

Maciej Celiński
Michał Gloc

**Charakterystyki
zagrożeń pyłową
atmosferą wybuchową
mieszanek paszowych
wytwarzanych na bazie
surowców roślinnych**

Materiały informacyjne CIOP-PIB

Charakterystyki zagrożeń pyłową atmosferą wybuchową mieszanek paszowych wytwarzanych na bazie surowców roślinnych

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Projekt II.N.17: Badanie zagrożenia pyłową atmosferą wybuchową oraz wyładowaniami elektrostatycznymi w procesach produkcji mieszanek paszowych wytwarzanych na bazie surowców roślinnych

Autorzy:

dr inż. Maciej Celiński – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, Pracownia Bezpieczeństwa Chemicznego

dr inż. Michał Gloc – Politechnika Warszawska, Zakład Projektowania Materiałów, Uczelniane Centrum Badawcze „Materiały Funkcjonalne”

Zdjęcie na okładce: Bigstock

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2019

CIOP  **PIB**

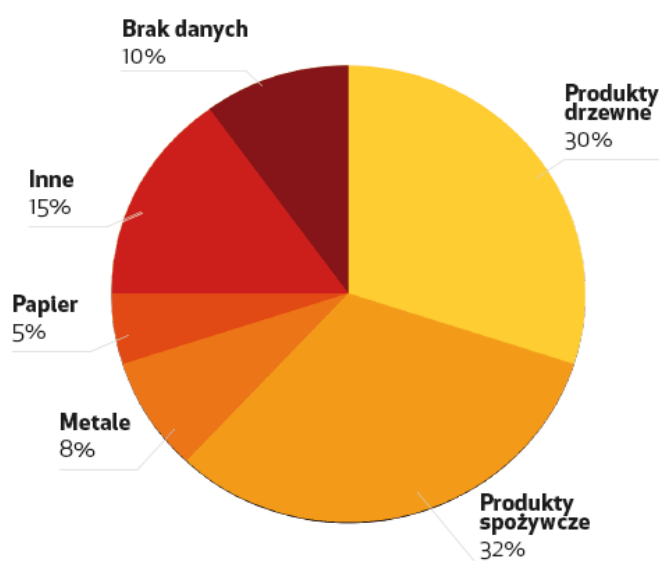
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

1. Wprowadzenie

Większość pyłów przemysłowych przy odpowiednim rozdrobnieniu i koncentracji w powietrzu oraz odpowiednim źródle zapłonu może tworzyć atmosfery wybuchowe. Wybuchy pyłów stanowią zagrożenie w różnych gałęziach przemysłu. Problem ten dotyczy praktycznie wszystkich zakładów pracy, w których występują pyły palne. Do pyłów palnych zalicza się m.in. pyły pochodzenia organicznego, np. pyły drewna, węgla, produktów żywnościowych (mąki, cukru). Rysunek 1 przedstawia procentowy udział poszczególnych pyłów palnych najczęściej ulegających zapaleniu w praktyce przemysłowej.



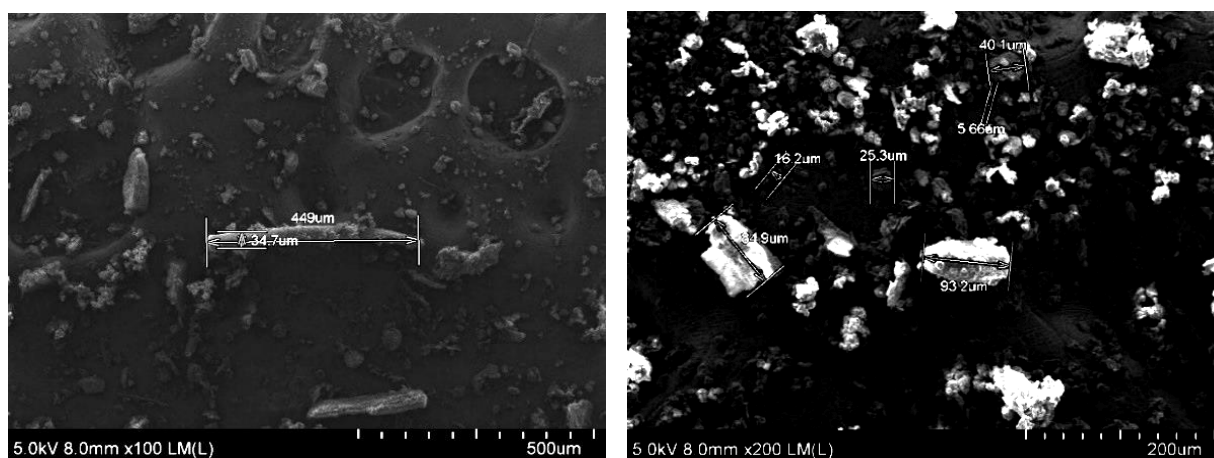
Rys. 1. Procentowy rozkład pyłów biorących udział w wybuchach [źródło: opracowanie własne na podst.: C. Cloney, 2017 Combustible Dust Incident Report – Version 1, 2018]

