



dr inż. MONIKA BORUCKA (ORCID: 0000-0003-0261-0147)

dr inż. KAMILA MIZERA (ORCID: 0000-0001-7427-7588)

mgr inż. JAN PRZYBYSZ (ORCID: 0000-0002-3958-1581)

dr AGNIESZKA GAJEK (ORCID: 0000-0003-2461-5352)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: monika.borucka@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2024.2.3.Borucka

Zagrożenia stwarzane podczas pożaru z udziałem środków ochrony roślin

Fot. Gorlovy/Bigstockphoto



W przypadku pożaru z udziałem środków ochrony roślin należy się liczyć z możliwością emisji różnych niebezpiecznych substancji, które mogą powodować poważne skutki dla zdrowia ludzi i dla środowiska. Ocena toksyczności środowiska pożarowego jest więc jednym z najważniejszych aspektów, który wymaga dokładnej analizy. W artykule określono substancje, które mogą powstawać podczas termicznego rozkładu i spalania środków ochrony roślin, oraz wyznaczono parametry opisujące zachowanie się tych środków podczas spalania.

Słowa kluczowe: zagrożenia pożarowe, poważne awarie, emisja substancji niebezpiecznych, insektycydy

Hazards posed during a fire involving plant protection products

The plant protection products during a fire may cause the emission of many hazardous substances that may cause serious effects on people and the environment. Assessment of the toxicity of a fire environment is therefore one of the most important aspects that requires careful analysis. In this article, the products of thermal decomposition and combustion of plant protection products were identified. Moreover evaluation of flammability of these materials was performed.

Keywords: fire hazards, major industrial accidents, emission of hazardous substances, insecticides

nych z bezpieczeństwem, które są powodowane nie tylko przez same toksyczne produkty, lecz także przez produkty ich spalania [5].

W przypadku pożaru z udziałem substancji niebezpiecznych, w tym środków ochrony roślin, należy się liczyć z możliwością utworzenia zarówno prostych produktów spalania (takich jak: tlenki węgla, tlenki azotu, ditlenek siarki), jak i innych substancji niebezpiecznych (lotnych związków organicznych: alkanów, alkenów, związków aromatycznych, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych – WWA, fenoli itp.), które mogą powodować poważne skutki dla ludzi i środowiska. Produkty spalania środków ochrony roślin mogą się rozprzestrzeniać wraz ogniem i wiatrem oraz powodować poważne zanieczyszczenie powietrza, szkodliwe dla strażaków i mieszkańców okolicznych obszarów [6]. Ponadto woda wykorzystywana podczas akcji gaśniczej, zmieszana z niespalonymi środkami ochrony roślin i produktami ich rozkładu, może zanieczyścić zbiorniki wód powierzchniowych i gruntowych oraz powodować zanieczyszczenie gleby [7, 8].

Ogólnie produkty spalania materiałów ze względu na potencjalne działanie na drogi oddechowe można podzielić na:

- substancje duszące (tlenek węgla, ditlenek węgla i siarkowodór),
- substancje drażniące (amoniak, chlorowodór, cząstki stałe, tlenki azotu, fenol i ditlenek siarki),
- alergeny,
- substancje rakotwórcze (benzen, styren, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne).

Narażenie na określone substancje toksyczne, do którego dochodzi poprzez ich wdychanie, może powodować ostre zapalenie dróg oddechowych i w konsekwencji – przewlekłą chorobę układu oddechowego. Skutki różnią się oczywiście w zależności od rodzaju substancji toksycznej, charakteru i ciężkości narażenia oraz innych czynników, np. od stanu zdrowia osoby narażonej [9, 10].

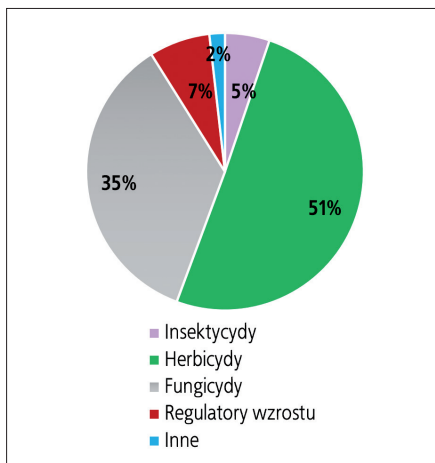
Insektycydy (łac. *insecta*, owady + *caedo*, zabijam) są jedną z podstawowych powszechnie stosowanych grup środków ochrony roślin. Są to substancje owadobójcze używane do zwalczania szkodników w uprawach rolnych, lasach, magazynach z żywnością i mieszkaniach. Zalicza-

roślin oraz układu pokarmowego zwierząt i ludzi wywołać poważne skutki uboczne lub – na skutek zachodzenia niepożądanych reakcji – wytwarzać niebezpieczne związki [1-4].

