

ZAPŁON MIESZANIN PYŁOWO-POWIETRZNYCH - PARAMETRY CHARAKTERYZU-
JĄCE WŁASNOŚCI WYBUCHOWE MIESZANIN PYŁOWO-POWIETRZNYCH

Wojciech Buksowicz

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Technologii Wybuchowych Warszawa

Maria Lizut-Skwarek

Akademia Rolnicza, Lublin

Piotr Wolański

Politechnika Warszawska, Warszawa

WSTĘP

W różnych procesach technologicznych związanych z suszeniem materiałów roślinnych i przeróbką artykułów spożywczych występuje znaczna emisja pyłów w pomieszczeniach i instalacjach produkcyjnych. Powstające pyły mogą w określonych warunkach tworzyć z powietrzem mieszaniny palne i wybuchowe. Wybuchy pyłów należą do najbardziej niebezpiecznych wypadków w zakładach produkcyjnych, gdyż powodują nie tylko duże straty materialne, ale również ofiary w ludziach.

W Polsce w latach 1970-1979 miało miejsce ponad 20 wybuchów w przemyśle spożywczym i włókienniczym [1], w krajach Europy Zachodniej w latach 1960-1972 wystąpiło ponad 4000 wybuchów pyłów [2], a w Stanach Zjednoczonych w ciągu jednego tylko roku 1974 w zakładach przemysłu spożywczego ponad 7900 wybuchów. Straty bezpośrednie wynosiły ponad 100 mln dolarów [3].

Stopień zagrożenia wybuchowego powodowany przez mieszaniny

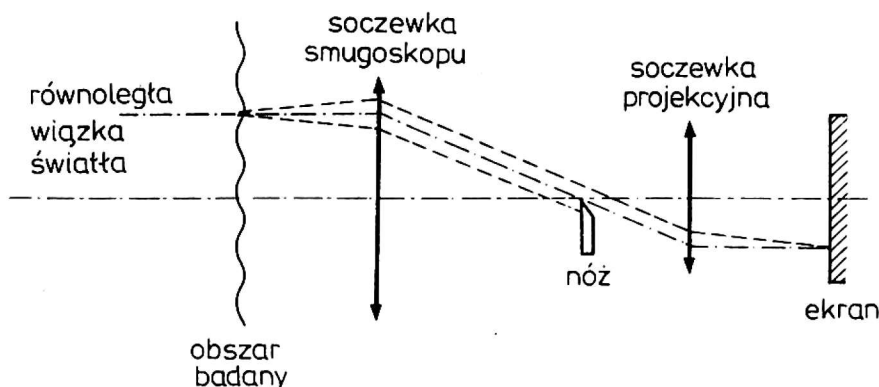
pyłowo-powietrzne można najlepiej ocenić na podstawie znajomości następujących parametrów fizyko-mechanicznych: minimalna energia zapłonu, dolna granica wybuchowości, maksymalne ciśnienie i szybkość narastania ciśnienia wybuchu.

Ze względu na brak w Polsce odpowiednich norm, parametry te oznaczane przy wykorzystaniu różnej aparatury dają odmienne wyniki. Wpływa na to zarówno stosowana aparatura, metodyka badań, jak też zmienność wielu parametrów określających własności fizyko-chemiczne pyłów. Powoduje to niemożliwość stworzenia jednolitego systemu porównania parametrów charakteryzujących mieszaniny pod względem wybuchowym. Z tego powodu celowe było podjęcie badań umożliwiających dokładne poznanie i opisanie zjawisk zachodzących podczas zapłonu i wybuchu mieszanin pyłowo-powietrznych oraz opracowanie właściwych metod pomiaru parametrów charakteryzujących własności wybuchowe mieszanin pyłowo-powietrznych.

MINIMALNA ENERGIA ZAPŁONU

Znajomość wartości minimalnej energii zapłonu, określającej skłonność do zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej, jest niezbędna nie tylko z punktu widzenia zagrożenia wybuchowego (zapłonu pyłu roślinnego), lecz również ze względów na prawidłowy dobór źródła zapłonu przy określaniu dolnej granicy wybuchowości.

