



## Influence of dust particle size derived from biomass on chosen fire and explosion risk indicators

Tadeusz Mączka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska, Wyb. Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
Instytut Elektrotechniki Oddział Technologii i Materialoznawstwa Elektrotechnicznego we Wrocławiu, ul. M. Skłodowskiej-Curie 55/61, 50369 Wrocław, e-mail: t.maczka@iel.wroc.pl

### Abstract

This paper attempts to evaluate influence of dust particle size derived from biomass and organic residues originating from plants on chosen fire and explosion risk indicators. Way of sample preparation for specified fraction size has been described in details. Method of determination and research equipment for dust resistivity measurement in layer and minimum ignition energy of dust-air mixture are briefly described. Research results for different types of biomass, including sugar beet bagasse (*Beta vulgaris* L. subsp. *Vulgaris*), willow (*Salix viminalis*) and palm oil shells (*Elaeis guineensis*) are included. Conclusions, based on the results of performed experiments, are presented.

**Keywords:** solid biofuels, flammable dust, fire and explosion risk

### Streszczenie

Wpływ składu frakcyjnego pyłów biopaliw stałych na wybrane wskaźniki pożarowo-wybuchowe

W pracy przedstawiono próbę oceny wpływu składu frakcyjnego pyłów uzyskanych z biomasy i odpadów pochodzenia roślinnego na wybrane wskaźniki pożarowo-wybuchowe. Opisano sposób preparowania próbek pyłów o ściśle określonym składzie frakcyjnym. Krótko przedstawiono metody i stanowiska badawcze do wyznaczania rezystywności pyłu w warstwach oraz oznaczenia minimalnej energii zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych i minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu. Zaprezentowano wyniki badań oznaczania wybranych wskaźników pożarowo-wybuchowych zależności od składu frakcyjnego próbki dla pyłów powstałych z rozdrobnienia wyłóków buraka cukrowego (*Beta vulgaris* L. subsp. *Vulgaris*), zrębków wierzby energetycznej (konopianki – *Salix viminalis*) i łupin olejowca gwinejskiego (*Elaeis guineensis*). Podano próbę interpretacji otrzymanych wyników oznaczeń.

**Słowa kluczowe:** biopaliwa stałe, pyły palne, zagrożenie pożarowo-wybuchowe

## 1. Wstęp

Z punktu bezpieczeństwa pożarowo-wybuchowego szczególnie groźne są wszelkiego rodzaju technologie, w których w cyklu produkcyjnym, stale lub często, występują gazowe, pyłowe lub hybrydowe atmosfery wybuchowe. Dlatego w procesach związanych z przetwarzaniem biomasy na paliwa i ich późniejszym energetycznym wykorzystaniem istnieje potencjalne ryzyko powstawania mieszaniny pyłowo-powietrznej, która stwarza bezpośrednie zagrożenie pożarowo-wybuchowe.

Problematyka badania wybuchowości pyłów ma bogatą tradycję, zwłaszcza wiele uwagi poświęcono wybuchowości pyłów w latach 80 ubiegłego stulecia [1]. Także polskie ośrodki badawcze wniosły i nadal wnoszą istotny wkład w rozwój wiedzy w tej dziedzinie [2-7].

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (OZE) jest uważane za ważny element polityki ekologicznej zmierzającej do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń. Według prognozowanego do 2030 roku zapotrzebowanie na energię finalną wytwarzaną ze źródeł odnawialnych, w okresie tym prognozuje się wzrost wszystkich nośników energii ze źródeł odnawialnych [8]. Należy podkreślić, że spełnienie wymogu zwiększenia udziału

OZE do 20% w 2030 r. w zużyciu energii finalnej brutto w skali kraju raczej będzie niemożliwe do zrealizowania bez wykorzystania szeroko rozumianej biomasy.

