

# BEZPIECZEŃSTWO PROCESÓW PRODUKCYJNYCH W ASPEKCIE ZAPALNOŚCI PYŁÓW ORGANICZNYCH

## Słowa kluczowe:

palność pyłów, pył węglowy, pył polioksymetylenu

## 1. Wstęp

Zagrożenie pyłowe, zarówno w aspekcie zagrożenia wybuchem, jak również zagrożenia działaniem szkodliwym dla zdrowia należy do podstawowych zagrożeń występujących w przemyśle. Jedne z bardziej niebezpiecznych wybuchów pyłów, które zaszły w ostatnich latach w Polsce, zdarzyły się w elektrowniach: Dolna Odra w Nowym Czarnowie (styczeń 2010 r.) oraz Turów Bogatynia (lipiec 2012 r.). W obu wymienionych elektrowniach powodem wybuchu był zapłon pyłu węglowego zmieszanego z pyłem z biomasy, w wyniku czego doszło do całkowitych zniszczeń budynków, w których nastąpił wybuch [5].

W procesach produkcyjnych spotyka się wiele okoliczności, w których może wystąpić atmosfera wybuchowa. Działania profilaktyczne zmierzające do ograniczenia zagrożeń z tego tytułu powinny w pierwszej kolejności minimalizować stosowanie pyłów wybuchowych, jednak nie zawsze jest to możliwe. Badania, które są przedmiotem niniejszej pracy koncentrują się na oznaczeniu parametrów zapalności, temperaturze zapłonu warstwy oraz pyłów. Znajomość charakterystyki zapalności pyłów jest szczególnie ważna podczas konstruowania nowych instalacji, doboru urządzeń oraz metod technicznych i organizacyjnych zabezpieczających przed wybuchem w istniejących instalacjach, takich jak stosowanie maszyn i urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym czy wyznaczenie strefy zagrożenia wybuchem [12]. Pozwala to na zwiększenie bezpieczeństwa pracowników i ograniczenie ryzyka wystąpienia wybuchu mogącego doprowadzić do zniszczenia instalacji. Z tego powodu badanie parametrów zapalności pyłów stanowi fundamentalny aspekt w zakresie projektowania oraz prawidłowego doboru systemów zabezpieczeń przeciwwybuchowych.

## 2. Stan zagadnienia

Zapalność pyłów to zdolność do zapoczątkowania reakcji pod wpływem energii dostarczonej z zewnątrz, w wyniku czego następuje proces spalania. Spalanie pyłów organicznych jest w istocie spalaniem gazów, ponieważ w wyniku podgrzania z pyłu wydzielają się gazy, które biorą udział w reakcji spalania [7]. Możliwość występowania atmosfery wybuchowej, wynikająca z obecności pyłów wybuchowych, jest jednym z aspektów bezpieczeństwa procesowego w instalacjach przemysłowych. Ze względu na powszechność występowania pyłów w kopalniach węgla kamiennego, kładzie się tam bardzo duży nacisk na zabezpieczenia ograniczające możliwość wystąpienia wybuchu pyłu. Problem

zapalności pyłów w instalacjach przemysłowych bądź rolnictwie jest często lekceważony lub pomijany. Może to wynikać z braku informacji dotyczących ich zapalności bądź nieznanymi zagrożenia [12].

Możliwość wystąpienia atmosfery wybuchowej jest związana z wystąpieniem źródeł zapłonu. Dla określenia zakresu środków koniecznych do uniknięcia efektywnych (zdolnych do zapłonu w danych warunkach) źródeł zapłonu, miejsca niebezpieczne są zaliczane do stref zagrożenia wybuchem na podstawie częstotliwości i długości czasu występowania niebezpiecznej atmosfery wybuchowej. Obowiązek wykonania oceny zagrożenia wybuchem obejmującej wskazanie pomieszczeń zagrożonych wybuchem, wyznaczenie w pomieszczeniach i przestrzeniach zewnętrznych odpowiednich stref zagrożenia wybuchem wraz z opracowaniem graficznej dokumentacji klasyfikacyjnej oraz wskazanie czynników mogących w nich zainicjować zapłon wynika z Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 07.06.2010 r. (Dz.U. 109, poz. 719) w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [11]. Powyższe rozporządzenie jest związane z obowiązującymi w Unii Europejskiej dyrektywami Parlamentu Europejskiego: dyrektywą 94/9/WE, zwaną ATEX [3] (dyrektywa producenta) oraz dyrektywą 1999/92/WE, zwaną ATEX USERS [2] (dyrektywa pracodawcy). Dotyczą one miejsc zagrożonych wybuchem, warunków pracy w tych lokalizacjach oraz stosowanych tam urządzeń. Dyrektywy te mają na celu ochronę pracowników w miejscach zagrożonych wybuchem, unifikację przepisów bezpieczeństwa pomiędzy krajami Unii Europejskiej i zapewnienie wolnych rynków dla urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym. Dyrektywa ATEX 94/9/WE od 1 lipca 2003 roku jest obowiązującą dyrektywą dotyczącą zapewnienia bezpieczeństwa w przestrzeniach zagrożonych wybuchem przyjętą we wszystkich państwach Unii Europejskiej. Stare dyrektywy dotyczące tego zagadnienia oraz przepisy krajowe w całej Wspólnocie Europejskiej zostały unieważnione. Dyrektywa ATEX 94/9/WE, oprócz włączenia sprzętu nieelektrycznego, harmonizuje systemy przeznaczone do zatrzymywania rozprzestrzeniania się wybuchów lub przynajmniej ograniczenia ich następstw (systemy ochronne) do akceptowalnego poziomu. Dyrektywa ta dotyczy części składowych, które mają podstawowe znaczenie dla bezpiecznego funkcjonowania sprzętu i systemów ochronnych, ale które nie posiadają samodzielnych funkcji. Dotyczy również urządzeń ulokowanych poza atmosferą potencjalnego wybuchu, jednakże których obecność ma bezpośredni wpływ na sprzęt ochronny używany w takiej atmosferze.