W celu ustalenia rodzaju i parametrów źródła zapłonu używanego w badaniach właściwości wybuchowych mieszanin pyłowo-powietrznych, przeprowadzono wizualizację metodą smugową procesu zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej. Metoda ta wykorzystuje efekt odchylenia promieni świetlnych, przechodzących przez niejednorodny ośrodek. Polega ona na obserwacji zmian współczynnika załamania światła w ośrodku pod wpływem zmian gęstości w odpowiednio skierowanym strumieniu świetlnym. Lokalne zmiany współczynnika załamania światła można zaobserwować wewnątrz badanego obszaru, zarówno wskutek wystąpienia w tym obszarze różnych substancji, jak i wskutek zmian gęstości tej samej substancji, spowodowanych lokalnymi różnicami temperatur i ciśnienia [4]. Na rysunku 1 pokazany jest schemat przeprowadzonych badań. Zasada działania jest



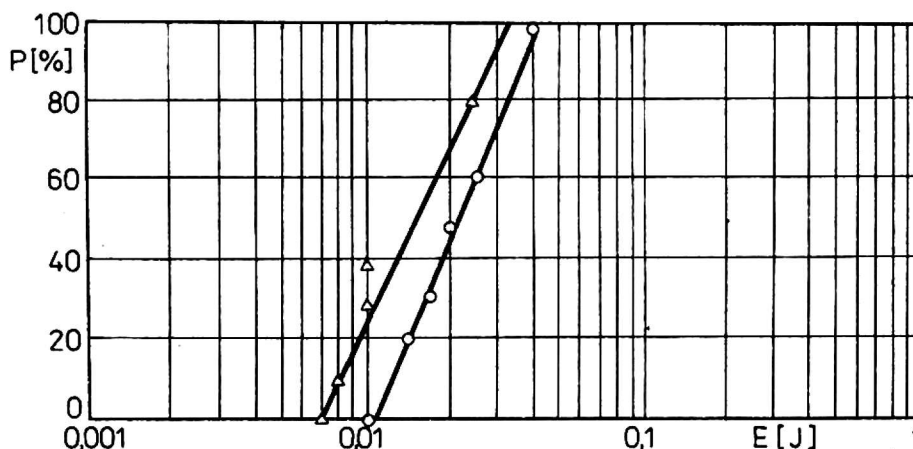
Rys. 1.

następująca. Równoległa wiązka światła po przejściu przez badany obszar zostaje skupiona za pomocą soczewki lub zwierciadła, a następnie rzucona na ekran. Układ optyczny jest tak dobrany, aby na ekranie powstawał ostry obraz obserwowanej przestrzeni pomiarowej. W ognisku skupiającym soczewki (zwierciadła) umieszczony jest nóż optyczny. Umieszczenie noża optycznego w tym miejscu umożliwia przez zmianę jego położenia w kierunku prostopadłym do osi układu równomierne przyciemnienie (lub rozjaśnienie) obrazu powstającego na ekranie. W przypadku skupienia niezakłóconej równoległej wiązki światła w płaszczyźnie noża otrzymujemy obraz źródła światła. Zakładając, że nóż optyczny zostanie umieszczony w ten sposób, żeby odcinał połowę obrazu źródła światła, spowoduje to zmniejszenie o połowę intensywności oświetlenia ekranu. Jeśli więc w badanym obszarze ośrodek jest jednorodny, to ekran jest w dalszym ciągu równomiernie oświetlony. Natomiast w przypadku pojawienia gradientu współczynnika załamania w badanym obszarze w kierunku prostopadłym do biegu niezakłóconego promienia, spowoduje to odchylenie promieni, zachodzących przez ten obszar. Jeżeli promienie zostaną odchylone ku górze noża, to do miejsca na ekranie odpowiadającemu obszarowi zaburzonemu w danej przestrzeni dotrze więcej światła, na ekranie pojawi się rozjaśnienie obszaru. Jeżeli natomiast zaburzenie spowoduje odchylenie promieni w kierunku ku dołowi noża, to odpowiedni punkt na ekranie zostanie przyciemniony. Wynika stąd, że układ jest czuły na gradient współczynnika załamania w kierunku prostopadłym do noża.

Do rejestracji obserwowanych procesów stosowano kamerę filmową typu Pentazet, której zakres szybkości rejestracji wynosi 300-3000 kl/s.

Na podstawie wizualizacji procesu zapłonu przeprowadzono analizę zjawisk zachodzących podczas zapłonu i ustalono rodzaj i parametry źródła stosowanego do inicjacji zapłonu przy pomiarach minimalnej energii zapłonu, dolnej granicy wybuchowości. Na podstawie uzyskanych wyników ustalono, że minimalną energię zapłonu powinno wyznaczać się w warunkach czasu trwania wyładowania 0,5-2 ms, w mieszaninach pyłowych o koncentracji nie mniejszej niż dolna granica wybuchowości.