Ryzyko związane ze stosowaniem środków ochrony roślin należy rozpatrywać głównie pod kątem zagrożeń dla człowieka, wynikających z aplikacji tych substancji czy ich kumulacji w roślinach. Ze względu na właściwości chemiczne, fizyczne i biologiczne surowców, półproduktów oraz produktów końcowych procesy wytwarzania i magazynowania środków ochrony roślin są źródłem poważnych zagrożeń, m.in. stwarzają ryzyko wystąpienia poważnej awarii. Mieszanie, formułowanie i przechowywanie środków ochrony roślin rodzi szereg problemów związa-

Wstęp

Stały wzrost populacji ludzi na świecie generuje zwiększone zapotrzebowanie na surowce żywnościowe, co bezpośrednio determinuje zwiększanie się wolumenu produktów rolnych. Częste zmiany klimatyczne, np. susze i powodzie, oraz plagi szkodników powodują niszczenie plonów rolnych i znacznie obniżają wydajność produkcji. Dlatego ważne i uzasadnione jest stosowanie środków ochrony roślin, które maksymalizują zbiory roślin uprawnych. To rozwiązanie, mimo że ma niewątpliwe zalety, stwarza jednak ogromne ryzyko. Należy bowiem pamiętać, że środki ochrony roślin użyte w niewłaściwy sposób oraz w złych proporcjach mogą po przedostaniu się do gleby, wody,



Rys. 1. Struktura rodzajowa sprzedaży środków ochrony roślin w Polsce w 2018 r. [12]

Fig. 1. Structure of plant protection products consumption in Poland in 2018 [12]

się do nich związki pochodzenia naturalnego oraz związki o charakterze syntetycznym [11].

Średnie zużycie pestycydów w Polsce w latach 2014-2018 wyniosło 2,12 kg/ha (rys. 1) [12]. Jednocześnie pomimo tak powszechnego stosowania środków ochrony roślin z grupy insektycydów brak jest w literaturze naukowej szczegółowych informacji na temat produktów ich spalania.

Celem artykułu jest analiza substancji niebezpiecznych, emitowanych podczas spalania i termicznego rozkładu insektycydów zawierających olej parafinowy. W tekście skoncentrowano się właśnie na środkach ochrony roślin zawierających olej parafinowy, ponieważ są one powszechnie stosowane, a sam olej parafinowy uważany jest za bezpieczny dla człowieka i środowiska naturalnego. Dodatkowo według prognoz użycie środków ochrony roślin na bazie olejów będzie się zwiększać wraz z rozwojem rolnictwa ekologicznego. Wnioski prezentowane w artykule są efektem badań przeprowadzonych przez autorów.

Do wytwarzania produktów termicznego rozkładu oraz spalania wybranych materiałów zastosowano piec rurowy (tzw. piec Pursera), umożliwiającą odtworzenie warunków panujących podczas pożaru [13, 14]. Emitowane gazy i dymy zawierające produkty rozkładu analizowano z zastosowaniem chromatografu gazowego ze spektrometrem mas (GC-MS). Dodatkowo w celu uzyskania pełnej charakterystyki bezpieczeństwa pożarowego określono podstawowe parametry zachowania się wybranych środków ochrony roślin w warunkach pożaru. Badania wykonano za pomocą kalorymetru stożkowego, co umożliwiło wyznaczenie szeregu parametrów związanych z szybkością wydzielania ciepła i dymu z próbek badanych materiałów [15].