Krajową produkcję pasz treściwych w sezonie 2017/18 szacuje się na 24,5 mln ton, tj. o 9,2% więcej w porównaniu z sezonem 2016/17. Uzyskiwanie pasz rolniczych wiąże się z przeróbką i obróbką zbóż. Podczas tych procesów dochodzi do pylenia drobnych frakcji roślinnych. Pył zbożowy powstaje najczęściej podczas zbiórki, suszenia, przewożenia, składowania i obróbki zbóż. W przemyśle rolniczym pyły powstają głównie przy takich procesach jak mielenie, szlifowanie, kruszenie, młócenie, siew, przesypywanie zbóż w celu magazynowania, a także przy pracach kombajnem zbożowym. Pył ten zawiera suche części roślin o różnych gradacjach cząstek oraz mikroskopijne bakterie, grzyby, owady, resztki pestycydów.

Prace rolnicze, które powodują powstawanie dużych ilości pyłu zbożowego, to m.in.:

- prace żniwne, zbiórka ziarna i przesywanie go ze zbiorników kombajnów na przyczepy rolnicze,
- rozładunek ziarna z przyczep do spichlerzy lub magazynów zbożowych,
- przesywanie ziarna w magazynach,
- czyszczenie i obróbka ziarna,
- mielenie i mieszanie suchego ziarna,
- przyrządzanie paszy dla zwierząt z suchego zmielonego ziarna,
- sprzątanie w magazynach zbożowych.

Wytwarzanie mieszanek paszowych wiąże się z mieszaniem ziaren zbóż w procesie ich łączenia, następnie mieszanki te są magazynowane w silosach. Proces mieszania materiałów ziarnistych i sypkich jest relatywnie łatwy, niemniej niesie ze sobą zagrożenie w postaci pylenia. Transport, mieszanie sypkich zbóż oraz magazynowanie ich w silosach mogą powodować zagrożenia pożarowe i wybuchowe wynikające z dużej podatności rozdrobnionej masy organicznej na zapłon. Za palny pył uważa się ziarna materiału palnego lub trudnopalnego o wymiarze równym 500 μm lub mniejszym, które w kontakcie z powietrzem wchodzi w reakcję utleniania. Z analizy fotografii SEM zmielonego ziarna owsa wynika, że cząstki mają w zdecydowanej przewadze kształt globularny oraz włóknisty. Pomimo zastosowania sita o otworach 200 μm obserwowane były wydłużone ziarna włókniste, w których jeden wymiar przekraczał wartość 200 μm . Przykładowe obrazy zarejestrowane dla ziaren owsa po procesie mielenia zostały przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Morfologia ziarna owsa po procesie mielenia w młynku
[źródło: opracowanie własne]

2. Pyłowa atmosfera wybuchowa

Żaden materiał palny, w tym pył w stężeniu wybuchowym, nie ulegnie zapłonowi, jeśli nie pojawi się odpowiednio silny bodziec energetyczny. Wskazanie potencjalnych źródeł zapłonu i ich efektywności to pierwszy etap działań. Największą trudnością przy ocenianiu ryzyka wybuchu jest przyporządkowanie poszczególnym źródłom zapłonu określonego prawdopodobieństwa. Należy określić, czy dane źródła zapłonu mogą występować ciągle, okazjonalnie, czy jedynie wyjątkowo.

Zjawisko wybuchu może powstać, jeśli w mieszaninie odpowiedniej ilości paliwa z powietrzem i w zakresie stężenia pomiędzy dolną a górną granicą wybuchowości pojawi się efektywne źródło zapłonu. Czynnikiem decydującym o zdolności substancji palnych do wytworzenia atmosfery wybuchowej jest przede wszystkim zdolność zapłonu mieszaniny tej substancji w powietrzu. Atmosfera wybuchowa wystąpi, kiedy zostanie osiągnięty odpowiedni stopień dyspersji substancji palnej, a stężenie tej substancji będzie się zawierać w zakresie pomiędzy granicami wybuchowości. Atmosfera wybuchowa to mieszanina substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem o charakterystyce odpowiadającej warunkom atmosferycznym, w której po wystąpieniu zapłonu spalanie rozprzestrzeni się na całą niespaloną mieszaninę [2,3].