Ochrona przeciwwybuchowa w przedsiębiorstwach podlega wymaganiom określonym w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 8 lipca 2010 r.

w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz.U. Nr 138, poz. 931), wdrażającym do polskiego prawodawstwa Dyrektywę 1999/92 WE w sprawie minimalnych wymagań mających na celu poprawę stanu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników potencjalnie narażonych na ryzyko spowodowane atmosferami wybuchowymi [6].

Dyrektywa o warunkach pracy ATEX USERS ma zastosowanie w takich zakładach produkcyjnych i miejscach pracy, gdzie ciecze łatwopalne, gazy, opary lub pyły mogą grozić wybuchem. Dyrektywa ta ustanawia minimalne wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa. Artykuł 11 wymienionej dyrektywy wprowadza wymóg, aby Komisja opracowała praktyczne wytyczne zawarte w niewiążących wskazówkach właściwego postępowania. Zasadniczym celem wskazówek jest wspieranie państw członkowskich w opracowywaniu ich krajowych polityk ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników. Mają na celu umożliwienie pracodawcom, szczególnie w małych i średnich przedsiębiorstwach (MŚP) sprawowanie następujących funkcji dotyczących ochrony przeciwwybuchowej:

- identyfikację zagrożeń i ocenę ryzyka,
- ustanawianie szczególnych środków w celu ochrony bezpieczeństwa i zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa,
- zapewnianie bezpiecznego środowiska pracy i odpowiedniego nadzoru podczas obecności pracowników zgodnie z oceną ryzyka,
- podejmowanie koniecznych kroków i niezbędnych uzgodnień dotyczących koordynacji w przypadku, gdy wiele firm prowadzi działalność w tym samym miejscu pracy,
- opracowanie dokumentów dotyczących ochrony przeciwwybuchowej.

Realizacja powyższych wymagań w praktyce sprowadza się w dużej mierze do wprowadzania zabezpieczeń, których zadaniem jest minimalizowanie ryzyka wystąpienia danego zagrożenia.

Zabezpieczenia te powinny być wprowadzane na etapie zarządzania przedsiębiorstwem, jak również na etapie produkcji. Na poziomie zarządzania przedsiębiorstwem można wskazać wytypowanie stref i pomieszczeń zagrożonych wybuchem. Jest to również opracowanie zasad i procedur, jakie obowiązują podczas eksploatacji instalacji oraz programów kontroli technicznych instalacji. Ponadto, wszyscy pracownicy powinni być zaangażowani w działania na rzecz bezpieczeństwa. Przedsiębiorstwo powinno być nastawione na stałe doskonalenie metod oceny i kontroli ryzyka, a działania w zakresie BHP powinny się odbywać zgodnie z prawem.

Zabezpieczenia na etapie produkcji są to głównie techniczne środki ochrony. Można tutaj wskazać dwa rodzaje zabezpieczeń: zapobiegające wytworzeniu mieszaniny palnej (pierwotne) oraz niwelujące źródła zapłonu (wtórne). Celem zabezpieczeń pierwotnych jest rozcieńczenie palnej

mieszaniny pyłów gazem lub substancją obojętną, w celu uniemożliwienia wytworzenia mieszaniny wybuchowej. Jako przykład można wskazać stosowane w górnictwie zapory wodne lub pyłowe. Innym rodzajem zabezpieczeń pierwotnych jest stosowanie środków chemicznych wiążących osady pyłowe, co prowadzi do uniemożliwienia utworzenia obłoku pyłu. Najczęściej stosowanymi w górnictwie substancjami są proszki na bazie chlorków wapnia, które są rozpylane w wyrobisku.

Na metody wtórne składają się urządzenia, ale i działania zmierzające do usunięcia źródeł zapłonu. W miejscach, gdzie istnieje ryzyko wystąpienia atmosfery wybuchowej muszą być stosowane urządzenia w wykonaniu przeciwwybuchowym. Innymi metodami ochrony przed zapłonem jest dyslokacja węzłów technologicznych z elektryzacją poza strefą zagrożenia, jak również wprowadzenie instalacji uziemiających. Należy pamiętać, że ciało człowieka może przenosić taki ładunek elektryczny, że w przy wytworzeniu się iskry, energia, która zostaje wyzwolona, może doprowadzić do zapłonu obłoku pyłów. Aby temu zapobiegać, w strefach zagrożenia wybuchem, należy używać odzieży o niskiej rezystywności powierzchniowej.

