

Materiały Wysokoenergetyczne / High Energy Materials, 2018, 10, 13 – 21; DOI: 10.22211/matwys/0165
ISSN 2083-0165

Copyright 2018 © Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

Article is available under the Creative Commons Attribution-Noncommercial-NoDerivs 3.0 license CC BY-NC-ND 3.0.

Praca doświadczalna / Research paper

Analiza zagrożenia pożarowo-wybuchowego stwarzanego przez wybrane środki ochrony roślin wraz z oceną ich potencjalnego wpływu na środowisko

Analysis of the fire and explosion hazard posed by selected plant protection products with an assessment of their potential impact on the environment

Bożena Kukfisz

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, ul. Słowackiego 52/54,
01-629 Warszawa, PL

<https://orcid.org/0000-0001-5049-7316>

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagrożenia stwarzane przez wybrane środki ochrony roślin stosowane w rolnictwie zawierające substancje aktywne z grupy pyretroidów (lambda-cyhalotryna, beta-cyflutryna i deltametryna), które wytypowano na podstawie rejestru środków ochrony roślin dopuszczonych do obrotu zezwoleniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi [1, 2]. Wyznaczono parametry wybuchowe stwarzane przez obłoki pyłów wybranych substancji i preparatów oraz zakwalifikowano je do odpowiednich klas wybuchowości [3, 4]. W zakresie zagrożenia pożarowego metodą kalorymetru stożkowego przy poziomym ułożeniu próbki przy obecności palnika pilotowego określono szybkość wydzielania ciepła [5].

Abstact: The article presents the threats posed by selected plant protection products used in agriculture containing active substances from the pyrethroid group (lambda-cyhalothrin, beta-cyfluthrin and deltamethrin), which were selected on the basis of the register of authorized plant protection products granted marketing authorization by the Ministry of Agriculture and Rural Development [1, 2]. Explosive parameters created by dust clouds of selected substances and preparations were determined and classified in appropriate explosion classes [3, 4]. In terms of flammability danger, values of heat release rate were determined on the basis of calorimetric analysis of specimens exposed in the horizontal orientation to controlled levels of irradiation with an external igniter [5].

Słowa kluczowe: środki ochrony roślin, charakterystyka wybuchowości, kinetyka generacji ciepła

Keywords: plant protection products, explosion characteristics, heat release rate

1. Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie na żywność, spowodowane dynamicznym wzrostem liczby ludności na świecie wymusza intensyfikację rolnictwa, m.in. poprzez zastosowanie pestycydów. Pomimo dużego zagrożenia dla środowiska i człowieka są one wciąż nowoczesnym i najskuteczniejszym środkiem stosowanym przeciwko szkodliwym owadom, gryzoniom, grzybom, wirusom, bakteriom i chwastom atakującym uprawy

rolne. Wykorzystywane są również w celu zabezpieczenia żywności w czasie transportu i magazynowania, konserwacji drewna oraz w ochronie lasów. Szacuje się, że do tej pory wyprodukowano ponad 1000 różnych środków zawierających pestycydy. Środki ochrony roślin, ze względu na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne, zgodnie z klasyfikacją towarów niebezpiecznych w transporcie przyporządkowywane są do klasy 3 (materiały ciekłe zapalne), klasy 6.1 (materiały trujące) lub klasy 9 (różne materiały i przedmioty niebezpieczne) [6]. Wytypowane do badań preparaty zakwalifikowane zostały do klas obowiązujących w przepisach ADR, które przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Klasyfikacja wytypowanych do badań pestycydów w transporcie zgodnie z umową ADR

Nazwa preparatu	Substancja aktywna	Numer UN	Klasa	Grupa pakowania
Decis Mega 50 EW	Deltametryna	3352	6.1	III
Bulldock 025 EC	<i>Beta</i> -cyflutryna	1993	3	III
Karate Zeon 050 CS	<i>Lambda</i> -cyhalotryna	3082	9	III

2. Wpływ na środowisko substancji aktywnych w wytypowanych środkach ochrony roślin

Substancja aktywna, czyli substancja biologicznie czynna jest podstawowym składnikiem danego preparatu, gdyż determinuje jego specyfikę działania. Charakteryzuje się wysoką aktywnością wobec określonych organizmów. Zwykle dany pestycyd opiera się na jednej substancji aktywnej, której zawartość jest dokładnie określona. W skład środka ochrony roślin, poza substancją aktywną wchodzi substancje pomocnicze, takie jak: nośnik, aktywator, stabilizator i zwilżacz.