Wartość minimalnej energii zapłonu wyznacza się doświadczalnie przez realizację zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej, przy zmiennej wartości energii iskry. Zmieniając energię iskry, określa się prawdopodobieństwo wystąpienia zapłonu. Za wartość minimalnej energii zapłonu przyjmowano tę energię, przy której prawdopodobieństwo zapłonu dążyło do zera. Wartość tę odczytywano z wykresu przedstawiającego zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zapłonu od energii iskry. Typową zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zapłonu w funkcji energii iskry przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2.

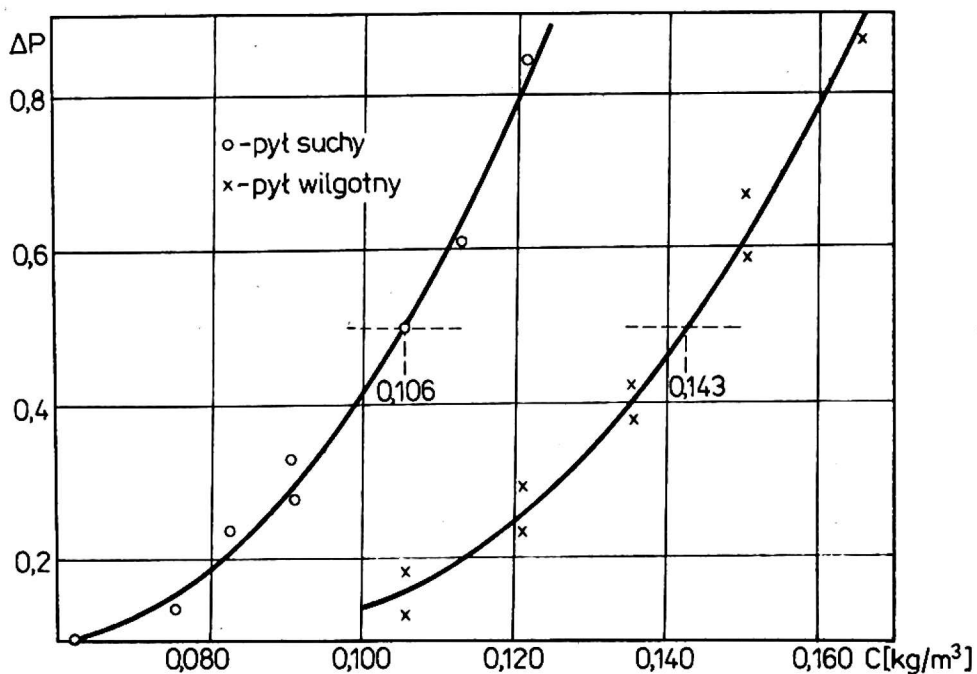
DOLNA GRANICA WYBUCHOWOŚCI

Dolną granicę wybuchowości nazywamy taką minimalną koncentracją paliwa w mieszaninie palnej, przy której (w określonych warunkach) obserwuje się nieograniczone rozprzestrzenianie płomienia co najmniej w jednym kierunku (zazwyczaj w górę). Ponieważ przy określaniu dolnej granicy wybuchowości istotną rolę odgrywa jakość

rozpylania pyłu, dlatego też przeprowadzono wizualizację procesu, która umożliwiła dobranie optymalnych warunków do inicjacji zapłonu. Z przeprowadzonych badań wynika, że czas, po którym inicjuje się zapłon, zależy od jakości (ziarnistości) i rodzaju pyłu, kształtu naczynia, w którym znajduje się badany pył, ciśnienia i ilości powietrza wykorzystywanego do rozdmuchiwania pyłu. Parametr ten powinien być dobierany indywidualnie dla każdego rodzaju pyłu.

Przy badaniach granicznych koncentracji wybuchowych ważne jest również dobranie energii źródła zapłonu, stosowanego do inicjacji zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej. Energia używana do zapłonu powinna być wystarczająco duża, aby zainicjować płomień. Z drugiej strony nie powinna znacznie oddziaływać na rozprzestrzenianie się płomienia w komorze. Dodatkowo, ze względu na nierównomierności koncentracji pyłu w wytworzonej mieszaninie, źródło zapłonu powinno być aktywne przez krótki okres. Wizualizacja procesu zapłonu pozwoliła na dobór właściwego źródła stosowanego do inicjacji zapłonu przy wyznaczaniu dolnej granicy wybuchowości.