Opis badań doświadczalnych

Przebadane środki ochrony roślin

Do badań wytypowano przykładowe, komercyjnie dostępne środki ochrony roślin z grupy insektycydów, w których substancją aktywną jest olej

Tabela 1. Insektycydy wybrane do badań

Table 1. Insecticides selected for testing

Nazwa środka ochrony roślin	Producent	Nazwa i zawartość substancji aktywnej	Pozostałe składniki środka ochrony roślin	Źródło danych
Akarol 770 EC	Synthos Agro sp. z o.o	olej parafinowy – 770 g/l	dodecylobenzenosulfonian wapnia < 3% polisiloksan modyfikowany podstawnikami polieteryowymi < 2%	[17]
Promanal 60 EC	W. Neudorff GmbH KG	olej parafinowy – 546 g/l	b.d.	[18]
Treol 770 EC	Agropak sp.j. Brzeziński i Wspólnicy	olej parafinowy – 770 g/l	b.d.	[19]

parafinowy, które są stosowane na terenie kraju, zostały dopuszczone do stosowania i są wymienione w rejestrze Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi [16]. Ich charakterystykę zamieszczono w tab. 1. Oprócz substancji aktywnej badane środki ochrony roślin zawierają dodatek innych składników pełniących funkcje: nośników, stabilizatorów, aktywatorów czy zwilżaczy. Trzeba jednak zaznaczyć, że w kartach charakterystyk poszczególnych środków ochrony roślin nie zawsze wymienione są wszystkie substancje chemiczne, wchodzące w skład danego preparatu [17-19].

Metody badawcze

Badania charakteryzujące zachowanie się wybranych środków ochrony roślin w warunkach pożarowych wykonano z zastosowaniem kalorymetru stożkowego (Fire Testing Technologies, UK), co pozwoliło na wyznaczenie szeregu parametrów związanych z szybkością wydzielania ciepła i dymu z badanych próbek poddawanych oddziaływaniu strumienia promieniowania cieplnego, symulującego ekspozycję cieplną I fazy rozwoju pożaru. Badania prowadzono zgodnie z normą ISO 5660 [15]. Pomiary polegały na spaleniu próbek środków ochrony roślin (o wymiarach 100 × 100 × 15 mm i masie 20 g) w atmosferze powietrza, zorientowanych poziomo w stosunku do radiatora stożkowego, poddawanych strumieniowi promieniowania cieplnego o stałej wartości wynoszącej 35 kW/m². Każdy pomiar wykonywano trzykrotnie, a w wyniku podawano wartości średnie.

W celu zidentyfikowania substancji powstających w trakcie termicznego rozkładu i spalania środków ochrony roślin zastosowano połączenie pieca rurowego i chromatografu gazowego ze spektrometrem mas (GC-MS).

Próbki wybranych środków ochrony roślin o masie 15 g wprowadzano do pieca rurowego, w którym w zależności od badanych warunków pożarowych panowała temperatura 350°C lub 650°C. Warunki pomiarowe dobrano tak, by odzwierciedlały fazy pożarowe, w których powstają produkty charakteryzujące się wysoką toksycznością [13, 14].

Próbki emitowanych gazów i dymów zawierające produkty termicznego rozkładu i spalania środków ochrony roślin pobierano z komory mieszania pieca, stosując technikę mikroekstrakcji do fazy stacjonarnej (SPME, Supelco, USA), i poddawano analizie za pomocą chromatografu gazowego ze spektrofotometrem mas (Agilent

Technologies 7890/5975, USA). Czas pobrania próbek wynosił 5 minut. Ekstrakcję prowadzono z zastosowaniem komercyjnie dostępnych powłok sorpcyjnych SPME z: Carboxenu i polidimetylosiloksanu (CAR/PDMS).

Warunki pracy GC-MS podczas wszystkich analiz były następujące:

- temperatura dozownika GC – 250°C;
- podział strumienia próbki w dozowniku (Split) – 10:1;
- stałe natężenie przepływu strumienia gazu nośnego (helu) przez kolumnę – 1 ml/min;
- temperatura źródła jonów (MS) – 200°C;
- temperatura linii łączącej GC z MS – 250°C;
- rejestracja jonów w zakresie m/z: 25-450.

