



dr inż. MACIEJ CELIŃSKI (ORCID: 0000-0003-4517-0903)

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

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

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

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

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: maciej.celinski@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2022.07.17.Celinski

Metody zabezpieczania przed wybuchem mieszaniny pyłowo-powietrznej w procesie przetwórstwa zbóż

Fot. Polubiatka/Bigstockphoto



W zakładach przetwórstwa rolnego istnieje możliwość wystąpienia atmosfery wybuchowej. Pył powstający w takich procesach, jak mielenie, przesiewanie czy transport zboża, stanowi potencjalne źródło zapłonu i wybuchu w instalacji przemysłowej. Statystyki pokazują, że roczna światowa produkcja zbóż w 2019 r. przekroczyła 2,7 mld ton. Taka ilość pylistego materiału znacznie zwiększa ryzyko wystąpienia pożaru lub wybuchu podczas produkcji, transportu i przetwarzania. Z powodu zagrożenia wybuchem zakłady zajmujące się składowaniem i przetwarzaniem zbóż muszą być wyposażone w odpowiednie zabezpieczenia. W artykule przedstawiono parametry wybuchowe pyłów zbóż najczęściej stosowanych w Polsce oraz rodzaje typowych zabezpieczeń w instalacjach przemysłowych.

Słowa kluczowe: zboża, pył, wybuchowość, klasa wybuchowości pyłu, graniczne stężenie tlenu

Methods of protection against dust-air mixture explosion in the processing of grain

Explosive atmospheres are potential in agricultural processing plants. Dust generated during processes such as grinding, sieving or grain transport is a potential source of ignition and explosion in an industrial installation. Statistics show that the annual global grain production in 2019 exceeded 2.7 billion tonnes. This amount of dusty material significantly increases the risk of fire and/or explosion during production, transportation and processing. Due to the risk of explosion, plants dealing with the storage and processing of grain must have adequate protection mechanisms. The article below presents both explosion characteristics of the grain dust, most commonly used in Poland, and the types of explosion proofing most often used in industrial installations.

Keywords: grain, dust, explosibility, dust explosion class, limiting oxygen concentration

Wstęp

Każdemu procesowi przemysłowemu związanemu z przetwórstwem zboża, drewna czy metalu towarzyszy powstawanie bardzo dużej ilości produktu odpadowego, jakim jest pył. Pyłem najczęściej nazywa się cząsteczki stałe, zwykle o dużym stopniu rozdrobnienia, które mogą się utrzymywać w powietrzu niczym gaz (dymy, mgła), a następnie osiadają na powierzchniach stałych, początkowo tworząc cienki film, który z czasem (wskutek nagromadzenia się odpowiedniej ilości pyłu) przybiera formę warstw. Przy odpowiednio dużym stopniu rozdrobnienia i koncentracji w powietrzu pyły przemysłowe (zboże, drewno, metale, tworzywa sztuczne) mogą tworzyć atmosfery wybuchowe. Biorąc pod uwagę ilość materiałów organicznych (takich jak zboże czy drewno) przetwarzanych w Polsce (zboże – ok. 27 mln ton rocznie, drewno – ok. 42 mln ton rocznie), można wnioskować, że ilość powstającego pyłu organicznego jest bardzo duża, co zwiększa prawdopodobieństwo wybuchu – ze względu na bardzo dużą sumaryczną liczbę zdarzeń (w tym transportu) mogących do takiego zjawiska doprowadzić. W celu ograniczenia tego prawdopodobieństwa do minimum, a także w celu ochrony życia i zdrowia pracowników oraz zminimalizowania strat materialnych, na instalacjach przemysłowych stosuje się odpowiednie zabezpieczenia. Nadrzędnym celem tego artykułu jest więc przybliżenie dostępnych metod zabezpieczania instalacji przemysłowych przed wybuchem podczas przetwórstwa zbóż oraz omówienie parametrów (kryteriów), na podstawie których dobiera się te zabezpieczenia.