W celu określenia sposobu wyznaczania dolnej granicy wybuchowości przeprowadzono pomiary ciśnienia i rozprzestrzeniania się płomienia przy różnych koncentracjach pyłu. Typowe zmiany ciśnienia w funkcji koncentracji pyłu przedstawiają rysunki 3 i 4. Z za-

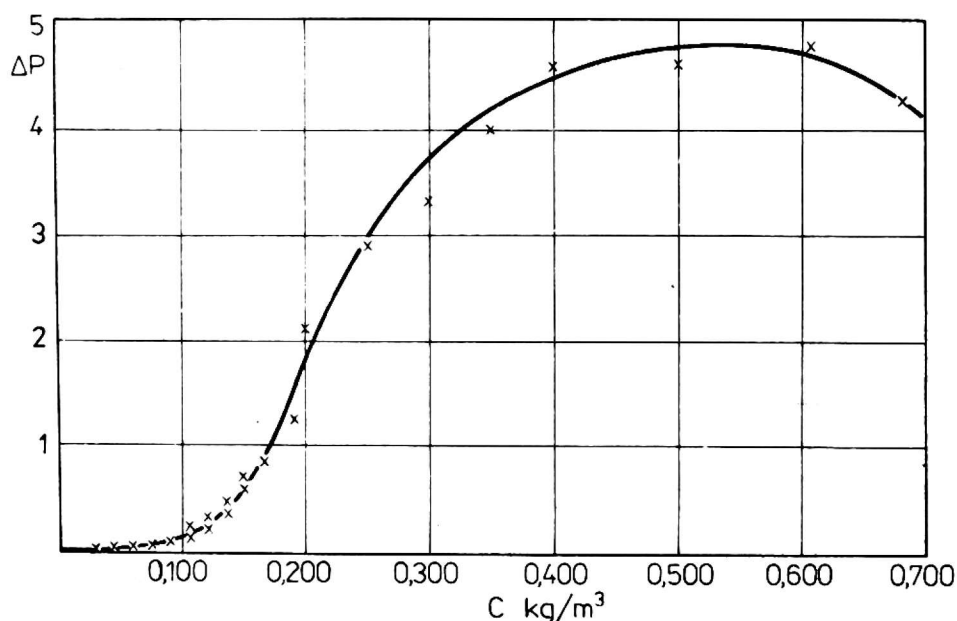


Rys. 3.

mieszczonych wykresów widać, że w miarę wzrostu koncentracji ci-

śnienie zaczyna wzrastać, przy czym intensywny wzrost zaczyna się obserwować po przekroczeniu dolnej granicy wybuchowości.

Przeprowadzona wizualizacja i pomiary ciśnienia wykazały, że najniższa koncentracja odpowiadająca rozprzestrzenianiu się płomienia w komorze (czyli dolna granica wybuchowości) dla danego pyłu prowadzi do przyrostu ciśnienia w komorze około 0,05 MPa. Na



Rys. 4.

podstawie przeprowadzonych badań można określić kryterium oznaczania dolnej granicy wybuchowości przez pomiar ciśnienia podczas zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej, tzn. dolna granica wybuchowości jest osiągnięta wtedy, gdy odpowiednia koncentracja prowadzi do przyrostu ciśnienia w komorze (w wyniku spalania) około 0,05 MPa.

NIEPRAWIDŁOŚCI W WYZNACZANIU DOLNEJ GRANICY WYBUCHOWOŚCI

Analizując wyniki pomiarów dolnej granicy wybuchowości otrzymane przez różnych autorów, można wyraźnie zauważyć duże rozbieżności między wartościami tego parametru [2, 5]. Przyczyną tych znacznych rozbieżności w określaniu dolnej granicy wybuchowości są niewłaściwie dobrane warunki prowadzenia oznaczeń. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na uzyskane wyniki są: nierównomierność

rozpylania pyłów oraz niewłaściwe dobieranie czasu i energii zapłonu.