2.1. Deltametryna

Deltametryna jest substancją aktywną w środku Decis 2,5 EW, który w swoim składzie zawiera deltametrynę (50 g/dm³), solwent naftowy (2,5-25%), ester fosforanowy alkoholu oksyetylowego (2,5-25%), cykloheksanon (~25%) oraz glicerynę/glicerol (powyżej 1%). Jest to insektycyd w formie koncentratu do sporządzania emulsji wodnej. Środek ten przeznaczony jest do zwalczania takich szkodników, jak: kwiecień jabłkowiec, pchełki, słodyszek rzepakowy, mszyce, larwy i chrząszcze stonki ziemniaczanej, wciornastki, gąsienice i mączliki. Deltametryna zalicza się do pyretroidów, jej zawartość w badanym preparacie wynosiła 2,8%.

Deltametryna jest bardzo trwała pod wpływem działania powietrza i jest stabilna w temperaturze do 190 °C. W przypadku narażenia na promienie słoneczne lub fale UV występuje izomeryzacja *cis-trans*, rozszczepienie wiązania estrowego oraz utrata atomów bromu. Deltametryna jest bardziej stabilna w środowisku kwaśnym, niż zasadowym. Czas połowicznego rozpadu deltametryny wynosi 2,5 dnia (przy wartości pH wynoszącej 9 oraz temperaturze 25 °C).

Deltametryna jest substancją palną, w przypadku pożaru może powodować wydzielanie toksycznych i drażniących produktów spalania i gazów. Główne substancje emitowane podczas termicznej dekompozycji deltametryny w temperaturze do 200 °C to toluen, 3-fenoksybenzaldehyd i toksyczna deltametryna. W temperaturze około 300 °C główne substancje emitowane podczas termicznej dekompozycji deltametryny to fenol, 2-bromo-4-oktylofenol, 4-fenoksybenzonieryl oraz *m*-fenoksyfenylo-acetonitryl (substancje szkodliwe dla środowiska wodnego). W temperaturze do 900 °C główne substancje emitowane podczas termicznej dekompozycji deltametryny to eter difenylowy, dibenzofuran, *m*-fenoksyfenylo-acetonitryl, 3-fenoksybenzaldehyd oraz 1-metylo-3-fenoksybenzen [2]. Preparaty w postaci ciekłej, zawierające rozpuszczalniki organiczne mogą być łatwopalne. W takim przypadku występuje również ryzyko wybuchu. Zgodnie z danymi Międzynarodowej Agencji Badań nad Nowotworami (IARC), deltametryna została sklasyfikowana jako rakotwórcza dla człowieka (grupa 3), ze względu na brak badań pod tym względem.

Deltametryna może zostać przyjęta przez organizm poprzez inhalację oraz drogą pokarmową. Inhalacja tą substancją u człowieka objawia się bólem gardła oraz kaszlem. Powoduje ona zaczerwienienie

skóry, uczucie poparzenia, mrowienia, odrętwienie, swędzenie, zaczerwienienie oraz ból oczu, łzawienie. Spożycie deltametryny powoduje drętwienie ust i języka, ból brzucha, wymioty, nadmierny ślinotok, drżenie mięśni, utratę przytomności, konwulsje. Dopuszczalne dzienne spożycie deltametryny (ADI) wynosi 0,01 mg/(kg masy ciała)/dzień, ostra dawka referencyjna (ang. *Acute Reference Dose, ARfD*) jest równa 0,01 mg/(kg masy ciała), natomiast stężenie (ang. *Acceptable Operator Exposure Level*) kształtuje się na poziomie 0,0075 mg/(kg masy ciała/dzień). Wartości toksyczności dla zwierząt zostały przedstawione w tabeli 1 [7-12].