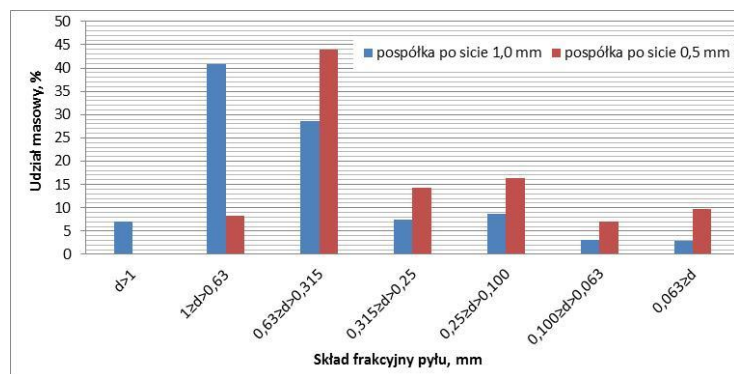
Wobec powyższego, dużego zainteresowania energetycznym wykorzystaniem biomasy, jak i doniesieniami o kolejnych wypadkach spowodowanymi przez pyłowe atmosfery wybuchowe [9], za celowe wydaje dalsze prowadzenie prac badawczych z zakresu bezpieczeństwa pożarowo-wybuchowego i szerokie upowszechnianie ich wyników.

## 2. Cel i zakres pracy

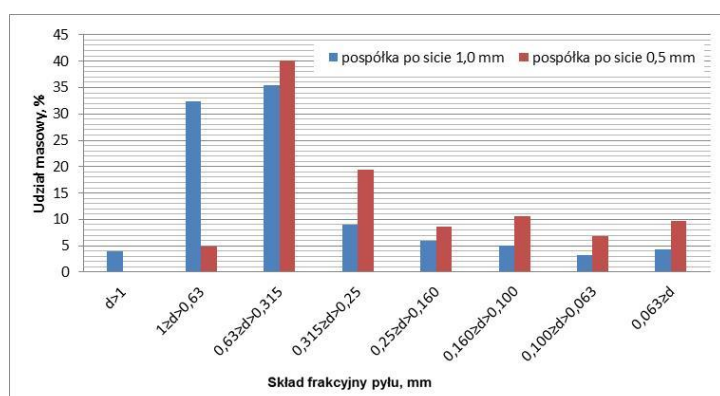
Celem pracy było eksperymentalne określenie wpływu składu frakcyjnego pyłów powstałych ze zmielenia biomasy roślinnej na wybrane wskaźniki pożarowo-wybuchowe. Zakres pracy obejmuje oznaczenie minimalnej energii zapłonu (*MEZ*) mieszanin pyłowo-powietrznych, minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu  $T_{5mm}$  oraz rezystywności pyłu w warstwach  $\rho$  w zależności od spreparowanego składu frakcyjnego pyłu. Do badań wybrano pyły powstałe z biopaliw roślinnych takich jak: pelet z wyłoków buraka cukrowego, zrębki z wierzby konopianki i łupiny olejowca gwinejskiego. Oznaczenia wybranych wskaźników pożarowo-wybuchowych dokonano w oparciu znormalizowane metody badawcze opisane w normach [10-12].

## 3. Przygotowanie materiału (pyłów) do badań

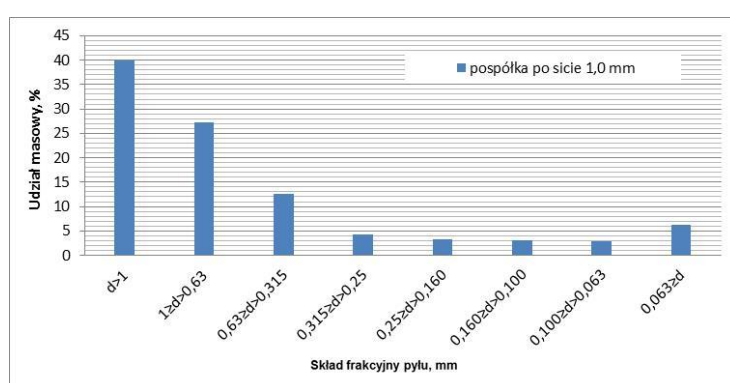
Z przeznaczonych do badań biopaliw pobrano reprezentatywne próbki. Następnie pobrane materiały suszono w suszarce w temperaturze 105°C pod ciśnieniem atmosferycznym do osiągnięcia stałej masy próbek (stan suchy analityczny). Następnie materiały zmielono w młynie laboratoryjnym typ SM 100 firmy Retsch wykorzystując sита technologiczne o wielkości oczek 1,0 mm i 0,5 mm. Dla łupiny olejowca gwinejskiego, ze względu na trudności przemiałowe (zatykanie sít), dokonano przemiału materiału używając tylko sít o oczku 1,0 mm. Z otrzymanych materiałów (pospółek), do oceny jakości przemiału materiałów i do dalszych prób, wykonano analizę sitową preparując odpowiednie przedziały frakcyjne pyłów (wykorzystując sít laboratoryjne o rozmiarach oczek: 1,000 mm, 0,630 mm, 0,315 mm, 0,160 mm, 0,100 mm, 0,063 mm). Wyniki analizy sitowej przedstawiono na rysunkach 3.1, 3.2 i 3.3.