Wybuchowość pyłów zbóż

Wybuch mieszaniny pyłowo-powietrznej w zakładzie przemysłowym stanowi zagrożenie dla zdrowia i życia pracowników, może powodować znaczne straty materialne w postaci

zniszczonych urządzeń i budynków, a przede wszystkim jest przyczyną długotrwałego przestoju przedsiębiorstwa [1].

Częstym zjawiskiem towarzyszącym wybuchowi pyłu jest uniesienie się pyłu zalegającego na urządzeniach i podłogach, w szybach filtrowentylacyjnych itd. W tej sytuacji, wynikającej najczęściej z zaniedbań w realizacji procedur utrzymania stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w zakładzie przetwórstwa, może dojść do wybuchu wtórnego, tj. do wybuchu pyłu, zainicjowanego przez wybuch pierwotny. Wybuch pierwotny powoduje znaczny wzrost wartości parametrów wybuchu wtórnego (np. parametrem wyjścia dla maksymalnego ciśnienia wybuchu nie jest ciśnienie atmosferyczne, lecz ciśnienie wybuchu pierwotnego) i tym samym przyczynia się do większych zniszczeń. Przykładowo w przypadku pyłu kukurydzy maksymalne oznaczone ciśnienie wybuchu wynosi 6,4 bara [2] i jest to wartość mierzalna, którą można stosować przy projektowaniu zabezpieczeń przeciwybuchowych, natomiast wartość maksymalnego ciśnienia wybuchu wtórnego może być nawet dwukrotnie większa.

Ponieważ parametry używane przez projektantów zabezpieczeń często nie uwzględniają takiego rozwoju procesu spalania i tak wysokiego skoku nadciśnienia (tę wartość trudno jest oszacować), dlatego w tych szczególnych sytuacjach nawet najlepiej dobrane zabezpieczenia przeciwybuchowe mogą się okazać nieskuteczne. W celu uniknięcia wybuchów pyłu – zarówno pierwotnych, jak i wtórnych – należy bezwzględnie przestrzegać higieny pracy. Trzeba bowiem mieć świadomość zagrożenia, jakie stwarza osiadły pył. O tym zagrożeniu świadczy jeden z najważniejszych parametrów związanych z zapalnością mieszaniny pyłowo-powietrznej, czyli dolna granica wybuchowości (*DGW*). Określa ona najniższe stężenie pyłu, wyrażone w gramach na metr sześcienny, w mieszaninie pyłowo-powietrznej, której zapłon spowoduje (pod wpływem czynnika inicjującego, np. iskry elektrycznej lub zapalnika chemicznego o określonej energii) dalsze samoczynne rozprzestrzenianie się płomienia. Najniższe stężenie pyłów zbóż przebadanych w CIOP-PIB, niezbędne do zainicjowania procesu wybuchowego, wynosi 125 g/m³ (tab. 1).

Stężenie pyłu w powietrzu podczas transportu i przesiewania często przekracza wartość

Tabela 1. Charakterystyki wybuchu pyłów zbóż [2]

Table 1. Explosion characteristics of grain dust [2]

Zboże	P_{max} [bar]	K_{ST} [bar·m/s]	Klasa wybuchowości ST	<i>DGW</i> [g/m ³]
Pszenica	7,1	158	ST1	125
Pszenżyto	7,5	134	ST1	125
Kukurydza	6,4	52	ST1	125
Owies	7,6	123	ST1	125

Objaśnienia symboli:
 P_{max} – ciśnienie maksymalne,
 K_{ST} – indeks deflagacyjny pyłu,
DGW – dolna granica wybuchowości

DGW, co jest jedną z przyczyn wybuchów pyłów w przemyśle zbożowym, w którym ilości wytwarzanego pyłu należą do najwyższych na świecie. W Polsce do określenia minimalnych wymagań dotyczących poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników wykonujących czynności na stanowiskach, na których (z przyczyn wynikających z cech miejsca pracy, urządzeń lub substancji) może wystąpić atmosfera wybuchowa, zastosowanie ma rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (rozporządzenie wdrożyło tzw. dyrektywę ATEX 137) [3].