Mieszaniny powietrze – pył palny stanowią bardzo silną atmosferę wybuchową. Wiele materiałów, które są trudnopalne, w przypadku rozdrobnienia tworzy z powietrzem groźne mieszaniny, które mogą ulec zapaleniu i wybuchowi. Po zapłonie chmury pyłu następuje gwałtowna reakcja spalania całej objętości, w której pył jest zawieszony w powietrzu. Pyły o większych ziarnach także mogą stanowić zagrożenie, lecz ich podatność na gwałtowną reakcję spalania jest mała [2,3].

Kingsly Ambrose, profesor nadzwyczajny inżynierii rolnej i biologicznej i główny autor raportu dotyczącego wybuchów w przetwórstwie zbożowym, stwierdził, że w 2018 r. miało miejsce aż dwanaście wybuchów pyłu zbożowego. Dla porównania w roku poprzednim naliczono ich siedem, a dziesięcioletnia średnia roczna liczba tego rodzaju wybuchów wynosi 8,4. W 2018 r. eksplozjom zostały przypisane jedna ofiara śmiertelna i cztery obrażenia, podczas gdy w 2017 r. było to pięć ofiar śmiertelnych i dwanaście obrażeń. W obiektach, w których doszło do wybuchów, znajdowały się dwa młyny paszowe, dwa zakłady produkcji etanolu i osiem elewatorów zbożowych.

3. Charakterystyki zagrożeń pyłową atmosferą wybuchową mieszanek paszowych wytwarzanych na bazie surowców roślinnych

Do analizy przyjęto cztery rodzaje najpopularniejszych ziaren zbóż: owies, pszenżyto, pszenicę i kukurydzę. Ziarna zostały przemielone na drobną frakcję przy użyciu młynka sitowego. Zmielone ziarno w młynku mechanicznym zostało przesiane przez sita wibracyjne. W procesie przesiewania uzyskano różne wartości pyłu. Do badań wybuchowości wybrano pyły zbóż oraz pyły mieszanek paszowych o gradacjach 71-63 μm oraz 63-32 μm , które zmieszano ze sobą w równych proporcjach.

Do dalszych badań przygotowano najczęściej stosowane mieszanki zbożowe, bez dodatków środków chemicznych. Składy mieszanek dobrano na podstawie danych literaturowych oraz ofert producentów mieszanek zbożowych. Mieszanki uzyskano przez mechaniczne zmieszanie ziaren zbóż w odpowiednich proporcjach. Kompozycje uzyskanych mieszanek paszowych przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Procentowy udział ziaren zbóż w przygotowanych mieszankach paszowych

Numer mieszanki	Pszenica	Pszenżyto	Owies	Kukurydza
Mieszanka 1	25%	25%	25%	25%
Mieszanka 2	—	50%	50%	—
Mieszanka 3	—	20%	60%	20%
Mieszanka 4	75%	25%	—	—

Na podstawie uzyskanych wyników przydzielono poszczególne pyły do klas wybuchowości według OSHA (Occupational Safety and Health Administration) (tab. 2).

Tabela 2. Charakterystyka wybuchu pyłów zbóż i mieszanek paszowych

Zboże/mieszanka	P_{\max}	K_{ST}	Klasa ST	DGW
	bar	bar · m/s	—	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
Mieszanka 1	6,8	114	ST1	60
Mieszanka 2	7,0	156	ST1	60
Mieszanka 3	7,2	113	ST1	60
Mieszanka 4	7,5	144	ST1	125

Na podstawie analizy uzyskanych parametrów opisujących charakterystykę wybuchu mieszanin pyłowo-powietrznych badanych pyłów składników mieszanek zbożowych można wywnioskować, że zgodnie z ogólnie przyjętymi kryteriami wszystkie badane pyły wykazują tożsame charakterystyki wybuchu: klasę ST1. Warto jednak zauważyć, że wybuch kukurydzy charakteryzuje się znacznie mniejszą szybkością przyrostu ciśnienia wybuchu w jednostce czasu niż pozostałe pyły. Indeks deflagacyjny K_{ST} na poziomie $52 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$ oznacza, że szybkość wybuchu osiąga wartość jedynie 8 m/s ($\sim 29 \text{ km/h}$), co świadczy o stosunkowo wolnym procesie spalania mieszaniny pyłowo-powietrznej. Wyniki te korelują z wynikami uzyskanymi w trakcie badań parametrów procesu spalania. Związkiem charakteryzującym się najwyższą wartością parametru K_{ST} jest pszenica ($158 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$), natomiast najwyższy skok ciśnienia wybuchu uzyskano dla owsa ($7,6 \text{ bara}$). Wysokie wartości ciśnienia wybuchu sugerują możliwość spowodowania większych szkód podczas ewentualnego zdarzenia na terenie zakładu, w szczególności wewnątrz pomieszczeń zamkniętych. Badania DGW wykazały, że najniższa wartość stężenia, dla której pyły badanych substancji w mieszaninie pyłowo-powietrznej mogą stworzyć atmosferę wybuchową, wynosi 125 g/m^3 . Wartość ta jest zbliżona do wyników uzyskanych dla likopodium, pyłu polietylenu oraz sacharozy i świadczy o możliwości wystąpienia zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej przy stosunkowo niedużym stężeniu pyłu. Analogiczne badania wykonano dla mieszanek paszowych.