Rysunek 3.1. Skład frakcyjny materiału po zmieleniu peletów z wyłoków buraka cukrowego



Rysunek 3.2. Skład frakcyjny materiału po zmieleniu zrębek wierzby konopianki



Rysunek 3.3. Skład frakcyjny materiału po zmieleniu łupiny olejowca gwinejskiego

Podane przedziały składu frakcyjnego informują nas o tym, że dany pył należący do spreparowanej frakcji zawiera zbiór ziaren przechodzący przez sito o oczku większym i pozostający na sicie o oczku mniejszym, (wymiar oczka sita większego  $\geq d >$  wymiar oczka sita mniejszego). Dodatkowo podczas oznaczenia rezystywności pyłu w warstwach oraz minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu wyznaczono orientacyjne gęstości usypowe dla poszczególnych frakcji badanych materiałów, a ich wyniki zestawiono w tabeli 3.1. Dokładny sposób przygotowania próbek pyłów do prób podano w pracy [13].

Tabela 3.1. Gęstość usypowa badanych materiałów w zależności od składu frakcyjnego pyłu

Skład frakcyjny pyłu, mm	Gęstość usypowa materiału, stan suchy, kg/m <sup>3</sup>		
	pelet z wycieków buraka cukrowego	zrębki wierzby konopianki	łupiny olejowca gwinejskiego
$d > 1,000$	644	234	728
$1,000 \geq d > 0,630$	629	224	640
$0,630 \geq d > 0,315$	560	187	543
$0,315 \geq d > 0,250$	505	156	474
$0,250 \geq d > 0,160$	474	157	462
$0,160 \geq d > 0,100$	435	148	444
$0,100 \geq d > 0,063$	409	151	315
$0,063 \geq d$	376	183	356
Pospółka po sicie 0,5	676	245	nie oznaczano
Pospółka po sicie 1,0	704	257	800

## 4. Wyniki oznaczeń

### 4.1. Wyznaczania rezystywności pyłu w warstwach

Badania wyznaczania rezystywności pyłów w warstwach dla poszczególnych frakcji materiałów biomasowych wykonano zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-EN 61241-2-2: 2002 [12], a wybrane wyniki zestawiono w tabeli 4.1.1. Ze względu na bardzo wysokie wartości rezystywności badanych pyłów podano tylko wyniki wyznaczone przy napięciu 2000 V.

Wyznaczone wartości rezystywności pyłów w warstwach dla poszczególnych frakcji badanych materiałów wskazują, że badane pyły w stanie wysuszonym są pyłami nieprzewodzącymi. Zatem badane pyły mogą gromadzić ładunki elektrostatyczne (np. elektryzować się w transporcie pneumatycznym lub podczas przesypania), które mogą stwarzać zagrożenie pożarowo-wybuchowe jako potencjalne źródło zapłonu.

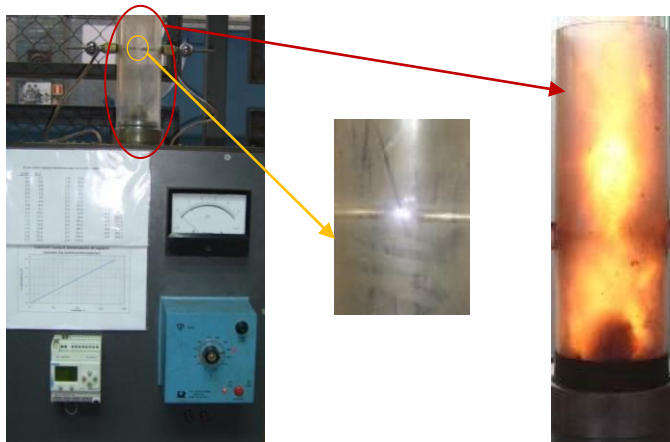
Tabela 4.1.1. Rezystywność  $\rho$  pyłów w warstwach w zależności od składu frakcyjnego pyłu