W celu określenia charakterystyki zagrożenia wybuchem w zakładzie przetwórstwa zboża należy w pierwszej kolejności przeprowadzić ocenę ryzyka zawodowego, która pozwoli na zdefiniowanie wszystkich czynników zagrażających pracownikom w miejscu pracy. Prawidłowo przeprowadzona ocena ryzyka jest wieloetapowym procesem, obejmującym m.in.: zebranie danych o właściwościach palnych i wybuchowych wszystkich substancji znajdujących się na terenie zakładu (gazach, cieczach, substancjach stałych), identyfikację możliwych źródeł zapłonu i powstawania atmosfery wybuchowej (takich jak: transport zboża, szczelność i zabezpieczenia instalacji filtrowentylacyjnej oraz procesy suszenia, magazynowania czy mielenia) oraz określenie wielkości emisji, zasięgu mieszanin wybuchowych, częstości i czasu występowania atmosfery wybuchowej (klasyfikację przestrzeni zagrożonej wybuchem do jednej ze stref).

Przy ocenie prawdopodobieństwa występowania efektywnych źródeł zapłonu należy ustalić rodzaj źródła zapłonu. Zgodnie z PN-EN 1127-1 [4] do najbardziej powszechnych źródeł zapłonu należą: gorące powierzchnie (gorące łożyska, suszarki, grzejniki itp.), iskry mechaniczne, płomienie i gorące gazy (obecne w procesach spawania czy cięcia), iskry elektryczne (pochodzące z wyładowań elektrycznych i łuków), prądy błędące, elektryczność statyczna, promieniowanie jonizujące, fale elektromagnetyczne, reakcje chemiczne itd.

Następnie należy stwierdzić, czy źródła zapłonu wchodzi w kontakt z atmosferą wybuchową. Jeżeli odpowiedź jest twierdząca, trzeba określić zdolność tych źródeł do zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej lub warstwy pyłu, porównując dane dotyczące źródeł zapłonu z parametrami charakterystycznymi dla stosowanych pyłów, takimi jak: minimalna energia zapłonu (*MEZ* – tab. 2), minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu (*MTZw*), minimalna temperatura zapłonu obłoku pyłu (*MTZo*). W przypadku składowania zboża, np. w silosach, ważnym parametrem jest graniczne stężenie tlenu (*GST*), określające minimalne stężenie tlenu, przy którym może wystąpić niekontrolowany proces spalania (tab. 2).

Tabela 2. Wartości minimalnej energii zapłonu *MEZ* i granicznego stężenia tlenu *GST* dla pyłów zbóż [5]

Table 2. Values of minimum ignition energy *MEZ* and limiting oxygen concentration *GST* for grain dusts [5]

Zboże	<i>MEZ</i> [mJ]	<i>GST</i> [%]
Pszenica	100	16
Pszenżyto	100	17
Kukurydza	1000	16
Owies	100	18

Na kolejnym etapie dokonuje się oszacowania ryzyka wynikającego z zagrożenia wybuchem (jeżeli takie występuje) oraz oceny akceptowalności tego ryzyka. Jeżeli jest ono akceptowalne, należy przygotować dokument zabezpieczenia przed wybuchem. Jeżeli zaś ryzyko jest nieakceptowalne, należy podjąć odpowiednie działania usprawniające i wdrożyć zmiany w dotychczasowych zabezpieczeniach, aby odpowiadały one faktycznemu zagrożeniu. Ochrona przed wybuchem może być wstępna lub konstrukcyjna.

