

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

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

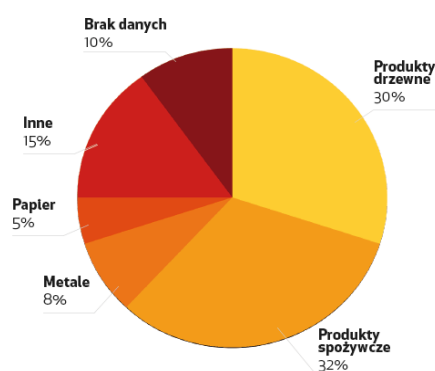
Maciej Celiński

Michał Gloc

NC-4

1. Wprowadzenie

Większość pyłów przemysłowych przy odpowiednim rozdrobnieniu i koncentracji w powietrzu oraz odpowiednim źródle zapłonu może tworzyć atmosfery wybuchowe. Wybuchy pyłów stanowią poważny problem 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 [1]

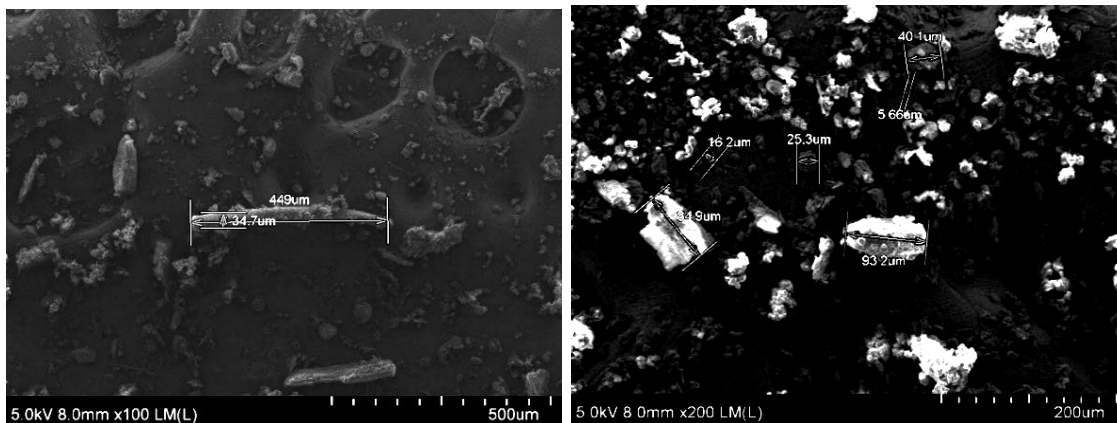
Krajową produkcję pasz treściwych w sezonie 2017/18 szacuje się na 24,5 mln ton, tj. o 9,2 % więcej w porównaniu z sezonem 2016/17. Uzyskiwanie pasz rolniczych wiąże się

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 powodują powstawanie dużych ilości pyłu zbożowego podczas prowadzenia wielu procesów technologicznych takich jak:

- prace żniwne, zbiórka ziarna i przesypywanie go ze zbiorników kombajnów na przyczepy rolnicze,
- rozładunek ziarna z przyczep do spichlerzy lub magazynów zbożowych,
- przesypywanie 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, a następnie mieszanki takie są magazynowane w silosach. Proces mieszania materiałów ziarnistych i sypkich jest relatywnie łatwy, niemniej niesie ze sobą zagrożenie w postaci pylenia. Stosowanie silosów do magazynowania oraz procesy transportu lub mieszania sypkich zbóż 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 lub mniejszym 500 μm , 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 wartości 200 μm , przykładowe obraz zarejestrowany dla ziaren owsa po procesie mielenia został przedstawiony 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 w tym samym miejscu i czasie odpowiednio silny bodziec energetyczny. Wskazanie potencjalnych źródeł zapłonu i ich efektywności jest pierwszym etapem działań. Największym problemem przy ocenianiu ryzyka wybuchu jest umiejętność przyporządkowania 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 oraz w zakresie stężenia pomiędzy dolną i 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 z powietrzem. W przypadku kiedy osiągnięty zostanie odpowiedni stopień dyspersji substancji palnej, jak również w przypadku, gdy stężenie tej substancji zawierać się będzie w zakresie pomiędzy granicami wybuchowości, to wówczas należy przyjąć, że występuje w tych warunkach atmosfera wybuchowa. Jest to mieszanina substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem o charakterystyce odpowiadającej warunkom atmosferycznym, w której po wystąpieniu zapłonu spalanie rozprzestrzenia się na całą niespaloną mieszaninę [2,3].

Mieszaniny powietrze – pył palny stanowią bardzo silną atmosferę wybuchową. Wiele materiałów, które są trudno palne, w przypadku ich 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 do gwałtownej reakcji spalania jest mała [5,6].

Kingsly Ambrose, profesor nadzwyczajny inżynierii rolnej i biologicznej oraz 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 zliczono ich siedem a 10-letnia średnia roczna liczba tego rodzaju wybuchów wynosi 8,4. Jedna ofiara śmiertelna i cztery obrażenia zostały przypisane eksplozjom w 2018 r., w porównaniu z pięcioma ofiarami śmiertelnymi i dwunastoma obrażeniami w 2017 r. 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, pszenice i kukurydze. Ziarna zostały przemielone na drobną frakcję przy użyciu młynka sitowego.. Do badań wykorzystano pyły pszenicy, pszenżyta owsa i kukurydzy uzyskane w procesie mielenia ziaren. 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 poprzez mechaniczne zmieszanie ziaren zbóż w odpowiednich proporcjach. Uzyskano mieszanki paszowe w następującej kompozycji, przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1 Procentowy udział ziaren zbóż w przygotowanych mieszankach paszowych

Nr mieszanki/ziarno	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) zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka wybuchu pyłów zbóż i mieszanek paszowych

Zboże	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	156	ST1	60
Mieszanka 3	7,2	113	ST1	60
Mieszanka 4	7,5	144	ST1	125

W efekcie analizy uzyskanych parametrów opisujących charakterystykę wybuchu mieszanin pyłowo-powietrznych badanych pyłów składników mieszanek zbożowych oraz mieszanek, można wywnioskować, że zgodnie z ogólnie przyjętymi kryteriami wszystkie badane pyły wykazują tożsame charakterystyki wybuchu, klasa 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 bar·m/s oznacza, że szybkość wybuchu osiąga wartość jedynie 8 m/s (~29 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 bar·m/s), natomiast najwyższy skok ciśnienia wybuchu uzyskano dla owsa (7,6 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/m³. 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.

W efekcie analizy parametrów opisujących charakterystykę wybuch mieszanek zbożowych, można wywnioskować, że zgodnie z ogólnie przyjętymi kryteriami wszystkie badane pyły wykazują tożsame charakterystyki wybuchu, klasa ST1. Warto zauważyć, że wybuch mieszanki I charakteryzuje się mniejszą szybkością przyrostu ciśnienia wybuchu w jednostce czasu niż pozostałe pyły. Indeks deflagacyjny KST na poziomie odpowiednio 114bar·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 KST jest mieszanka II (158 bar·m/s), natomiast najwyższy skok ciśnienia wybuchu uzyskano dla mieszanki 4 (7,4 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 I	16
Mieszanka II	15
Mieszanka III	14
Mieszanka IV	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/wybuchu. Z tej właśnie przyczyny bardzo ważne staje się obniżenie zawartości tlenu w mieszaninie z tego względu, że poniżej granicznego stężenia tlenu mieszanina substancji palnej z powietrzem nie generuje takiej ilości ciepła, która 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	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 II i IV, 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.

4. Bibliografia

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

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego 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