Rozdział substancji emitowanych podczas termicznej degradacji i spalania środków ochrony roślin odbywał się na kolumnie HP-5MS firmy Agilent (30 m × 250 μm × 0,25 μm). Stosowano następujący program temperaturowy pracy pieca GC:

$$40^{\circ}\text{C} (10 \text{ min}) \xrightarrow{10^{\circ}\text{C}/\text{min}} 250^{\circ}\text{C} (8 \text{ min})$$

Identyfikację produktów termicznego rozkładu i spalania wybranych środków ochrony roślin przeprowadzono na podstawie porównania zarejestrowanych widm masowych z widmami dostępnymi w bibliotece widm NIST MS. Dodatkowo ze względu na fakt, że powierzchnia pików danego związku chemicznego jest skorelowana liniowo z jego ilością w próbce, stężenia poszczególnych identyfikowanych substancji przedstawiano w formie procentowej powierzchni indywidualnych pików na chromatogramie.

Wyniki badań i dyskusja

Zagrożenia pożarowe stwarzane przez insektycydy

Średnie wartości wyznaczonych parametrów kalorymetrycznych, opisujących zachowanie się środków ochrony roślin pod wpływem oddziaływania strumienia ciepła, zestawiono w tab. 2. Kluczowym parametrem niezbędnym do oceny zagrożenia pożarowego stwarzanego przez badane materiały i produkty ich rozkładu jest średnia szybkość wydzielania ciepła (HRR). Na podstawie tego parametru można wyciągnąć wnioski na temat wielkości pożaru i tempa jego wzrostu, a w konsekwencji – na temat ilości i jakości uwalnianego dymu. Na rys. 2 zamieszczono reprezentatywne krzywe przedstawiające szybkość

wydzielania ciepła przez badane środki ochrony roślin z grupy insektycydów.

Najwyższą wartością szybkości wydzielania ciepła charakteryzował się środek o nazwie Promanal 60 EC, zawierający ok. 60% wag. oleju parafinowego. Środki Treol 770 EC i Akarol 770 EC też zawierały olej parafinowy, przy czym jego zawartość w obu przypadkach wynosiła ok. 80% wag. Oba preparaty charakteryzowały się niższą maksymalną szybkością wydzielania ciepła (pHRR), za to dużo wyższą wartością średnią (HRR) oraz bardzo wysokimi wartościami parametru TSR reprezentującego całkowitą ilość wydzielonego dymu. Prawdopodobnie środki te zawierały wyższe frakcje oleju parafinowego, co wpływało na czas zapłonu, większą energetyczność i większą ilość dymów. Innym możliwym wytłumaczeniem tego zjawiska może być zawartość dodatków, która w przypadku środka Promanal 60 EC wynosiła ok. 40% i miała duży wpływ na jego zachowanie podczas pożaru.

Substancje niebezpieczne emitowane podczas spalania insektycydów

Spośród wszystkich badanych preparatów najmniejszą ilość substancji aktywnej zawierał Promanal 60 EC. Mimo to podczas jego termicznego rozkładu i spalania w mieszaninach emitowanych gazów i dymów wykryto największą liczbę różnych substancji chemicznych (główne substancje wykryte w tych mieszaninach zestawiono w tab. 3). Wśród wykrytych produktów obecne były węglowodory aromatyczne, w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Wzrost temperatury, w której zachodziła degradacja, powodował, że malał udział procentowy prostych węglowodorów (m.in.: toluenu, p-ksylenu, fenyloetylu, benzaldehydu, p-krezolu i 2-etylo-1-heksanolu), natomiast zwiększał się udział procentowy toksycznych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

Podobnie jak podczas termicznego rozkładu i spalania preparatu Akarol 770 EC w mieszaninie emitowanych gazów wykryto szereg węglowodorów aromatycznych, w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (tab. 4), jednak w porównaniu z preparatem Promanal 60 EC ich udział procentowy był mniejszy, mimo że Akarol 770 EC zawierał większą ilość oleju parafinowego.

Z kolei w próbkach gazów i dymów emitowanych podczas termicznego rozkładu środka Treol 770 EC zidentyfikowano więcej produktów rozkładu, zwłaszcza gdy pomiary prowadzono w warunkach odzwierciedlających proces spalania bezpłomieniowego zachodzącego w temperaturze 350°C (tab. 5). W mieszaninie emitowanych gazów obecne były nie tylko węglowodory aromatyczne, lecz także: bezwodnik maleinowy, 3-metylo-2,5-furandion, 2-(hydroksymetylo)-cykloheksanon i butyrolakton. Substancje te powstawały prawdopodobnie w wyniku degradacji substancji dodatkowych zawartych w środku ochrony roślin (przykładowo butyrolakton jest powszechnie używany jako rozpuszczalnik w środkach ochrony roślin).