Tab. 1. Wartości toksyczności deltametryny

Zwierzę doświadczalne	Toksyčność		
	Doustna LD ₅₀ [mg/kg]	Dermalna LD ₅₀ [mg/kg]	Inhalacyjna LC ₅₀
Szczur	128	>700	785 mg/m ³ /2 h
Mysz	33	–	–
Pies	>300	–	–
Karp	–	–	1,84 µg/dm ³ /96 h
Rozwielitka (<i>Daphnia magna</i>)	–	–	0,57 µg/dm ³ /48 h
Pszczola miodna	–	0,677 µg/pszczołę	–

2.2. Beta-cyflutryna

Beta-cyflutryna jest substancją aktywną w preparacie Bulldock 025 EC, który w swoim składzie zawiera beta-cyflutrynę (25 g/dm³), ksylen (80-90%), CaDBS/N-butanol (poniżej 6%) oraz eter alkilofenolopoliglikolowy (poniżej 1%). Beta-cyflutryna stosowana jest do zwalczania owadów (mszyc, bielinków, wciornastków, stonki ziemniaczanej, ziemianników i chowaczy) i występuje w tym preparacie w postaci koncentratu do sporządzania emulsji wodnej. Beta-cyflutryna jest wzbogaconą, izomeryczną postacią dwóch aktywnych biologicznie par diastereoizomerów cyflutryny. Jest uznawana za odrębny związek, przy czym niektóre właściwości cyflutryny i beta-cyflutryny pokrywają się. Beta-cyflutryna jest stabilna w normalnych warunkach przechowywania, w temperaturze 0 °C oraz w podwyższonych temperaturach.

Beta-cyflutryna jest substancją palną, w przypadku pożaru może powodować wydzielanie toksycznych i drażniących produktów spalania i gazów. Główne substancje emitowane podczas termicznej dekompozycji beta-cyflutryny w temperaturze do 200 °C to toluen, n-heksan, metoksyfluran i beta-cyflutryna. W temperaturze około 300 °C główne substancje emitowane podczas termicznej dekompozycji beta-cyflutryny to fenol, kwas 2-metylobenzoowy, dibenzofuran, benzonitryl oraz eter 3-fluorodifenylowy, 2-bromo-4*t*-oktylofenol, 4-fenoksybenzonitryl i *m*-fenoksyfenilo-acetonitryl (substancje szkodliwe dla środowiska wodnego i toksyczne). W temperaturze do 900 °C główne substancje emitowane podczas termicznej dekompozycji beta-cyflutryny to 3-fluoro-acenaftanon, 4-fluorobezoacetonitryl, fluoren, 1,1'-bifenilo-4,4'-diol oraz dibenzofuran [2].

Beta-cyflutryna ma właściwości drażniące dla skóry i oczu ludzi, zatrucie pyretroidami występuje rzadko. Są one szybko unieszkodliwiane poprzez białka wątrobowe oraz usuwane z organizmu. Ponadto charakteryzują się niską wchłanianością do krwiobiegu. Jest to główną przyczyną małej toksyczności pyretroidów w stosunku do ludzi.

Podczas testów laboratoryjnych, gdy zwierzęta poddano bardzo dużym dawkom beta-cyflutryny doustnie lub przez iniekcję, zaobserwowano oddziaływanie na układ nerwowy. Symptomy ostrej toksyczności to drgawki, nadmierny ślinotok, brak koordynacji ruchowej, nadpobudliwość, konwulsje lub śmierć. Beta-cyflutryna w przypadku kontaktu ze skórą człowieka może powodować swędzenie, poparzenie lub uczucie klucia. Te objawy mogą przekształcić się w uczucie odrętwienia, trwające do 24 h. Zwykle objawy pojawiają się od 1 h do 2 h po narażeniu, jednak mogą wystąpić natychmiastowo. Uczucie podrażnienia skóry może zostać spotęgowane poprzez pocenie się, ekspozycję na promienie słoneczne lub ciepło oraz poprzez kontakt z wodą. Wartości toksyczności beta-cyflutryny dla zwierząt przedstawiono w tabeli 2 [7-12].

Tab. 2. Wartości toksyczności *beta*-cyflutryny

Zwierzę doświadczalne	Toksyczność		
	Doustna LD ₅₀ [mg/kg]	Dermalna LD ₅₀ [mg/kg]	Inhalacyjna LC ₅₀ [mg/dm ³]
Szczur	869-1271	>5000	>1,089
Mysz	291-609	–	–
Owca	>1000	–	–
Pies	>100	–	–
Karp	–	–	0,022
Rozwielitka (<i>Daphnia magna</i>)	–	–	0,14
Pszczoła miodna	–	0,037 µg/pszczołę	–