Przeprowadzanie regularnych kontroli i napraw również jest jedną z metod ochrony przed zapłonem. Przykładem może tutaj być wymiana zużytych łożysk tocznych, które w przypadku zużycia mogą nagrzewać się do wysokich temperatur, co może doprowadzić do zapłonu. Innym przykładem jest dbałość o czystość urządzeń, ponieważ nawarstwianie się pyłów, np. na obudowach silników elektrycznych, prowadzi do zwiększonego nagrzewania się obudowy silnika, co również może spowodować zapłon nawarstwiającego pyłu.

Należy zwrócić uwagę na to, że dbałość o stan bezpieczeństwa nie powinna opierać się na chęci uniknięcia formalnych konsekwencji, ale na podwyższaniu standardów bezpieczeństwa gwarantujących pracę bezwypadkową.

### 3. Badane pyły

Badaniu zostały poddane dwa rodzaje pyłów:

- pył węgla kamiennego,
- pył polioksymetylenu (POM).

Ze względu na chemiczną budowę związków występujących w węglu można wydzielić trzy grupy substancji: substancję organiczną, substancję nieorganiczną (mineralną) oraz wodę. Natomiast ze względu na sposób zachowania się w procesie spalania przyjęło się umownie dzielić substancje tworzące węgiel na substancję palną oraz balast. Do balastu zalicza się wilgoć i części mineralne, z których powstaje popiół. Substancja palna węgla składa się z węglowodorów i związków organicznych, w których skład wchodzi pierwiastki: S, O i N. Nieznaczny udział w substancji palnej mają także niektóre siarczki nieorganiczne [8]. Ilość powstałego balastu zależy od ilości zużytego węgla, jego jakości (zawartości popiołu), rodzaju i konstrukcji paleniska oraz od skuteczności zastosowanych urządzeń odpylających (rodzaj urządzeń odpylających ma również wpływ na skład granulometryczny popiołów) [9].

Pył węgla kamiennego pobrano z instalacji, którą jest on transportowany systemem rur do pieców ciepłowniczych

elektrociepłowni, wytwarzającej parę wodną na potrzeby zakładu. Do zakładu węgiel kamienny dostarczany jest w postaci kostek (kęsów). Następnie trafia on do obrotowego młyna kulowego, gdzie metalowe kule, spadające na znajdujący się w środku węgiel, rozdrabniają go aż do uzyskania pyłu o średnicy około 50-100  $\mu\text{m}$ . Rozdrobnienie węgla pozwala na uzyskanie właściwej efektywności spalania. Pył w instalacji transportowany jest do komory paleniskowej w systemie podciśnieniowym (około 150 mbar). Taki sposób transportu zapobiega wydostawaniu się transportowanego pyłu poza instalację, dzięki czemu ogranicza się ryzyko wystąpienia atmosfery wybuchowej poza wewnętrzną częścią instalacji.

Polioksymetylen (POM), znany również jako poliacetal lub acetal, został opracowany po raz pierwszy przez niemieckiego chemika Hermana Staudingera. Ze względu na początkowe problemy ze stabilnością termiczną polimer nie trafił od razu na rynek. Proces produkcji polioksymetylenu obejmuje wytworzenie formaldehydu (z metanolu), a następnie jego polimeryzację dla otrzymania homopolimeru POM. Otrzymywanie kopolimeru POM następuje poprzez przyłączenie formaldehydu do trioksanu i polimeryzacji tego ostatniego, wraz z komonomerem, do postaci kopolimeru POM [4].

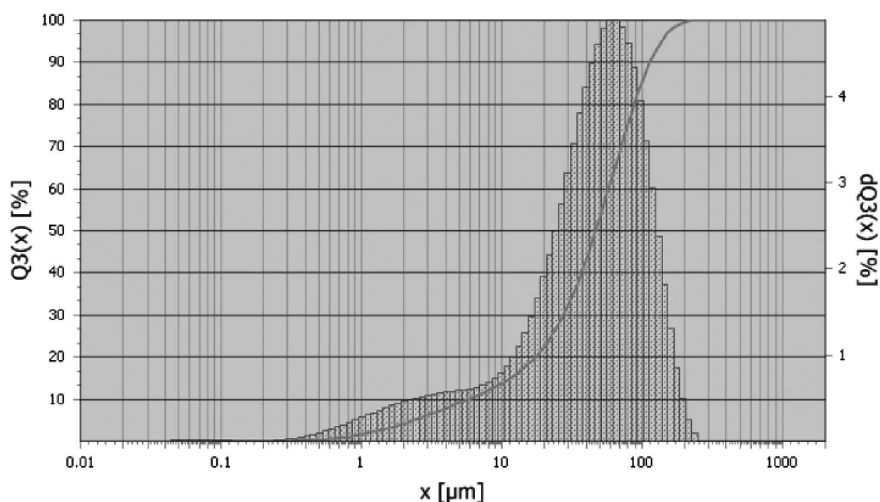
POM jest to ciało częściowo krystaliczne, twarde, sztywne, ciągliwe, niełamliwe, posiada wysoką odporność kształtu na ciepło, dobrą odporność na ścieranie. Wykonuje się z niego m.in. elementy precyzyjne dla przemysłu samochodowego i elektronicznego, koła zębate, krzywki, wirniki, cewki, śruby, dźwignie, koła zębate, sprężyny, zatrzaski, zawory, elementy meblarskie, wkręty, zamki, elementy ślizgowe, pompy.