Tabela 2. Zestawienie uzyskanych parametrów kalorymetrycznych

Table 2. List of obtained calorimetric parameters

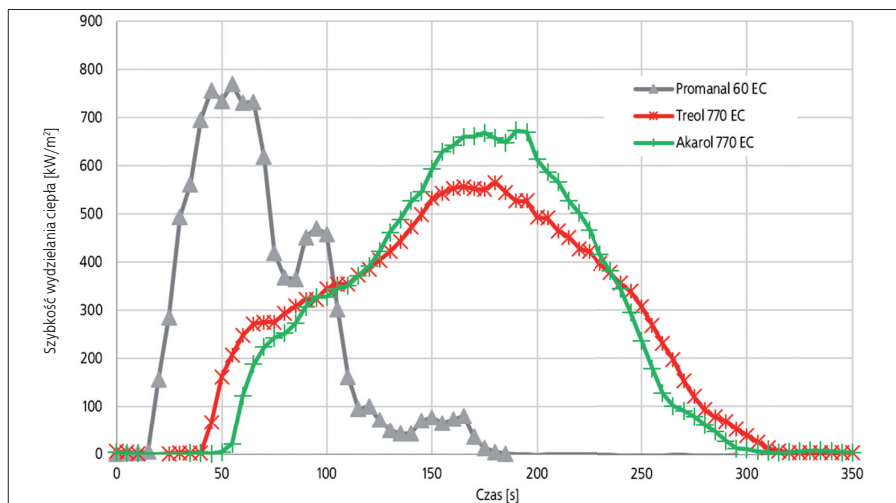
Nazwa środka ochrony roślin	TTI [s]	MARHE [kW/m ²]	FIGRA [kW/m ² s]	HRR [kW/m ²]	pHRR [kW/m ²]	t-pHRR [s]	THR [MJ/m ²]	TSR [m ² /m ²]
Akarol 770 EC	55	367	4,97	286	787	158	89,5	1065
Promanal 60 EC	18	472	12,50	183	734	58	51,1	202
Treol 770 EC	46	325	2,99	334	522	175	89,0	1100

HRR – średnia szybkość wydzielania ciepła, pHRR – maksymalna szybkość wydzielania ciepła, t-pHRR – czas do uzyskania maksymalnej szybkości wydzielania ciepła, MARHE – maksymalny średni współczynnik wydzielania ciepła, THR – całkowite wydzielone ciepło, TSR – całkowita ilość wydzielonego dymu, FIGRA – szybkość rozwoju procesu spalania.

Tabela 3. Wykaz substancji chemicznych zidentyfikowanych w mieszaninie gazów, powstającej podczas termicznego rozkładu i spalania środka Promanal 60 EC

Table 3. List of chemical substances identified in the gas mixture emitted during thermal decomposition and combustion of Promanal 60 EC

Nr	Czas retencji [min]	Zidentyfikowany produkt	Nr CAS produktu	Udział procentowy [%] poszczególnych produktów w zależności od temperatury, w jakiej przebiegał rozkład	
				350°C	650°C
1	4,80	toluen	108-88-3	4,88	2,34
2	5,61	1-okten	111-66-0	1,40	0,96
3	8,17	etylobenzen	100-41-4	2,85	1,11
4	8,48	p-ksylen	106-42-3	1,13	0,60
5	8,77	fenyloetyl	536-74-3	1,44	0,87
6	9,28	styren	100-42-5	6,71	6,34
7	9,78	heptanal	111-71-7	2,33	
8	11,89	benzaldehyd	100-52-7	4,96	2,10
9	12,78	fenol	108-95-2	3,69	1,87
10	13,11	1-decen	872-05-9	3,20	3,50
11	13,53	oktanal	124-13-0	1,48	
12	14,26	2-propenylobenzen	300-57-2		0,69
13	14,44	2-etylo-1-heksanol	104-76-7	15,65	3,98
14	14,85	inden	95-13-6	6,51	3,79
15	15,97	p-krezol	106-44-5	4,77	0,91
16	16,94	nonanal	124-19-6	1,37	0,49
17	18,27	3-metylo-1H-inden	767-60-2	2,28	3,76
18	19,35	naftalen	91-20-3	21,29	25,13
19	20,04	dekanal	112-31-2	1,32	0,66
20	22,55	2-metylo-naftalen	91-57-6	3,56	11,38
21	24,89	bifenyl	92-52-4	2,01	3,93
22	25,24	2-etylnaftalen	939-27-5	1,48	5,80
23	25,73	2-etenylonaftalen	827-54-3	1,84	1,11
24	26,70	acenaftylen	208-96-8	3,86	10,22
25	27,61	acenaftalen	83-32-9		2,84
26	30,01	fluoren	86-73-7		3,06
27	34,65	fenantren	85-01-8		2,59