2.3. Lambda-cyhalotryna

Lambda-cyhalotryna jest substancją aktywną w środku owadobójczym Karate Zeon 050 CS, który w swoim składzie zawiera *lambda*-cyhalotrynę (50 g/dm³), frakcję naftową niespecyfikowaną zawierającą ciężkie węglowodory aromatyczne (~5%) oraz 1,2-beznoizotiazol-3(2*H*)-on (~0,05%) i jest stosowany w formie zawiesiny kapsuł w cieczy do rozcieńczania wodą. Jest to związek z grupy pyretroidów, który zwalcza mszyce, zwińki, gąsienice, wciornastki, słodyszka rzepakowego, stonkę ziemniaczaną, chowacze oraz omacnice.

Lambda-cyhalotryna, podobnie jak deltametryna i *beta*-cyflutryna, stwarza zagrożenie pożarowe, a w skład produktów rozkładu termicznego w I-iej fazie rozwoju pożaru mogą wchodzić benzonitryl, styren, 3-fenoksybenzaldehyd, 1-metylo-3-fenoksybenzen oraz *m*-fenoksyfenyloacetonyl. W temperaturach do 600 °C znajdują się następujące produkty rozkładu termicznego: 3-fenoksybenzaldehyd, fenol, eter 3-fluorodifenylowy, *m*-fenoksyfenyloacetonyl oraz 1-metylo-3-fenoksybenzen [2].

Lambda-cyhalotryna oddziałuje na układ nerwowy organizmu szkodnika, powodując paraliż i śmierć. W przypadku kontaktu z organizmem człowieka działa szkodliwie na skórę i oczy. Agencja Ochrony Środowiska (EPA) klasyfikuje tę substancję do grupy D rakotwórczości, jako mającą nieokreślony wpływ na wystąpienie nowotworu. Narażenie na *lambda*-cyhalotrynę poprzez inhalację może powodować uczucie oparzenia, drgawki, kaszel, trudności w oddychaniu, płytki oddech oraz ból gardła. W wyniku kontaktu z oczami może wywoływać zaczerwienienie i ból. Przyjęcie *lambda*-cyhalotryny drogą pokarmową powoduje ból brzucha i kaszel. Narażenie na duże ilości substancji może powodować drgawki i śpiączkę. Wartości toksyczności *lambda*-cyhalotryny dla zwierząt przedstawiono w tabeli 3 [7-12].

Tab. 3. Wartości toksyczności *lambda*-cyhalotryny

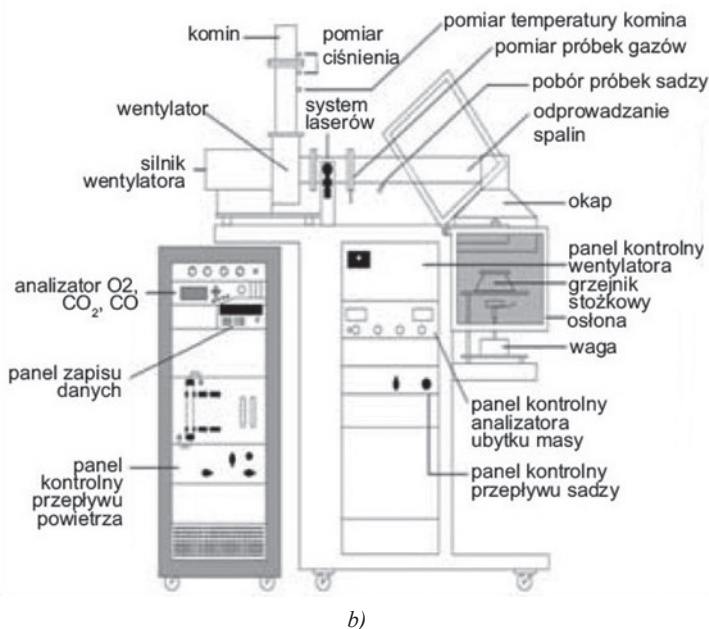
Zwierzę doświadczalne	Toksyczność		
	Doustna LD ₅₀ [mg/kg]	Dermalna LD ₅₀ [mg/kg]	Inhalacyjna LC ₅₀ [mg/dm ³]
Szczur samiec	79	–	–
Szczur samica	56	–	–
Kaczka krzyżówka	3950	–	–
Pszczoła miodna	–	909 ng/pszczołę	–

