalację do momentu opróżnienia zbiornika –  $K$ , przy napełnieniu cieczą: a – pełna pojemność zbiornika, b – połowa pojemności zbiornika, c – ćwierć pojemności zbiornika, d – jedna ósma pojemności zbiornika

Fig. 3. Effect of coefficient of liquid discharge from the sprayer -  $l$  on the number of cycles of the liquid flows through sprayer installation until the emptying of the tank –  $K$ , at filling with the liquid: a - full of the tank capacity, b - half of the tank capacity, c - quarter of the tank capacity, d - one eighth of tank capacity

Gdy współczynnik wypływu cieczy spadnie poniżej tej wartości, liczba cykli znacznie wzrasta, a po spadku wartości  $l$  poniżej 0,05 następuje gwałtowny wzrost wielokrotności przepływów cieczy w opryskiwaczu. Stosowanie tak małych współczynników wypływu cieczy z opryskiwacza jest niekorzystne również ze względu na nakłady energetyczne. Ponadto wielokrotne przepompowywanie cieczy będzie powodować wzrost temperatury płynu w zbiorniku.

Jednym ze sposobów ograniczenia liczby cykli przepływu cieczy przy małych współczynnikach wypływu płynu z opryskiwacza jest zmniejszenie objętości cieczy w zbiorniku. Linie „b”, „c”, i „d” na rys. 3 przedstawiają kolejno zmniejszającą się całkowitą liczbę cykli krążenia cieczy przy wypełnieniu zbiornika cieczą do połowy, ćwierci i jednej ósmej pojemności zbiornika. Powstały one jako wykresy równania 15, po podstawieniu wartości pozostałości cieczy w instalacji równej 6% dla połowy zbiornika, 12% dla ćwierci pojemności i 24% dla jednej ósmej pojemności zbiornika. Zwielokrotnianie końcowego stosunku objętości cieczy pozostającej w opryskiwaczu do początkowej pojemności wynika z tego, że w instalacji zawsze musi pozostać ta sama ilość cieczy po zakończeniu opryskiwania.

#### 4. Podsumowanie

Dobierając parametry wykonania aplikacji środków ochrony roślin, a szczególnie żywych organizmów, za pomocą opryskiwacza należy dążyć do tego, aby natężenie wypływu cieczy z opryskiwacza było jak największe, zbliżone do wydajności pompy, zmniejsza się wtedy całkowita liczba cykli przepływu cieczy przez instalację do momentu opróżnienia zbiornika, a w rezultacie wysoki współczynnik wypływu cieczy z opryskiwacza umożliwia uzyskanie mniejszych strat żywych organizmów.

Zastosowanie małych natężeń wypływu cieczy z opryskiwacza, szczególnie gdy stosunek natężenia wypływu w stosunku do wydajności pompy jest mniejszy od 0,05, powoduje gwałtowny wzrost liczby cykli przepływu cieczy przez instalację.

Przygotowanie mniejszych objętości cieczy w zbiorniku niż pojemność zbiornika powoduje zmniejszenie ilości cykli krążenia cieczy w instalacji opryskiwacza, które wystąpią do momentu opróżnienia zbiornika z cieczy.

#### 5. Literatura

- [1] Chojnacki J.: Ocena przeżywalności biologicznych środków ochrony roślin: nicieni – *Steinernema feltiae* rozpraszanych za pomocą dyszy hydraulicznej. Inżynieria Rolnicza, 2006, 13: 47-53.
- [2] Chojnacki J.: Zjawiska termiczne w opryskiwaczu w aspekcie aplikacji biologicznych środków ochrony roślin. Inżynieria Rolnicza, 2007, 8 (96): 37-42.
- [3] Croughan M.S., Wang D.I.: Growth and death in overagitated microcarrier cell cultures. Biotechnol Bioeng., 1989, 33: 731-744.
- [4] 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. Biotechnol Bioeng., 2004, 86: 96-107.
- [5] 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): 405-412.
- [6] Gajtkowski A.: Technika ochrony roślin. Poznań: AR, 2000.
- [7] Georgis R.: Formulation and application technology. W: Gaugler, R.; Kaya, H.K.: Entomopathogenic nematodes in biological control. CRC Press, Boca Raton: 173-191.
- [8] Grevall 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: 79-90.
- [9] Hall F.R., Menn J.J.: Biopesticides use and delivery. Methods in biotechnology. Humana Press Inc. Totowa, New Jersey, 1999.
- [10] Hołownicki R.: Technika opryskiwania roślin dla praktyków. Kraków: Plantpress, 2006.
- [11] Kowalska J., Pruszyński S.: Metody i środki proponowane do ochrony roślin w uprawach ekologicznych. Praca zbiorowa IOR Poznań, 2007.
- [12] Leverette, L.B., Hellums, J.D., Alfrey, C.P., Lynch, E.C.: Red blood cell damage by shear stress. Biophysical Journal, 1972, 12, 257-273.
- [13] Łączyński A., De Moor A., Dierickx W., Moens M., Darius P., Sonck B., Ramon H.: The effect of hydraulic agitation on the viability of the nematode *Heterorhabditis bacteriophora*. Crop Protection, 2006, 25: 1135-1141.
- [14] Matłoka M. Matematyka dla ekonomistów. Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, 2003.
- [15] Mulholland J.W., Shelton J.C. Luo X.Y.: Blood flow and damage by the roller pumps during cardiopulmonary by pass. Journal of Fluids and Structures 2005, 20: 129-140.
- [16] 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): 53-59.
- [17] Tomalak M.: Wykorzystanie nicieni owadobójczych w ochronie roślin. Ochrona Roślin, 2000, 9: 2-3.
- [18] Tomalak M., Sosnowska D.: Organizmy pożyteczne w środowisku rolniczym. Praca zbiorowa IOR Poznań, 2008.
- [19] Poinar Jr., G.O.: Entomopathogenic nematodes. W: Franz J.M. (Ed), Biological Plant and Health Protection, Fischler. Verlag, Stuttgart, 1986: 95.
- [20] Reichard D. L., Zhu H., Downer R. A., Fox R. D., Brazee R. D., Ozkan H.E., Hall F.R.: A system to evaluate shear effects on spray drift retardant performance. Transactions of the ASAE, 1996, 39(6): 1993-1999.
- [21] Sehseh E., Albert G., Kleisinger S.: Evaluation of low pressure liquid atomizers for biological pest control in spatial crops. International Conference "Environmentally Spray Application Techniques", 4-6 October 2004, Warsaw Book of Abstracts.
- [22] 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.