Rys. 2. Reprezentatywne krzywe zmiany szybkości wydzielania ciepła badanych insektycydów
Fig. 2. Representative curve change the heat release of the tested insecticides

Tabela 4. Wykaz substancji chemicznych zidentyfikowanych w mieszaninie gazów powstającej podczas termicznego rozkładu i spalania środka Akarol 770 EC

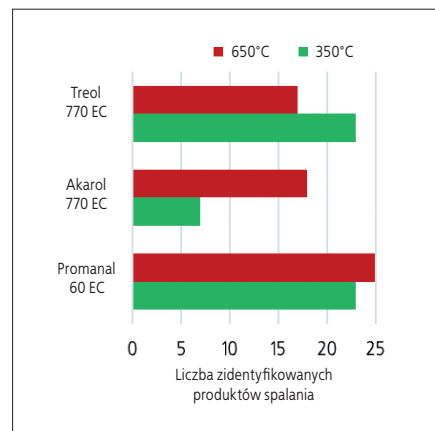
Table 4. List of chemical substances identified in the gas mixture emitted during thermal decomposition and combustion of Akarol 770 EC

Nr	Czas retencji [min]	Zidentyfikowany produkt	Nr CAS produktu	Udział procentowy [%] poszczególnych produktów w zależności od temperatury, w jakiej przebiegał rozkład	
				350°C	650°C
1	4,81	toluen	108-88-3		2,23
2	9,29	styren	100-42-5		5,04
3	11,89	benzaldehyd	100-52-7		2,27
4	12,78	fenol	108-95-2		1,43
5	13,11	1-decen	872-05-9		3,18
6	13,53	oktanal	124-13-0	3,62	
7	14,85	inden	95-13-6	3,52	2,47
8	16,93	nonanal	124-19-6	8,42	
9	18,27	3-metylo-1H-inden	767-60-2		2,41
10	19,33	naftalen	91-20-3		18,63
11	22,55	2-metylonaftalen	91-57-6		9,84
12	23,03	1-metylonaftalen	90-12-0		2,52
13	24,90	bifenyl	92-52-4		3,54
14	25,25	2-etylo-naftalen	939-27-5		7,76
15	25,72	dodekanal	112-54-9	29,79	
16	26,70	acenaftylen	208-96-8		14,15
17	27,38	1-tetradekanol	112-72-1	32,94	1,67
18	30,06	n-tridekan-1-ol	112-70-9	17,37	
19	30,40	fluoren	86-73-7		7,61
20	31,89	1(2H)-acenaftylenon	2235-15-6		3,78
21	32,84	2-metylo-1-heksanol	2490-48-4	4,34	2,67
22	34,78	fenantren	85-01-8		8,81

Na podstawie porównania wyników analizy gazów i dymów emitowanych w trakcie termicznego rozkładu i spalania próbek środków ochrony roślin na bazie oleju parafinowego można stwierdzić, że najwięcej produktów rozkładu wykryto w przypadku badania środka Promanal 60 EC (rys. 3). Z kolei środek dostępny pod handlową

nazwą Akarol 770 EC emitował zdecydowanie najmniej produktów rozkładu. Prawdopodobnie było to związane ze składem badanych preparatów.