Zakład, z którego pochodzą próbki badanych pyłów, ze względu na duże ilości substancji niebezpiecznych oraz charakter produkcji jest zaliczany do zakładów dużego ryzyka wystąpienia awarii i podlega dyrektywie SEVESO [1]. Z tego względu w zakładzie wprowadzono ograniczenia możliwości przebywania osób niebędących uprawnionymi pracownikami w obrębie strefy produkcyjnej. Dlatego pobranie próbek pyłu polioksymetylenu zostało wykonane przez jednego z pracowników bez udziału osoby wykonującej badania. Zakład ze względu na tajemnicę przedsiębiorstwa nie ujawnia również szczegółów produkcji tejże substancji. Do badań udostępniono 2 kg pyłu. Pomiar minimalnej temperatury zapłonu warstwy oraz obłoku pyłów wykonuje się zgodnie z normą PN-EN 50281:2002 *Metody oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłu*. Jednym z wymagań stawianych w normie jest, aby próbka pyłu była jednorodna. Norma zaleca, aby badany pył został przesiany przez sito o kwadratowych otworach o wielkości nominalnej 200  $\mu\text{m}$ , jednocześnie badana próbka pyłu powinna być reprezentatywna dla badanego materiału bądź technologii, nie powinna jednak zawierać ziaren o średnicy powyżej 0.5 mm. W tym celu w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w Mikołowie przy

pomocy laserowego miernika wielkości cząstek ANALYSETTE 22 MicroTec plus dokonano analizy ziarnowej badanych pyłów. Laserowy miernik wielkości cząstek typu Analysette 22 MicroTec Plus z dwoma laserami półprzewodnikowymi (zielony/IR) jest wyposażony w odwrócony system optyczny Fouriera zapewniający automatyczneJUSTOWANIE obu wiązek laserowych i nowoczesny detektor rozproszonego światła (2 segmenty, 57 elementów) umożliwiający rozpoznawanie do 108 klas wielkości cząstek. Oprogramowanie uwzględniające kompletną kalkulację teorii Mie i Fraunhofera umożliwiającą przeprowadzanie szybkich pomiarów na mokro cząstek o wymiarach 0.08-2000  $\mu\text{m}$  [7].

Dzięki wysoko zaawansowanej technologii można w krótkim czasie uzyskać bardzo dokładne dane przedstawiające rozmiary ziaren analizowanych pyłów. Na poniższych rysunkach przedstawiono otrzymane wyniki badań.

Wykres słupkowy na rysunku 1. przedstawia rozkład ziarnowy pyłu węgla kamiennego, który został pobrany w Zakładzie Grupy Azoty w Tarnowie. Z wykresu można odczytać,



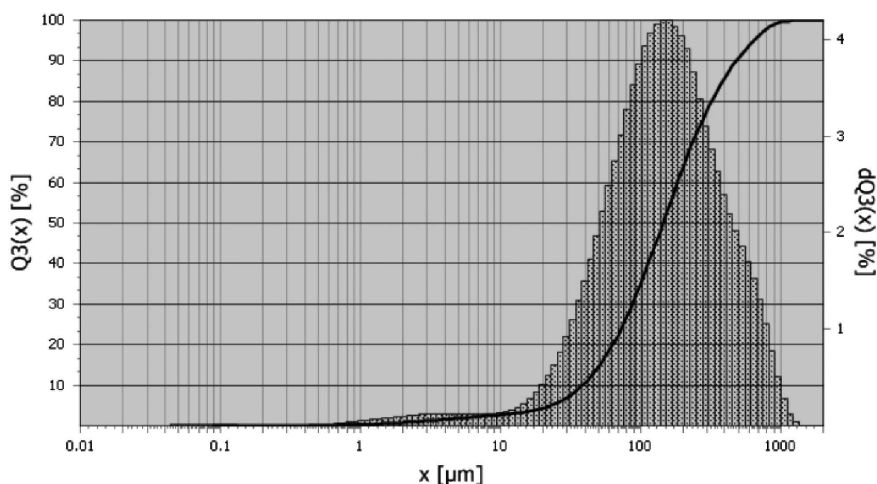
Rys. 1. Rozkład wymiarowy ziaren węgla kamiennego

że dominująca średnica ziaren pyłów mieści się w zakresie 30-100  $\mu\text{m}$ . Dzięki bardzo wysokiej dokładności pomiarów urządzenia pomiarowego można stwierdzić, że badany pył może być użyty do badań pomiarów temperatury jego zapłonu.