3. Analiza zagrożenia pożarowego wytypowanych środków ochrony roślin metodą kalorymetru stożkowego

Metoda kalorymetru stożkowego (rys. 1) umożliwia wyznaczenie szybkości wydzielania ciepła i dymu w czasie spalania m.in. próbek badanych środków ochrony roślin, które zostały poddane działaniu gęstości strumienia promieniowania cieplnego o wartości 25 kW/m^2 . Badanie cech pożarowych za pomocą kalorymetru stożkowego polega na pomiarze stężenia tlenu w gazach spalinowych i szybkości przepływu tych produktów w przewodzie kominowym. Próbkę pyłową środków ochrony roślin były spalane w powietrzu, w temperaturze pokojowej, przy stałej wartości gęstości strumienia promieniowania cieplnego. Przy wyborze mocy promieniowania cieplnego w celu wyznaczenia cech pożarowych badanych materiałów zastosowana została ekspozycja cieplna według standardowej krzywej „temperatura pożaru – czas spalania”. Uśredniona wartość ekspozycji cieplnej w I fazie pożaru zmieniać się może w zakresie do 50 kW/m^2 w zależności od czasu trwania spalania w pożarze i typu materiału palnego, a w II fazie rozwoju pożaru – w zakresie $50\text{-}100 \text{ kW/m}^2$. Inicjacja reakcji spalania odbywała się za pomocą bodźca pilotowego (iskrownik elektryczny). W badaniach zastosowano poziome ustawienie próbek materiałów w stosunku do radiatora.



a)



Rys. 1. Stanowisko do badania cech pożarowych materiałów (kalorymetr stożkowy): a) widok; b) schemat

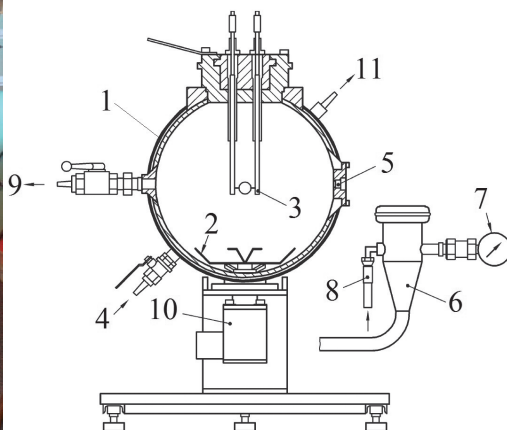
Wybrane wyniki badań uzyskane z kalorymetru stożkowego podczas spalania próbek materiałów przy zewnętrznej gęstości strumienia ciepła 25 kW/m^2 według ISO 5660:2002 [5], przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Zestawienie wyników uzyskanych dla analizowanych próbek środków ochrony roślin metodą kalorymetrii stożkowej przy ekspozycji cieplnej równej 25 kW/m^2 (w warunkach zapłonu pilotowego)

Substancja aktywna	Lambda-cyhalotryna	Beta-cyflutryna	Deltametryna
Czas osiągnięcia HRR_{max} , [s]	92,4	65,8	15,3
Średnia intensywność wydzielania ciepła HRR , [kW/m^2]	88,1	76,2	42,3
Maksymalna intensywność wydzielania ciepła HRR , [kW/m^2]	367,4	350,2	102,3
Całkowite wydzielone ciepło, [MJ/m^2]	12,9	8,4	3,1

4. Analiza zagrożenia wybuchowego wytypowanych środków ochrony roślin na podstawie wartości wskaźnika wybuchowości pyłu

Maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu $(dp/dt)_{max}$ [bar/s] jest to maksymalna wartość przyrostu ciśnienia w jednostce czasu w trakcie wybuchów wszystkich atmosfer wybuchowych w zakresie wybuchowości substancji palnej w zamkniętym naczyniu, w określonych warunkach badania. Maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu jest miarą gwałtowności wybuchu danego pyłu. Jest to najważniejszy parametr określający skuteczność działania zabezpieczeń przeciwybuchowych. Badania maksymalnego ciśnienia wybuchu p_{max} przeprowadzono zgodnie z normą [3, 4] w zbiorniku o pojemności 20 dm^3 . Stanowisko badawcze przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego wyznaczania charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu: 1 – zbiornik badawczy, 2 – dysza rozpraszająca, 3 – źródło zapłonu, 4 – dopływ wody, 5 – czujniki ciśnienia, 6 – zasobnik pyłu, 7 – manometr, 8 – wlot powietrza, 9 – wylot, wyciąg produktów spalania, 10 – zawór szybko działający, 11 – odpływ wody, 12 – jednostka sterująca.