Metody zabezpieczania przed wybuchem – ochrona wstępna

Ochrona wstępna ma zapobiec powstaniu wybuchu (przez ograniczanie możliwości powstania atmosfery wybuchowej i eliminowanie potencjalnych źródeł zapłonu), jednak nie zabezpiecza przed jego potencjalnymi skutkami. Jednym z jej elementów jest usuwanie pyłu gromadzącego się w postaci drobnych cząstek, co zapewni utrzymanie czystości w budynkach produkcyjnych i magazynowych. Nie wszędzie jednak prace porządkowe są możliwe do przeprowadzenia i nie zawsze są gwarancją utrzymania stanu bezpieczeństwa. Podczas normalnego działania wewnątrz niektórych elementów aparatury procesowej zawsze będzie występowało stężenie pyłów przekraczające wartość *DGW*. Przykładowo ilość materiału palnego wystarczająca do wygenerowania atmosfery wybuchowej występuje w odpylaczach niemal stale, a w innych komponentach – czasowo (podczas rozruchu, wyłączenia, załadunku lub rozładunku). Jeżeli utrzymanie stężeń pyłów poza przedziałem dolnej i górnej granicy wybuchowości nie jest możliwe, trzeba podjąć działania organizacyjne i techniczne, mające na celu niedopuszczenie do zapłonu pyłu.

Wykorzystanie materiałów przewodzących nie zawsze eliminuje zagrożenie wybuchem mieszaniny, związane z występowaniem elektryczności statycznej. W trakcie transportu zbóż i ich pyłów rurociągiem wykonanym z materiału odprowadzającego ładunek elektrostatyczny mogą się pojawić wyładowania stożkowe, których energia dochodzi nawet do kilkudziesięciu milidżuli. Zwłaszcza podczas napełniania dużych silosów ta energia może być większa od minimalnej energii zapłonu pyłów zbóż. W takich przypadkach konieczne jest stosowanie materiałów antystatycznych i antystatycznych elementów filtrujących.



Fot. RCrimeLine/Bigstockphoto

Ryzyko wybuchu można zmniejszyć przez dobór odpowiedniego sposobu napełniania siłosów lub zasobników. O ile w przypadku napełniania grawitacyjnego szansa na wytworzenie się pyłu i wystąpienie mieszanin wybuchowych jest niewielka, to w przypadku napełniania pneumatycznego jest już bardzo duża.

Oprócz tych szczególnych środków zmniejszających ryzyko wybuchu pyłu istotne są następujące działania:

- czyszczenie wycieków pyłu, aby zapobiec gromadzeniu się osiadłego pyłu, który jest szczególnie niebezpieczny podczas wtórnych wybuchów;
- stosowanie urządzeń elektrycznych, przeznaczonych do stref zagrożenia wybuchem;
- przeprowadzanie szkoleń dla pracowników.

Metody zabezpieczania przed wybuchem – ochrona konstrukcyjna

Gdy po zastosowaniu wszystkich omówionych środków zapobiegawczych zagrożenie wybuchem pyłu nadal jest niedopuszczalne (co oznacza wysokie prawdopodobieństwo i/lub poważne konsekwencje), wymagane są środki ograniczające skutki wybuchu. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (rozporządzenie wdrożyło tzw. dyrektywę ATEX 114) [6] ten cel można zrealizować przez zastosowanie:

- systemów odsprężania wybuchu,
- systemów dekompresji,
- systemów tłumienia wybuchów,
- systemów ochronnych zdolnych do wytrzymania powstałej fali uderzeniowej, bez utraty integralności systemu.

Zaletą techniki odsprężania wybuchu jest ograniczenie jego skutków do jednego urządzenia. Do izolowania wybuchu wykorzystuje się zasuwę i przegrody, zapewniające natychmiastowe zamknięcie rurociągów, kanałów i przesypów łączących aparat, w którym doszło do wybuchu, z pozostałą częścią instalacji, w sposób uniemożliwiający rozprzestrzenianie się skutków wybuchu na całą instalację i jej otoczenie.