Na rozkładzie wymiarowym pyłu polioksymetylenu (rys. 2) widać, że dominującą frakcją w badanej próbce są ziarna o średnicy 40-500  $\mu\text{m}$ . Ze względu na to, że materiał badawczy został pobrany z określonej instalacji przemysłowej, w celu otrzymania wyników reprezentacyjnych dla danej próbki, nie dokonywano jej przesiewania.

#### 4. Wykonanie pomiarów temperatury zapłonu warstwy pyłu

Skłonność warstwy pyłu do zapłonu określa się na podstawie minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu. Zgodnie z normą PN-EN 50281:2002 *Metody oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłu* [10], badanie należy wykonać na 5 mm warstwie pyłu. Za zapłon warstwy uważa



Rys. 2. Rozkład wymiarowy ziaren pyłu polioksymetyleny

się zainicjowanie propagacji tlenienia lub spalania płomieniem badanego pyłu. Powyższa norma szczegółowo opisuje aparat do wyznaczania temperatury zapłonu warstwy pyłu. Główną częścią urządzenia jest ogrzewana elektrycznie aluminiowa płyta grzejna o średnicy 200 mm i grubości minimum 20 mm. Pomiar oraz sterowanie temperaturą odbywa się za pomocą termopary zamontowanej w płycie pod powierzchnią górną. Pomiar temperatury próbki pyłu odbywa się przy pomocy termopary zlokalizowanej równolegle do powierzchni płyty grzejnej na wysokości, tak aby jej układ pomiarowy znajdował się w geometrycznym środku warstwy pyłu. Układ termopary podłączony jest do rejestratora zmian temperatury, który zapisuje i przedstawia w tabeli oraz na wykresie pomiary temperatur badanego pyłu. Warstwę pyłu tworzy się ręcznie, wypełniając metalowy pierścień o średnicy 100 mm i wysokości 5 mm. Pierścień na przeciwległych końcach posiada nacięcia umożliwiające umieszczenie wewnątrz warstwy pyłów drutów termopary. Na rysunku 3. przedstawiono uformowaną warstwę pyłu węglowego oraz urządzenie do wyznaczania temperatury zapłonu warstwy pyłu.

Do wykonania pomiarów temperatury zarówno warstwy, jak i obłoku pyłów wykorzystano aparaturę badawczą będącą na wyposażeniu Laboratorium Zagrożeń Fizycznych w Środowisku Pracy Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach. Aparatura, na której wykonywano badania jest wykonana zgodnie z odpowiednimi normami



Rys. 3. Uformowana warstwa pyłu węgla kamiennego

i pozwala na otrzymanie precyzyjnych wyników. W pierwszej kolejności dokonano wyznaczenia temperatury zapłonu warstwy pyłu węglowego. Wykonano serię 4 badań po 30 minut, temperatury płyty grzejnej wynosiły odpowiednio: 320, 370, 400 oraz 450 °C.

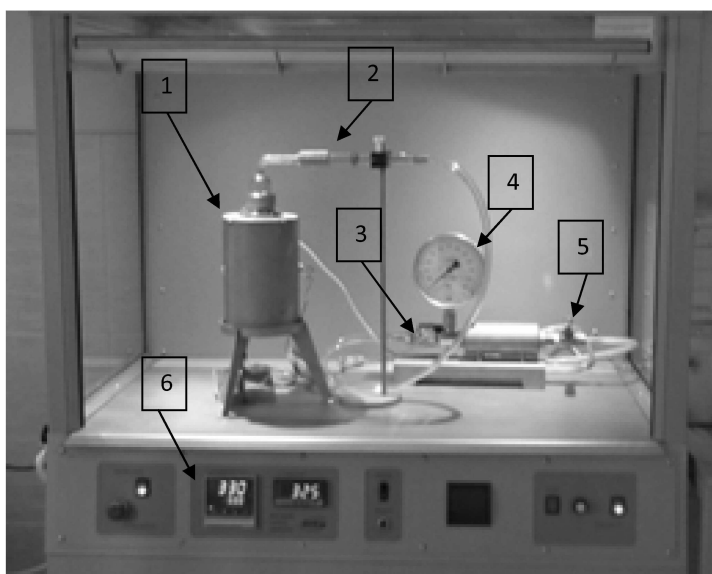
Pył polioksymetyleny został poddany jednemu badaniu.

Przed usypaniem warstwy pyłu, w celu otrzymania wykresów zmian temperatury wewnątrz warstwy pyłu, na podłączonym do układu pomiarowego komputerze PC, uruchomiono układ rejestrujący dane. Program rejestrujący o nazwie DUST Later ReqTemp 1.0 dla WSZOP został wykonany stricte na potrzeby Wyższej Szkoły Zarządzania

Ochroną Pracy w Katowicach. Wyniki badań przedstawiono w dalszej części pracy.