Jaskrawym przykładem takich nieprawidłowości jest oznaczanie dolnej granicy wybuchowości przy wykorzystaniu zapłonu od nagrzonej spirali. Ze względów technicznych czas nagrzewania spirali wynosi zazwyczaj kilka sekund, w związku z tym nadmuch pyłu odbywa się na gorący inicjał, a spalanie zachodzi przy wyższej koncentracji, gdyż pył nie został jeszcze rozprowadzony w całej objętości komory. Takie realizowanie próby może spowodować znaczne zwiększenie błędów wyznaczania dolnej granicy wybuchowości. Podobne zjawiska można zaobserwować podczas realizowania nadmuchu na łuk elektryczny.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że rzeczywista wartość dolnej granicy wybuchowości może być określana tylko wtedy, gdy źródło zapłonu jest uruchamiane w czasie tuż po uzyskaniu względnie jednorodnej mieszaniny. Inne pomiary dadzą wartości niższe lub wyższe od wartości rzeczywistej.

WNIOSKI

1. Wizualizacja procesu rozpylania pyłu oraz procesu zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej pozwoliła na ustalenie właściwych warunków parametrów charakteryzujących własności wybuchowe mieszanin pyłowo-powietrznych.

2. Bezpośrednia wizualizacja procesu rozprzestrzeniania się płomienia w mieszaninie pyłowo-powietrznej umożliwiła określenie kryterium wyznaczania dolnej granicy wybuchowości.

3. Wykorzystując kamerę filmową do rejestracji badanych procesów wskazano również na dotychczasowe nieprawidłowości przy wyznaczaniu dolnej granicy wybuchowości.

LITERATURA

1. Ostrowski T.: Pierwsza Krajowa Szkoła Wybuchowości Pyłów Przemysłowych. Wykłady Szkoły. Karpacz 1978 r.
2. Wolański P.: Explosion hazards of agricultural dust. International Symposium on Grain Dust, October 1979. Manhattan, Kansas.

3. Kibiseva M. B.: Charakterystyka mieszanek i innych składników stosowanych w przemyśle paszowym. Biuletyn Techniczny KGSP 1979 Rok. XXII nr 1.
4. Gorlin C. M.: Eksperymentalnaja aeromechanika. Moskwa 1970.
5. Hertzberg M., Cashodollar K. L.: The Flammability of coal dust air mixtures. Bureau of Mines Raport of investigations, 1979.
6. Skwarek-Lizut M.: Badania właściwości wybuchowych pyłów roślinnych. Praca doktorska. Akademia Rolnicza, Lublin.

Войцех Буксович

Мария Лизут-Скварек, Петр Волянськи

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ПЫЛЕВО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ - ПАРАМЕТРЫ
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ИХ ВЗРЫВЧАТЫЕ СПОСОБНОСТИ

Р е з ю м е

Анализ результатов измерений нижнего предела взрывчатости показал заметные различия между величинами этого параметра.

Причиной различий в установлении нижнего предела взрывчатости являются неправильно выбранные условия определений. Важнейшими факторами влияющими на результаты определений являются: неравномерность распространения пылей и неправильный выбор времени и энергии воспламенения.

Из проведенного анализа следует, что действительную величину нижнего предела воспламенения можно определить только когда точник воспламенения мобилизуется непосредственно после образования сравнительно однородной смеси. Все другие измерения дают более низкие или более высокие величины в сравнении с действительной величиной.

Визуализация процесса распыления и воспламенения пылевоздушной смеси позволила установить соответствующие параметры характеризующие взрывчатые способности этих смесей. Непосредственная визуализация процесса распространения пламени в пылевоздушной смеси позволила определить критерий установления нижнего предела взрывчатости.

Использование фильмовой техники позволило выявить возможные досих пор неправильности в установлении нижнего предела взрывчатости.

Wojciech Buksowicz

Maria Lizut-Skwarek, Piotr Wolański

IGNITION OF DUST-AIR MIXTURES - PARAMETERS CHARACTERIZING THEIR
EXPLOSIVE PROPERTIES

S u m m a r y

The analysis of measurements of the lower limit of explosiveness proved distinct differences between values of this parameter.

The cause of differences in determination of the lower limit of explosiveness constitute inappropriately chosen determination conditions. The most important factors affecting the determination results are: inequality of spraying dusts and an inappropriate choice of the time and energy of ignition.

The analysis has proved that actual value of the lower limit of explosiveness can be established only when the ignition source is mobilized directly after forming relatively uniform mixture. All other measurements give lower or higher values as compared with actual value.

Visualization of the dust spraying process and of ignition of the dust-air mixture enabled to determine appropriate parameters characterizing explosive properties of these mixtures. A direct visualization of the flame spreading process in the dust-air mixture enabled to determine the criterion of the lower limit of explosiveness.

Hitherto shortcomings in determination of the lower limit of explosiveness were determined by means of the film camera.