Zbiornik (1) posiada płaszcz wodny do odprowadzania ciepła wybuchu oraz ciśnieniowy pojemnik na pył (6), z którego, poprzez szybki zawór wyładowczy (10) i dyszę (2), pył ulega dyspersji w zbiorniku. Szybki zawór wyładowczy jest pneumatycznie otwierany i zamykany, a jego zawory są sterowane elektrycznie. Źródło zapłonu (3) znajduje się w centrum zbiornika. Dodatkowo zbiornik wyposażony jest w system pomiaru ciśnienia. Źródło zapłonu składa się z elektrycznie aktywowanych dwóch pirotechnicznych zapalników o energii każdego 5 kJ. Obwód zasilający zapalniki powoduje ich zapłon w czasie krótszym niż 10 ms. Zadaniem jednostki kontrolnej jest uruchomienie sekwencji wtrysku pyłu, aktywacji źródła zapłonu i startu systemu zapisu danych. System pomiaru ciśnienia zawiera dwa czujniki ciśnienia (5) oraz układ rejestrujący. Pomiar ciśnienia realizowany jest z dokładnością do 0,01 MPa i uwzględnia wpływ temperatury. Pomiar czasu odbywa się z dokładnością do 1 ms. W skład systemu wchodzi miernik stężenia tlenu o dokładności 0,1% V/V.

Warunki eksperymentu:

- ciśnienie dyspersji p_z : 2 MPa, (ciśnienie w pojemniku pyłu po załadowaniu badanej próbki),
- ciśnienie początkowe p_i : 0,1013 MPa (ciśnienie w zbiorniku testowym obniżone do 0,04 MPa, tak by po uwolnieniu i dyspersji pyłu ciśnienie początkowe p_i osiągnęło wartość 0,1013 MPa),
- temperatura początkowa T_i : 20 °C (chłodzenie wodne uruchomione),
- czas opóźnienia TV : $0,6 \pm 0,01$ s,
- źródło zapłonu – chemiczne zapalniki o energii łącznej: 10 kJ (2 x 5 kJ).

Za maksymalną szybkość przyrostu ciśnienia wybuchu badanego pyłu uznaje się najwyższą szybkość przyrostu ciśnienia wybuchu otrzymaną z serii przeprowadzonych badań. Serie przeprowadzonych badań powinny zawierać również wyniki pomiaru szybkości narostu ciśnienia wybuchu dla koncentracji pyłu o dwóch wartościach po obu stronach koncentracji, dla której stwierdzono maksymalną szybkość przyrostu ciśnienia wybuchu badanego pyłu.

Maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu zależna jest od objętości zbiornika, w którym nastąpił wybuch. Wraz ze wzrostem objętości zbiornika maleje wartość maksymalnej szybkości przyrostu ciśnienia wybuchu. Z tego powodu określono wskaźnik wybuchowości, który jest charakterystyczny dla badanych pyłów

środków ochrony roślin oraz przyjętej metody badawczej, ale nie zależy od objętości zbiornika, w którym wykonywano badanie. Na podstawie wartości wskaźnika wybuchowości pyłu można określić klasę zagrożenia wybuchowego pyłu. Wyróżnia się cztery klasy zagrożenia wybuchowego, które przedstawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Podział pyłów pod względem wybuchowości

Klasa zagrożenia	Wskaźnik wybuchowości, K_{st} [bar·m/s]	Charakterystyka pyłu
St 0	0	Niewybuchowy
St 1	1-200	Słabo wybuchowy
St 2	201-300	Silnie wybuchowy
St 3	>300	Bardzo silnie wybuchowy

Zestawienie wskaźników wybuchowości i określonych na ich podstawie klas zagrożenia dla analizowanych pyłowych próbek środków ochrony roślin zestawiono w tabeli 6.