### 5. Wykonanie pomiarów temperatury zapłonu obłoku pyłu

Minimalną wartość zapłonu obłoku pyłu wyznacza się za pomocą pionowego pieca Godberta-Greenwalda, zbudowanego z ogrzewanej rury krzemionkowej o średnicy wewnętrznej 35 mm, wewnątrz której zabudowany jest uzwojony drut oporowy pozwalający uzyskać wewnątrz rury temperaturę minimum 1000°C. Piec jest zainstalowany na metalowym statywie, tak aby była możliwość obserwacji wylotu pieca. Jest to niezbędne do określenia tego, czy wystąpił zapłon pyłu. Do górnego otworu pieca włożona jest szklana rurka, którą doprowadzany jest do wewnątrz pył. Do wdmuchiwania pyłu wykorzystuje się układ pneumatyczny zbudowany ze sprężarki, manometru do pomiaru ciśnienia (z jakim wdmuchiwany jest pył), zaworu kulowego do regulacji ciśnienia powietrza oraz zbiorniczka na pył. Przepływ powietrza uzyskuje się za pomocą zaworu elektromagnetycznego, którego otwarcie powoduje wdmuchnięcie mieszaniny pyłowo-powietrznej do wnętrza pieca. Regulacji temperatury wewnątrz pieca dokonuje się zmieniając napięcie zasilające uzwojenie grzejne, natomiast do pomiaru temperatury wykorzystuje się termoparę zainstalowaną wewnątrz pieca. Na rysunku 4. przedstawiono wygląd pieca Godberta-Greenwalda. Badaniu temperatury zapłonu obłoku pyłu poddano takie same pyły, które służyły do wyznaczenia temperatury zapłonu warstwy pyłu opisane w poprzednich rozdziałach. Do wyznaczenia temperatury zapłonu obłoku pyłu wykorzystano urządzenie przedstawione na ww. rysunku, które podobnie jak aparatura do pomiaru temperatury zapłonu warstwy pyłu jest na wyposażeniu Laboratorium Zagrożeń Fizycznych w Środowisku Pracy Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach. Badania wykonywano zgodnie z normą [10]. Aparatura, na której wykonywano badania jest wykonana zgodnie z odpowiednimi normami i pozwala na otrzymanie precyzyjnych wyników. Do wykonania pomiaru masy pyłu posłużono się wagą laboratoryjną firmy RADWAG, której działka pomiarowa wynosi 0,001 g. W pierwszej kolejności wykonano



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe do temperatury zapłonu obłoku pyłu

### 7. Wyniki badań temperatury zapłonu warstwy pyłu polioksymetylenu

Pył polioksymetylenu po ustawieniu temperatury grzejnej na 200 °C uległ stopieniu, co pokazano na rysunku 6. Na tym etapie, ze względu na możliwość uszkodzenia płyty grzejnej, przerwano badania.

### 8. Wyniki badań temperatury zapłonu obłoku pyłu węgla kamiennego

Wyniki badań temperatury zapłonu obłoku pyłu węglowego przedstawiono w tabeli 2.

Najniższa temperatura wewnątrz pieca, przy której zaobserwowano zapłon pyłu węgla kamiennego, wynosiła 630 °C. Zgodnie z normą [10] za minimalną temperaturę zapłonu obłoku pyłu należy uznać temperaturę pomniejszoną o 20 °C względem tej, przy której nie nastąpił zapłon obłoku pyłu. Jako minimalną temperaturę zapłonu obłoku badanego pyłu węgla kamiennego przyjmuje się 610 °C.

pomiary zapłonu obłoku pyłu węglowego. Wykonano serię 18 prób. Następnie wykonano pomiary zapłonu obłoku pyłu polioksymetylenu. Wykonano 21 prób.

### 6. Wyniki badań temperatury zapłonu warstwy pyłu węgla kamiennego

Wyniki badań, których celem było wyznaczenie temperatury zapłonu warstwy pyłu węglowego przedstawiono w tabeli 1. Dodatkowo na rysunku 5. przedstawiono wykres zmian temperatury zmierzonej za pomocą termopary znajdującej się w środku badanej próbki po czasie dla najwyższej badanej temperatury płyty grzejnej wynoszącej 450 °C.

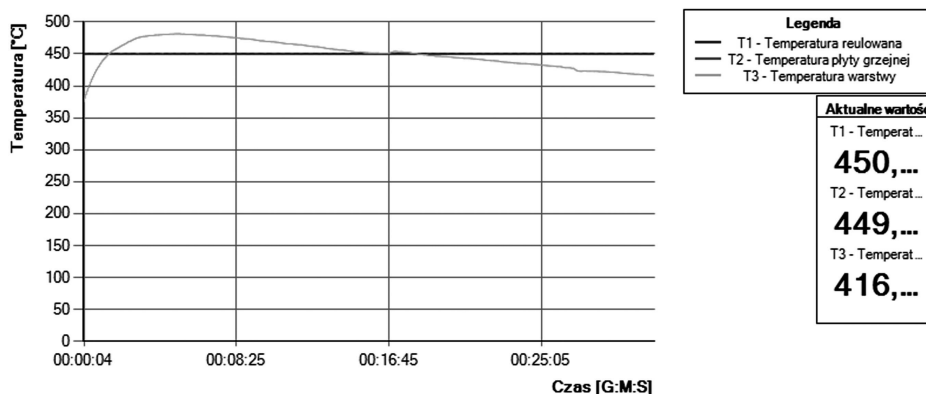
### 9. Wyniki badań temperatury zapłonu obłoku pyłu polioksymetylenu

Wyniki badań temperatury zapłonu obłoku pyłu polioksymetylenu przedstawiono w tabeli 3.