Skład frakcyjny pyłu, mm	Rezystywność $\rho$ pyłów w warstwach*, $\Omega \cdot m$		
	pelet z wycłoków buraka cukrowego	zrębki wierzby konopianki	łupiny olejowca gwinejskiego
$d > 1,000$	$> 1,10 \cdot 10^{11}$	$> 1,10 \cdot 10^{11}$	$> 4,00 \cdot 10^9$
$1,000 \geq d > 0,630$			
$0,630 \geq d > 0,315$			
$0,315 \geq d > 0,250$			
$0,250 \geq d > 0,160$			
$0,160 \geq d > 0,100$			
$0,100 \geq d > 0,063$			
$0,063 \geq d$			
Pospółka po sicie 0,5			
Pospółka po sicie 1,0			$> 4,00 \cdot 10^9$

\* Podano rezystywność wyznaczaną dla napięcia 2000 V, materiały w stanie suchym

### 4.2. Oznaczanie minimalnej energii zapłonu

Za minimalną energię zapłonu (*MEZ*) wybuchowej mieszaniny pyłowo-powietrznej uznaje się najmniejszą energię elektryczną zgromadzoną w kondensatorze, która przy jego wyładowaniu jest wystarczająca do spowodowania zapłonu najbardziej zapalnej mieszaniny danego pyłu w określonych warunkach badania. Zgodnie z normą PN-EN 13821:2004 [10] zalecany urządzeniem pomiarowym do wyznaczania minimalnej energii zapłonu (*MEZ*) jest aparat Hartmana. Widok stanowiska (zgodnego z normą) na którym przeprowadzono oznaczania *MEZ* prezentuje rysunek 4.2.1.



Rysunek 4.2.1. Stanowisko pomiarowe do oznaczania minimalnej energii zapłonu

Zgodnie ze znormalizowaną procedurą przyjmuje się, że minimalna energia zapłonu znajduje się pomiędzy najwyższą energią  $E_1$ , przy której nie dochodzi do zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej w 10 kolejnych próbach i najniższą energią  $E_2$ , przy której dochodzi do zapłonu w jednej z 10 kolejnych prób. Zatem  $MEZ$  znajduje się pomiędzy dwiema wartościami energii:  $E_1 < MEZ < E_2$  [10]. Wyniki oznaczania  $MEZ$  poszczególnych frakcji pyłów dla badanych materiałów podano zbiorczo w tabeli 4.2.1.

Tabela 4.2.1. Wyniki oznaczenia  $MEZ$  w zależności od składu frakcyjnego pyłu, materiały w stanie suchym

Skład frakcyjny pyłu, mm	Minimalna energia zapłonu ( $MEZ$ ), J		
	pelet z wyłoków buraka cukrowego	zrębki wierzby konopianki	łupiny olejowca gwinejskiego
$d > 1,000$	MEZ > 210	MEZ > 210	MEZ > 210
$1,000 \geq d > 0,630$			
$0,630 \geq d > 0,315$			
$0,315 \geq d > 0,250$			
$0,250 \geq d > 0,160$			
$0,160 \geq d > 0,100$		$0,6 < MEZ < 0,9$	
$0,100 \geq d > 0,063$	$0,6 < MEZ < 0,9$	$0,3 < MEZ < 0,5$	$0,6 < MEZ < 1$
$0,063 \geq d$	$0,1 < MEZ < 0,2$	$0,1 < MEZ < 0,2$	$0,08 < MEZ < 0,1$
Pospółka po sicie 0,500	$0,2 < MEZ < 0,4$	$0,3 < MEZ < 0,4$	nie oznaczano
Pospółka po sicie 1,000	$0,9 < MEZ < 1,2$	$0,6 < MEZ < 0,9$	$0,8 < MEZ < 1,0$

Na podstawie otrzymanych wyników oznaczania  $MEZ$  stwierdza się, że jest ona bardzo silnie uzależniona od rozmiaru cząstek pyłu. Stwierdzić można, że dla badanych materiałów zagrożenie od elektryczności statycznej jest realne gdy w pyle są cząsteczki o wymiarze znaczącym poniżej 0,160 mm. Nie mniej jednak stwierdza się znaczące obniżenie wartości  $MEZ$  pod wpływem zawartości najdrobniejszych frakcji w objętości badanej próbki. Nawet niewielka (kilkuprocentowa) zawartość frakcji poniżej 0,1mm znacznie wpływa na obniżenie  $MEZ$ , czego przykładem jest pospółka po sicie 1 mm i 0,5 mm.