Na podstawie analizy parametrów opisujących charakterystykę wybuchu mieszanek zbożowych można wywnioskować, że zgodnie z ogólnie przyjętymi kryteriami wszystkie badane pyły wykazują tożsame charakterystyki wybuchu: klasę ST1. Warto zauważyć, że wybuch mieszanki 1 charakteryzuje się mniejszą szybkością przyrostu ciśnienia wybuchu w jednostce czasu niż pozostałe pyły. Indeks deflagacyjny K_{ST} na poziomie odpowiednio $114 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$ oznacza, że szybkość wybuchu osiąga wartość 17 m/s , co świadczy o relatywnie średnim procesie spalania mieszaniny pyłowo-powietrznej. Wyniki te korelują z wynikami uzyskanymi w trakcie badań parametrów procesu spalania. Mieszaną charakteryzującą się najwyższą wartością parametru K_{ST} jest mieszanka 2 ($158 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$), natomiast najwyższy skok ciśnienia wybuchu uzyskano dla mieszanki 4 ($7,4 \text{ bara}$).

Dodatkowo wykonano dla mieszanek paszowych badanie granicznego stężenia tlenu GST. Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Charakterystyka wybuchu dla granicznego stężenia tlenu GST

Mieszanka	GST %
Mieszanka 1	16
Mieszanka 2	15
Mieszanka 3	14
Mieszanka 4	14

Analizując wyniki granicznego stężenia tlenu, można stwierdzić, że wartości, przy których nie następuje wybuch, są identyczne dla mieszanek paszowych 3 i 4. W przypadku mieszanki 1 GST wynosiło 16%, a w przypadku mieszanki 2 uzyskano wynik 15%. Zawarty tlen jest czynnikiem, który sprzyja zwiększeniu propagacji płomienia podczas pożaru lub wybuchu, dlatego bardzo ważne staje się obniżenie zawartości tlenu w mieszaninie, ponieważ poniżej granicznego stężenia tlenu mieszanina substancji palnej z powietrzem nie generuje takiej ilości ciepła, jaka mogłaby spowodować pożar.

Wartości minimalnej energii zapłonu uzyskane w efekcie badań prowadzonych dla zbóż z wykorzystaniem aparatu MINOR 2 przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Minimalna energia zapłonu pyłów zbóż i mieszanek paszowych

Zboże/mieszanka	MEZ
	mJ
Pszenica	30-100
Pszenżyto	30-100
Kukurydza	>1000
Owies	30-100
Mieszanka 1	100-300
Mieszanka 2	30-100
Mieszanka 3	100-300
Mieszanka 4	30-100

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że minimalna energia zapłonu dla pszenicy, pszenżyta i owsa wynosi 100 mJ, dalsze obniżanie energii iskry, szczególnie w zakresach stężeń pyłu 250-1000 g/m³, nie spowodowało zapłonu w trakcie dziesięciu następujących po sobie prób

badawczych. Wyjątek stanowi pył kukurydzy, dla którego minimalna energia zapłonu wykracza poza maksymalną wartość testową, tj. 1000 mJ, co oznacza, że w całym zakresie badawczym pył ten nie ulegał zapłonowi. Minimalna energia zapłonu dla mieszanek 2 i 4, w których udział pszenicy, pszenżyta i owsa jest największy, wynosi 100 mJ, a dalsze obniżanie energii iskry, szczególnie w zakresach stężeń pyłu 1000-2000 g/m³, nie spowodowało zapłonu w trakcie dziesięciu następujących po sobie prób badawczych. W przypadku mieszanek z dodatkiem kukurydzy minimalna energia zapłonu mieści się w zakresie energii 100-300 mJ.

Bibliografia

- [1] Cloney C., 2017 Combustible Dust Incident Report – Version 1, 2018.
- [2] Klemens R.H., Mechanizm propagacji i struktura płomienia w mieszaninach pyłowo-powietrznych i hybrydowych, Warszawa, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 1993.
- [3] Veyssiere B., Development and propagation regimes of dust explosions, Powder Technology, 71, 1992, 171.