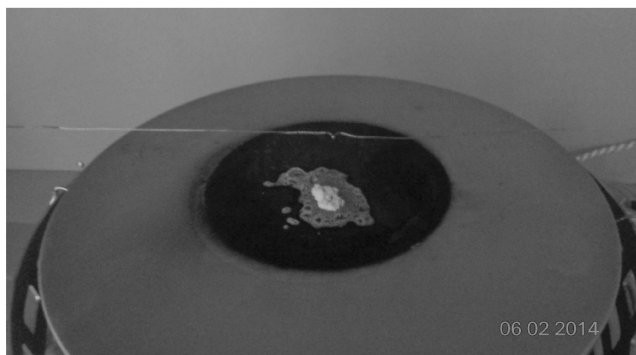
Najniższa temperatura wewnątrz pieca, przy której zaobserwowano zapłon pyłu polioksymetylenu wynosiła 430 °C. Zgodnie z normą [10], za minimalną temperaturę zapłonu obłoku pyłu należy uznać temperaturę pomniejszoną o 20 °C względem tej, przy której nie nastąpił zapłon obłoku pyłu. Jako minimalną temperaturę zapłonu obłoku badanego pyłu polioksymetylenu przyjmuje się 410 °C.

Lp.	Temperatura płyty grzejnej [°C]	Czas badania [min]	Wystąpienie samonagrzewania się pyłu	Wystąpienie zapłonu pyłu
1.	320	30	Nie	Nie
2.	370	30	Nie	Nie
3.	400	30	Nie	Nie
4.	450	30	Nie	Nie

Tab. 1. Wyniki badań temperatury zapłonu warstwy pyłu węgla kamiennego



Rys. 5. Zmiany temperatury warstwy pyłu węgla kamiennego dla temperatury płyty grzejnej równej 450 °C



Rys. 6. Topienie się pyłu polioksymetyleny w temperaturze 200 °C

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zarówno węgiel używany w elektrociepłowni zakładowej, jak również polioksymetylen obecny w węzłach technologicznych są substancjami, które przy zetknięciu z gorącymi powierzchniami mogą ulec zapłonowi. Z tego powodu obowiązkiem użytkownika jest przeprowadzanie działań ograniczających możliwość wystąpienia awarii, zapewniając odpowiedni poziom bezpieczeństwa. W pierwszej kolejności należy przeprowadzić identyfikację zagrożeń, tj. wytypować urządzenia, które mogą doprowadzić do wystąpienia źródła zapłonu (otwartego ognia czy też gorącej powierzchni) oraz zlokalizować miejsca, którymi substancje mogłyby się wydostać z instalacji w sposób niekontrolowany. W razie wystąpienia ryzyka zapłonu niebezpiecznych atmosfer wybuchowych, koniecznym jest

zastosowanie środków ochrony przeciwwybuchowej, mających na celu ograniczenie szkodliwych skutków wybuchu. Kolejnym z obowiązków użytkownika jest przeszkolenie pracowników i zaznajomienie ich z zagrożeniem, z którym spotykają się w miejscu pracy. Należy zaznaczyć, że zarówno pracodawcy, jak i pracownicy powinni dążyć do ciągłej poprawy kultury bezpieczeństwa i to na każdym poziomie, tj. technicznym, organizacyjnym oraz społecznym.

#### Literatura:

[1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2012/18/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi, zmieniająca, a następnie uchylająca dyrektywę Rady 96/82/WE (Seveso III).

[2] Dyrektywa 1999/92/WE z dnia 16 grudnia 1999 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (piętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG).

[3] Dyrektywa 94/9/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 marca 1994 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa państw członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

[4] <http://www.resinex.pl/rodzaje-polimerow/pom.html>, dostęp 29.05.2014.

[5] [http://www.xbms.eu/files/xbms/pdf/bms\\_pl\\_cs\\_gdf\\_suez\\_polaniec.pdf](http://www.xbms.eu/files/xbms/pdf/bms_pl_cs_gdf_suez_polaniec.pdf), dostęp: 7.05.2014.