Zdecydowanie najpopularniejszą techniką ochrony przeciwybuchowej jest odciążanie wybuchu, polegające na minimalizowaniu rozprzestrzeniania się fali nadciśnienia związanej z wybuchem przez wykorzystanie klap i membran odciążających oraz płytek bezpieczeństwa. Umożliwia to odprowadzenie nadciśnienia poza obręb zakładu, aby zapobiec rozerwaniu zbiornika bądź instalacji. Do odciążania najczęściej stosuje się płytki bezpieczeństwa lub klapy przeciwybuchowe. To rozwiązanie umożliwia kontrolowanie przyrostu nadciśnienia wytwarzanego podczas wybuchu, jednak nie zmniejsza ryzyka rozprzestrzeniania się płomienia. Trzeba bowiem pamiętać, że nawet w przypadku zastosowania zabezpieczeń mających na celu odciążanie wybuchu może nastąpić wybuch pyłu pochodzącego z aparatury procesowej, powodujący rozprzestrzenianie się płomienia i fali nadciśnienia przez układ rur, kanałów i przesypów do innych urządzeń lub obiektów, a w konsekwencji – powstawanie wybuchów wtórnych.

Tłumienie wybuchu polega na wykryciu zjawiska zaraz po zapłonie i wyładowanie środka gaśniczego. Tego typu systemy zapobiegają zarówno powstawaniu nadciśnienia związanego z wybuchem, jak i przedstawianiu się płomieni do dalszych części instalacji. Czynniki tłumiący musi zostać podany z taką szybkością, aby ugasić

płomienie, zanim dojdzie do dużego przyrostu ciśnienia. W obliczeniach należy więc uwzględnić tzw. indeks deflagacyjny K_{ST} pyłu, który określa szybkość przyrostu ciśnienia w jednostce czasu podczas wybuchu i pozwala zakwalifikować pył do określonej klasy wybuchowości (tab. 1). Warto zauważyć, że klasa wybuchowości pyłu nie ma żadnego związku ani z jego podatnością na zapłon, ani z wybuchowością. Maksymalne ciśnienie wybuchu pyłów należących do klasy ST1 może być znacznie wyższe niż w przypadku pyłów klasy ST2 czy ST3, a dolna granica wybuchowości – niższa. Tak więc w przypadku wyższych klas wybuchowości kluczowa – z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania całego układu zabezpieczeń przeciwybuchowych – jest odpowiednio dobrana szybkość podania czynnika. Dzięki dzisiejszej technologii czas wyładowania środka tłumiącego do chronionego urządzenia procesowego (instalacji) wynosi ok. 75-300 ms [7].

W automatycznym procesie tłumienia wybuchu wyróżnia się trzy fazy:

- detekcję wybuchu,
- podanie środka gaśniczego,
- oddziaływanie zastosowanego środka gaśniczego na płomień.

Ważnymi elementami systemu tłumienia są detektory – nadciśnieniowe lub optyczne – służące do wykrywania nadciśnienia powstałego w wyniku wybuchu lub już na etapie obecności płomienia wywołanego zapłonem. Wykrycie wybuchu przez detektor skutkuje przekazaniem informacji do centrali sterującej, która aktywuje podanie środka tłumiącego (gaśniczego). Ten środek jest przechowywany w gaśnicach – butlach ciśnieniowych HRD (ang. *high rate discharge*). Powszechnie dostępne są stalowe butle o pojemności 5-50 dm³. Skuteczność systemu tłumienia zależy od ilości

środka gaśniczego wprowadzonego w jednostce czasu do chronionego urządzenia oraz od szybkości zadziałania gaśnicy. Wydajność butli HRD wraz z określonym układem mocującym i systemem rozpraszania powinna być zbadana doświadczalnie. Liczba i rozmieszczenie gaśnic mają decydujące znaczenie z punktu widzenia osiągnięcia najlepszego efektu tłumienia, a zależą od geometrycznych rozmiarów i kształtu chronionej obudowy. Zgodnie z PN-EN 14373 butle HRD powinny być montowane w sposób zapewniający możliwie najskuteczniejszy wyrzut środka tłumiącego. Zastosowanie tłumienia wybuchu jest istotne zwłaszcza w tych przypadkach, gdy uszkodzenie konstrukcji urządzeń może doprowadzić do emisji substancji toksycznych lub szkodliwych dla ludzi bądź otoczenia. Tłumienie wybuchu proszkiem gaśniczym jest najbardziej zaawansowanym technicznie rozwiązaniem, stosowanym w celu ochrony aparatury procesowej przed wybuchem. Ogranicza szkody, które mogą powstać po wybuchu, oraz nie dopuszcza do wydostania się płomienia. Pozwala chronić urządzenia znajdujące się w budynkach oraz skraca czas potrzebny do ponownego uruchomienia urządzenia, w którym doszło do zapłonu. Z drugiej strony systemy tłumienia są zazwyczaj bardzo drogimi rozwiązaniami i trudnymi do zastosowania w małych zbiornikach (poniżej 1 m³).