Tab. 6. Zestawienie wskaźników wybuchowości i określonych na ich podstawie klas zagrożenia dla analizowanych pyłowych próbek środków ochrony roślin

Substancja aktywna	<i>Lambda</i> -cyhalotryna	<i>Beta</i> -cyflutryna	Deltametryna
Wskaźnik wybuchowości, K_{st} [bar·m/s]	172	330	160
Klasa zagrożenia	St 1	St 3	St 1
	Słabo wybuchowy	Bardzo silnie wybuchowy	Słabo wybuchowy

5. Podsumowanie

Powszechne stosowanie pestycydów powoduje, że stale transportowane są pomiędzy dostawcami, a odbiorcami oraz magazynowane duże ilości tych substancji. W związku z tym występuje duże ryzyko uwolnienia ich do środowiska w wyniku awarii, wypadku, czy niepożądanego działania człowieka. To, w połączeniu z szerokim spektrum działania toksycznego, sprawia że stwarzają one duże zagrożenie dla środowiska oraz zdrowia i życia zarówno zwierząt, jak i ludzi oraz stwarzają zagrożenie możliwością wystąpienia poważnej awarii przemysłowej. Na podstawie przeprowadzonych analiz z wykorzystaniem kalorymetru stożkowego stwierdzono, że najbardziej palnym związkami z grupy analizowanych w postaci pyłowej pyretroidów jest *lambda*-cyhalotryna, która charakteryzuje się największą kinetyką generacji ciepła (367,4 kW/m²) w przypadku kontaktu z bodźcem energetycznym ciągłym o gęstości strumienia promieniowania cieplnego 25 kW/m². Pyły pyretroidów z substancjami, tj. *lambda*-cyhalotryna i deltametryna, są pyłami słabo wybuchowymi o stałej pyłowej mniejszej od 200 bar·m/s, są więc pyłami klasy wybuchowości St 1. Pyretroidy na bazie *beta*-cyflutryny są pyłami bardzo silnie wybuchowymi o stałej pyłowej przekraczającej 300 bar·m/s, są to więc pyły klasy wybuchowości St 3.

Literatura

- [1] Wrzosek J., Gworek B., Maciaszek D. 2009. Środki ochrony roślin w aspekcie ochrony środowiska. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 39 (75): 75-88.
- [2] Sankowska M., Gajek A. 2015. Identyfikacja i oznaczanie substancji powstających podczas spalania pestycydów z grupy pyretroidów. Abstrakty IX Polskiej Konferencji Chemii Analitycznej „Chemia analityczna to ciągle wyzwania” Poznań, s. 324.
- [3] PN-EN 14034-1+A1:2011 *Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu – Część 1: Oznaczanie maksymalnego ciśnienia wybuchu p_{max} obłoków pyłu.*
- [4] PN-EN 14034-2+A1:2011 *Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu – Część 2: Oznaczanie maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu $(dp/dt)_{max}$ obłoków pyłu.*

- [5] ISO 5660-1:2015 *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)*.
- [6] Oświadczenie rządowe z dnia 28 lutego 2017 r. w sprawie wejścia w życie zmian do załączników A i B do Umowy europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie dnia 30 września 1957 r.
- [7] Biziuk M. (red.). 2001. *Pestycydy. Występowanie, oznaczanie i unieszkodliwianie*. Warszawa : WNT, ISBN 9788320426632.
- [8] Hayes W. J., Laws E. R. 1991. *Handbook of Pesticide Toxicology*. Vol. 2, San Diego, s. 595.
- [9] Biegańska J. 2003. Unieszkodliwianie odpadowych środków ochrony roślin metodą detonacyjnego spalania. *Zeszyty Naukowe, Inżynieria Środowiska / Politechnika Śląska* 49: 7-131.
- [10] Biegańska J. 2003. Ocena możliwości zastosowania odpadowych środków ochrony roślin jako składników palnych w górniczych materiałach wybuchowych. W: *Paliwa z odpadów*. (Wandrasz J.W., Pikoń K., red.) Tom IV, 103-106. Gliwice : Wydawnictwo HELION, ISBN 83-7361-431-1.
- [11] Waleczek K. 2006. Redukcja ryzyka związanego z produkcją, dystrybucją i stosowaniem środków ochrony roślin. Mat. Sympozjum „Ryzyko ze strony odpadów pestycydowych”, Poznań.
- [12] Wrzosek J., Gworek B., Maciaszek D. 2009. Środki ochrony roślin w aspekcie ochrony środowiska. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 39: 75-88.

Received: July 26, 2018

Revised: November 30, 2018

Published: December 14, 2018