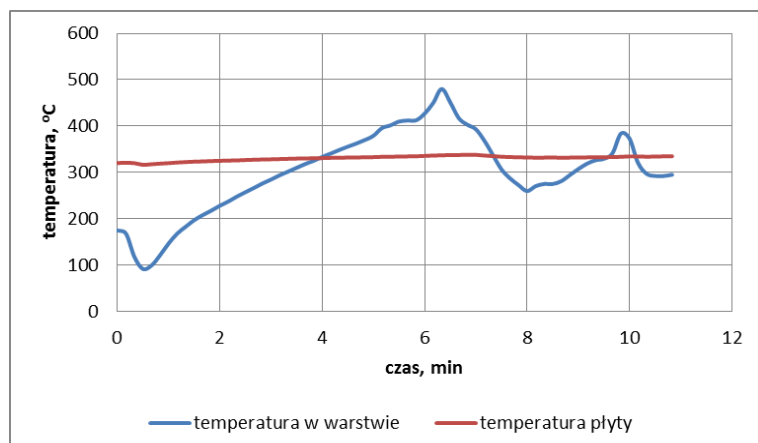
### 4.3. Oznaczenie minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu

Za minimalną temperaturę zapłonu warstwy pyłu  $T_{5mm}$  przyjmuje się najniższą temperaturę gorącej powierzchni, przy której dochodzi do zapłonu znajdującej się na tej powierzchni warstwy pyłu o określonej grubości. Badania wykonano dla warstwy pyłu o grubości 5 mm. Procedura oznaczania temperatury zapłonu warstwy pyłu  $T_{5mm}$  była zgodna z metodą A opisaną w normie PN-EN50281-2-1:2002 [11]. Metoda ta jest właściwa w szczególności dla urządzeń przemysłowych o gorących powierzchniach, na których pył palny tworzy różnej grubości warstwy mające kontakt z powietrzem i stwarza zagrożenie pożarowe. Widok stanowiska na którym przeprowadzano oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu przedstawiono na rysunku 4.3.1.

Podczas badań wyniki rejestrowano w pamięci komputera przez moduł RS/USB. Dzięki temu można było obserwować na monitorze w formie graficznej temperatury warstwy pyłu i płyty grzewczej (rysunek 4.3.2), jak i inne parametry pomocnicze wymagane do właściwego wykonania oznaczenia.



Rysunek 4.3.1. Stanowisko do oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu



Rysunek 4.3.2. Przebiegu temperatury płyty i warstwy pyłu podczas oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu (zapłon pyłu wystąpił)

Dokładny opis stanowiska i procedura wykonania oznaczeń minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu znajduje się w pracach [6, 11, 13]

Zestawienie wyników oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu dla badanych materiałów podano w tabeli 4.3.1.

Tabela 4.3.1. Wyniki oznaczenia minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu w zależności od składu frakcyjnego

Skład frakcyjny pyłu, mm	Minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu $T^*_{5mm}, °C$		
	pelet z wyłoków buraka cukrowego	zrębki wierzby konopianki	łupiny olejowca gwinejskiego
$d > 1,000$	390	380	320
$1,000 \geq d > 0,630$	360	350	300
$0,630 \geq d > 0,315$	350	340	290
$0,315 \geq d > 0,250$	330	320	270
$0,250 \geq d > 0,160$	310	300	260
$0,160 \geq d > 0,100$	300	290	250
$0,100 \geq d > 0,063$	290	280	240
$0,063 \geq d$	280	270	230
Pospółka po sicie 0,500	310	300	nie oznaczano
Pospółka po sicie 1,000	320	310	260

\* Najniższa temperatura zapłonu zaokrąglona w dół, do najbliższej całkowitej wielokrotności 10°C; materiały w stanie suchym

Podczas wszystkich prób zaobserwowano żarzenie lub palenie się pyłu tuż przed gwałtownym wzrostem rejestrowanej temperatury w warstwie pyłu. Powstające pierwotne ogniska rozszerzały się (rysunek 4.3.1), a po osiągnięciu punktu pomiaru temperatury w warstwie (spoinę termopary) rejestrowano znaczący wzrost temperatury co ilustruje rysunek 4.3.2.

Podczas oznaczania minimalnej temperatury warstwy pyłu dla pyłów z wyłoków buraka cukrowego zaobserwowano, że pod wpływem wysokiej temperatury próbki pyłu pęczniały zwiększając znacznie swoją objętość. Warstwy pyłu ze zrębków wierzby konopianki i łupin olejowca gwinejskiego nie wykazywały takich właściwości.