Numer badania	Temperatura wewnątrz pieca [°C]	Masa pyłu [g]	Ciśnienie powietrza w zbiorniku [kPa]	Zapłon (tak/nie)
1.	660	0,2	0,15	Tak
2.	580	0,2	0,15	Nie
3.	620	0,2	0,15	Nie
4.	630	0,2	0,15	Nie
5.	640	0,2	0,15	Tak
6.	630	0,15	0,15	Nie
7.	630	0,1	0,15	Nie
8.	640	0,1	0,15	Nie
9.	630	0,2	0,1	Nie
10.	630	0,2	0,15	Tak
11.	630	0,2	0,2	Nie
12.	630	0,2	0,2	Nie
13.	630	0,2	0,2	Nie
14.	620	0,2	0,2	Nie
15.	640	0,2	0,2	Tak
16.	630	0,2	0,2	Nie
17.	630	0,2	0,2	Nie
18.	630	0,2	0,2	Nie

Tab. 2 Wyniki badań temperatury zapłonu obłoku pyłu węgla kamiennego

#### 10. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie wykonanych badań otrzymano następujące dane:

- Temperatura zapłonu warstwy badanego pyłu węgla kamiennego wynosi minimum 450°C. Z danych literaturowych wynika, że pyły węglowe mają zazwyczaj temperaturę zapłonu w granicach 300-400 °C [12]. Oznacza to, że badany pył charakteryzuje się podwyższoną temperaturą zapłonu warstwy pyłu.
- Pył polioksymetyleny już przy temperaturze płyty grzejnej wynoszącej 200 °C topił się na niej, uniemożliwiając zapalenie się warstwy pyłu.
- Temperatura zapłonu obłoku badanego pyłu węgla kamiennego wynosi 610 °C.
- Temperatura zapłonu obłoku badanego pyłu polioksymetyleny wynosi 410 °C.

Numer badania	Temperatura wewnątrz pieca [°C]	Masa pyłu [g]	Ciśnienie powietrza w zbiorniku [kPa]	Zapłon (tak/nie)
1.	450	0,5	0,15	Tak
2.	400	0,5	0,15	Nie
3.	410	0,5	0,15	Nie
4.	420	0,5	0,15	Nie
5.	430	0,5	0,15	Tak
6.	430	0,5	0,15	Tak
7.	420	0,5	0,15	Nie
8.	420	0,5	0,15	Nie
9.	420	0,4	0,15	Nie
10.	420	0,3	0,15	Nie
11.	420	0,6	0,15	Nie
12.	430	0,5	0,15	Tak
13.	430	0,5	0,1	Nie
14.	430	0,4	0,15	Nie
15.	430	0,5	0,2	Nie
16.	420	0,5	0,2	Nie
17.	420	0,5	0,15	Nie
18.	420	0,5	0,15	Nie
19.	420	0,5	0,15	Nie
20.	420	0,5	0,15	Nie
21.	420	0,5	0,15	Nie

Tab. 3. Wyniki badań temperatury zapłonu obłoku pyłu polioksymetylenu

- [6] Lebecki K., Rosmus P., Martyka J., Markowski A., *Zintegrowane metody zarządzania ryzykiem zawodowym, społecznym i środowiskowym dla zagrożeń stwarzanych przez poważne awarie przemysłowe*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013.
- [7] Lebecki K., *Zagrożenia pyłowe w górnictwie*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2004
- [8] Lorenz U., *Metoda oceny wartości węgla kamiennego energetycznego uwzględniająca skutki jego spalania dla środowiska przyrodniczego*. Studia, Rozprawy, Monografie nr 64. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków 1999.
- [9] Lorenz U., *Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania*. Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, Kraków 2005.
- [10] PN-EN 50281:2002 - *Urządzenia elektryczne do stosowania w obecności pyłów palnych. Część 2-1: Metody oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłu*.
- [11] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, Dz. U. 2010, nr 109, poz. 719.
- [12] Toman W., *Parametry palności i wybuchowości pyłów biomasy stosowanej w elektrowniach ciepłych*. „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach”, nr 1(9)/2013, s. 83-96.

## THE SAFETY OF PRODUCTION PROCESSES IN TERMS OF ORGANIC DUSTS IGNITABILITY

### Key words:

flammability of dust, coal dust, polyoxymethylene dust

### Abstract:

The occurrence of dust, which, due to their physico-chemical properties can ignite and cause an explosion is widespread in the industry. Technological advances and the related development of explosion protection can significantly reduce the possibility of ignition of dust, but protection selection is largely dependent on the parameters of flammability of dust. Flammability dust include the ability to initiate the reaction under the influence of energy supplied from the outside, resulting in the combustion process. The research, which are the subject of this paper focuses on the determination of the parameters flammability; ignition temperature and dust layer. Knowledge of the flammability characteristics of dust is particularly important when building new plants, equipment

selection and technical methods and organizational explosion hazards in existing installations such as the use of machinery and equipment in explosion-proof or determination of the hazard zone. Determination of the minimum ignition temperature of particulate matter [6] is carried out on a 5 mm layer of dust. For the ignition layer believed to initiate the propagation of flame or combustion oxygenation of the test dust. In contrast, determination of the minimum ignition temperature of the cloud of dust is carried out in an oven Godberta-Greenwald. The tests were subjected to dust coal and polyoxymethylene (POM) that have been downloaded from the Department of the Group Azoty Tarnow, while the tests were performed at the Laboratory in University of Labour Safety Management in Katowice and in laboratory Experimental Mine Barbara in Mikolow. The plant, from which the sample of respondents dust because of the large quantities of hazardous substances and the nature of production is counted among the plants at high risk of failure because of this it is necessary to carefully examine the substances present in it that could pose a danger.

**Mgr inż. Paweł ZĄBEK**

pzabek90@gmail.com