W mieszaninach gazów i dymów emitowanych podczas termicznego rozkładu i spalania badanych środków ochrony roślin, zawierających jako składnik aktywny olej parafinowy, wykry-



Rys. 3. Liczba substancji chemicznych wykrytych i zidentyfikowanych podczas spalania wybranych środków ochrony roślin
Fig. 3. Number of chemical substances detected and identified during the combustion of selected plant protection products

to szereg niebezpiecznych substancji. Oprócz substancji duszących i drażniących obecne były również takie, jak: toluen, styren czy fenol. Toluenu jest substancją silnie toksyczną i niebezpieczną dla zdrowia. Jest szkodliwy dla układu oddechowego, rozrodczego, krwionośnego i nerwowego oraz dla wątroby i nerek. Styren jest substancją szkodliwą i drażniącą, która działa depresyjnie na ośrodkowy układ nerwowy. Przewodzący styren jest rakotwórczy dla człowieka (wg IARC). Z kolei fenol jest substancją żrącą, która działa toksycznie na układ nerwowy [20]. W mieszaninach emitowanych produktów wykryto również szereg związków organicznych – takich jak: naftalen, acenaftylen, acenaftalen, fluoren czy fenantren – które należą do grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Są to trwałe zanieczyszczenia organiczne, a część z nich wykazuje udowodnione działanie mutagenne i kancerogenne [21].

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że od rodzaju środka ochrony roślin oraz warunków, w których przebiega proces jego spalania, zależą rodzaj oraz udział procentowy emitowanych produktów termicznego rozkładu i spalania. Wśród dostępnych na rynku środków ochrony roślin istnieje wiele produktów, w przypadku których szybkość zapłonu i rozwoju procesu spalania są wyjątkowo duże. Środki te mogą się przyczyniać do powstawania pożarów w miejscach ich produkcji i magazynowania, powodując znaczne zniszczenia oraz stwarzając zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi: pracowników zakładów, w których te środki są produkowane, magazynowane bądź składowane, jak również indywidualnych rolników wykorzystujących je w swoich gospodarstwach.

Ponadto niebezpieczne produkty rozkładu mogą być przenoszone przez wiatr lub ciekłe wodne nawet na znaczne odległości i niekorzystnie oddziaływać na zdrowie ludzi i środowisko naturalne.

Tabela 5. Wykaz substancji chemicznych zidentyfikowanych w mieszaninie gazów powstającej podczas termicznego rozkładu i spalania środka Treol 770 EC

Table 5. List of chemical substances identified in the gas mixture emitted during thermal decomposition and combustion of Treol 770 EC

Nr	Czas retencji [min]	Zidentyfikowany produkt	Nr CAS produktu	Udział procentowy [%] poszczególnych produktów w zależności od temperatury, w jakiej przebiegał rozkład	
				350°C	650°C
1	4,09	3-penten-2-on	625-33-2	1,31	
2	4,84	toluen	108-88-3	3,37	2,50
3	5,61	1-okten	111-66-0	3,22	1,07
4	5,94	heksanal	66-25-1	4,37	
5	7,11	2-cyclopenten-1-on	930-30-3	2,09	
6	7,35	1,2-diformyloksyetan	629-15-2	2,73	
7	8,11	bezwodnik maleinowy	108-31-6	5,31	
8	9,37	styren	100-42-5	5,20	6,78
9	9,76	heptanal	111-71-7	4,60	
10	10,17	butyrolakton	96-48-0	3,59	
11	10,81	2,5-heksanodion	110-13-4	3,05	2,48
12	11,39	3-metylo-2,5-furandion	616-02-4	2,18	
13	11,82	benzaldehyd	100-52-7	4,43	
14	12,64	2-(hydroksymetylo)-cykloheksanon	5331-08-8	2,48	
15	12,85	fenol	108-95-2	3,10	1,73
16	13,11	1-decen	872-05-9	6,64	3,52
17	13,52	oktanal	124-13-0	3,88	
18	14,95	inden	95-13-6	5,53	3,57
19	18,24	3-metylo-1H-inden	767-60-2	9,56	1,36
20	19,02	naftalen	91-20-3	18,98	25,64
21	23,05	2-metylnaftalen	91-57-6		2,76
22	25,29	2-etylnaftalen	939-27-5		6,09
23	26,30	bifenyl	92-52-4	1,10	4,10
24	26,74	acenaftylen	208-96-8		13,95
25	27,36	acenaftalen	83-32-9	2,07	3,68
26	29,90	fluoren	86-73-7	1,21	6,14
27	32,01	1(2H)-acenaftylenon	2235-15-6		4,73
28	34,98	fenantren	85-01-8		9,91