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki charakterystyk wybuchu, uzyskane dla czterech rodzajów pyłów zbożowych. Stwierdzono, że wszystkie przebadane pyły mają klasę wybuchowości ST1, a dolna granica wybuchowości wynosi ok. 125 g/m³. Zaobserwowano, że pył kukurydzy

wykazuje dużo niższą wartość parametru K_{ST} i znacznie wyższą wartość minimalnej energii zapłonu w porównaniu z pozostałymi zbożami. Średnia wartość granicznego stężenia tlenu badanych pyłów zawiera się w przedziale 16-18%. Na podstawie tych badań można stwierdzić, że pył kukurydzy stwarza najmniejsze zagrożenie w porównaniu z pozostałymi pyłami, zwłaszcza w przypadku zapłonu związanego z wygenerowaniem iskry elektrycznej. Wciąż jednak trzeba pamiętać, że ten pył może ulec gwałtownej reakcji spalania, co w odpowiednich warunkach może się przerodzić w wybuch.

Spółród zabezpieczeń stosowanych do ograniczenia skutków wybuchu najbardziej obiecujące są butle ze środkiem gaśniczym. Skutecznie ograniczają ilość spalonego materiału oraz mogą izolować urządzenia przed wybuchem. Dodatkowo nie wymagają wyznaczania stref bezpieczeństwa oraz nie wyprowadzają toksycznych substancji z aparatury procesowej. Jest to jednak stosunkowo drogie rozwiązanie. Właściciele zakładów przetwórstwa zbóż często decydują się na ochronę instalacji poprzez montaż paneli dekompresyjnych, zwłaszcza w przypadku urządzeń znajdujących się poza budynkami lub z dala od dróg komunikacyjnych. To rozwiązanie (o ile zostało prawidłowo zaprojektowane) jest skuteczne, lecz stwarza zagrożenie wydostawania się z urządzenia strumienia płonącego pyłu i fali podmuchowej. Alternatywą są bezpłomienne systemy odciążania wybuchu, które również są kosztownym rozwiązaniem. Wybierając zabezpieczenia przed wybuchem, należy wziąć pod uwagę nie tylko wydatki poniesione na ochronę instalacji, lecz także potencjalne koszty skutków wybuchu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] KRENTOWSKI, J. Disaster of an industrial hall caused by an explosion of wood dust and fire. *Engineering Failure Analysis*. 2015, 56: 403-411, doi: 10.1016/j.engfailanal.2014.12.015.
- [2] CELIŃSKI, M., et al. Właściwości pożarowe i wybuchowe surowców roślinnych stosowanych w produkcji mieszanek paszowych. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2019, 3(570): 11-14, doi: 10.5604/01.3001.0013.1051.
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (Dz.U. nr 138, poz. 931).
- [4] PN-EN 1127-1:2019-10. Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.
- [5] CELIŃSKI, M., GLOC, M. Parametry charakteryzujące wybuchowość pyłów mieszanek paszowych i ich komponentów. Materiały informacyjne: <https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/88935/2019112943645&Materiały-informacyjne-mieszanki-paszowe-II-N-17-M-Celinski.pdf>.
- [6] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (Dz.U. poz. 817).
- [7] MCKENNA S.T., et al. Fire Toxicity of Polyurethane Foam. *Fire Science Reviews*. 2016, 5(3), doi: 10.1186/s40038-016-0012-3.