BIBLIOGRAFIA

[1] STRUCIŃSKI P. Pyretryny. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy. 2009, 1(59): 35-36.
 [2] ALTARAWNEH M., DLUGOGORSKI B.Z. Plenary – Mechanisms of Pollutant Formation in Fires. Proceedings of the Seventh International Seminar Fire and Explosion Hazards (ISFEH7). 2013, s. 27-36.
 [3] WRZOSEK J. i in. Środki ochrony roślin w aspekcie ochrony środowiska. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych. 2009, 39: 75-88.
 [4] TARAZONA J.V., DOHMEN G.P. Environmental and ecotoxicity data for risk assessment of pesticides. [W:] E. Capri i D. Karpouzias (red.), Pesticide Risk Assessment in Rice Paddies. Theory and Practice, Elsevier Science, 2007; doi: 10.1016/B978-0-444-53087-5.X5001-2.
 [5] KEFALAS D.A. i in. Consequence analysis of an open fire incident in a pesticide storage plant.

Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2006, 19: 78-88.

[6] SMITH-HANSEN L., JOGENSEN K.H. Characterization of fire products from organophosphorus pesticides using the DIN 53436 method. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1993, 6: 227-232.
 [7] ATKINSON G.T., JAGGER S.F. Exposure of organophosphorus pesticides to turbulent diffusion flames. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1992, 5: 271-277.
 [8] K. CHEN i in. Determination of toxic products released in combustion of pesticides. Progress in Energy and Combustion Science. 2012, 38: 400-418.
 [9] EDELMAN P. i in. Biomonitoring of chemical exposure among New York City firefighters responding to the World Trade Center fire and collapse. Environmental Health Perspectives. 2003, 16: 1906-1911.

[10] FABIAN T.Z. i in. Characterization of Fire-fighter Smoke Exposure. Fire Technology. 2014, 50: 993-1019.

[11] Insektycydy. Środki owadobójcze, <https://www.sumiagro.pl/kategoria/insektycydy> [dostęp: 31.08.2019 r.].

[12] PIWOWAR A. The use of pesticides in Polish agriculture after integrated pest management (IPM). Environmental Science and Pollution Research. 2021, 28: 26628-26642.

[13] ISO/TS 19700:2007. Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents.

[14] ISO 19706:2007. Guidelines for assessing the fire threat to people.

[15] ISO 5660 (2002). Reaction to fire testes – Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Rate of heat release from building products. Part 2: Smoke production rate (dynamic measurement) – Cone calorimeter method.

[16] Rejestr środków ochrony roślin dopuszczonych do obrotu zezwoleniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/rejestr-rodkow-ochrony-roslin>.

[17] Karta Charakterystyki Akarol 770 EC, data sporządzenia (nr wersji): 2016/09/20 (1), aktualizacja (nr aktualizacji): 2018/06/20 (1), https://www.synthosagro.com/fileadmin/user_files/agro/Etykiety/MSDS_-_Akarol_770_EC.pdf [dostęp: 19.08.2019 r.].

[18] Karta Charakterystyki Promanal 60 EC, data wydania wersji angielskiej: 02.11.2009 r.

[19] Etykieta środka ochrony roślin Treol 770 EC, załącznik nr 1 do zezwolenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, https://royalbrinkman.pl/content/files/productdocuments/etyk_Treol_770_EC_zast_profesjonalne_030BD00822.pdf [dostęp: 31.08.2019 r.].

[20] Baza CHEMPYŁ dostępna na stronie <https://www.ciop.pl> (Serwis/BAZY WIEDZY O BHP/CHEMPYŁ – baza wiedzy o zagrożeniach chemicznych i pyłowych).

[21] RUSIN M. MARCHWIŃSKA-WYRWAŁ E. Zagrożenia zdrowotne związane ze środowiskowym narażeniem na wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Medycyna Środowiskowa. 2014, 17: 7-13.

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (projekt nr II.N.09 pt. „Identyfikacja niebezpiecznych substancji powstających w trakcie spalania wybranych środków ochrony roślin z grupy insektycydów, herbicydów i fungicydów oraz drewna poddawanego ich działaniu”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.