Dla pyłów z łupin olejowca gwinejskiego obserwowano w trakcie prób dość intensywne wydzielanie dymu, co można tłumaczyć znaczącą pozostałością frakcji olejowych w materiale.

Przy oznaczaniu minimalnej temperatury warstwy pyłu  $T_{5\text{mm}}$  skład frakcyjny ma znaczny wpływ na oznaczone wartości temperatury. W zależności od spreparowanego składu frakcyjnego pyłów temperatury zapłonu  $T_{5\text{mm}}$  mogą różnić się nawet o ponad  $100^{\circ}\text{C}$  (tabela 4.3.1). Daje się zauważyć tendencję, że im drobniejsza jest frakcja tym oznaczona temperatura  $T_{5\text{mm}}$  jest niższa. Być może ma na to wpływ rozbudowana powierzchnia reakcyjna cząsteczek (im mniejsza cząsteczka tym powierzchnia większa) i takie upakowanie cząsteczek, które uniemożliwia wentylację warstwy, a przez to ucieczkę części lotnych i jej schładzanie. Przemawia za tym fakt, że dla pospółek po sicie 0,5 mm (mają większą zawartość frakcji drobnych w stosunku do pospółek po sicie 1,0 mm - rysunek 3.1 i 3.2) oznaczone temperatury  $T_{5\text{mm}}$  są niższe o  $10^{\circ}\text{C}$  w stosunku do tych po sicie 1,0 mm (tabela 4.3.1).

## 5. Podsumowanie

Reasumując, na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że skład frakcyjny i udział poszczególnych frakcji w rozdrobnionym materiale ma decydujący wpływ na oznaczane wskaźniki pożarowo-wybuchowe badanych pyłów. Dlatego zaleca się badania wskaźników pożarowo-wybuchowych pyłów z biopaliw, w szczególności gdy brakuje informacji archiwalnych na temat ich użytkowania lub gdy są to biomasy dotychczas nie stosowane w energetyce zawodowej (jak to miało miejsce dla wytlóków z buraka cukrowego i tak egzotycznego paliwa jakim są łupiny olejowca gwinejskiego). Podczas wykonywania takich badań należy szczególną uwagę zwrócić na precyzyjne określenie składu frakcyjnego pyłu dla którego wykonano oznaczenia wskaźników pożarowo-wybuchowych.

Wyniki badań prezentowane w niniejszej pracy mogą być pomocne podczas oceny zagrożenia pożarowo-wybuchowego w pomieszczeniach i instalacjach, w których te pyły występują. Również mogą być pomocne podczas doboru urządzeń i systemów ochrony przed wybuchem i pożarem.

## Literatura

1. Bartknecht W., *Dust Explosions*, Springer-Verlag, Berlin, 1989.
2. Ryng M., *Bezpieczeństwo techniczne w przemyśle chemicznym*, WNT, Warszawa 1985.
3. Wolański P., (Ed.) *Grain Dust Explosion and Control*, Warsaw University of Technology, Warsaw, 1993.
4. Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., *Ocena zagrożenia wybuchem*, Wydawnictwo Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Warszawa 2007.
5. Zuwała J., *Zagrożenia pożarowe towarzyszące spalaniu i współspalaniu biomasy w energetyce*, Wirtualny Nowy Przemysł .2010, (online [http://www.wnp.pl/drukuj/6596\\_2.html](http://www.wnp.pl/drukuj/6596_2.html))
6. Kordylewski W., Mączka T., Ostropolski W., *Oznaczanie wskaźników pożarowo-wybuchowych dla pyłów z biomasy*, Magazyn Ex. 2011, nr 3, s. 22-32.
7. Kordylewski W., Mączka T., *Właściwości pożarowo-wybuchowe olejowca gwinejskiego*, Archiwum Spalania. 2012, vol. 12, nr 1/2, s. 47-58.
8. Ministerstwo Gospodarki. *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, 2009 (online <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost.pdf>)
9. Materiały konferencyjne i szkoleniowe nt. *Bezpieczeństwo i technologie w energetyce, Wdrożenie dokumentu zabezpieczenia przed wybuchem*, IV Konferencja ATEX-ENERGO – Bezpieczeństwo i technologie w Energetyce, 6-7 marca 2013 Sopot.
10. PN-EN13821:2004 Przestrzenie zagrożone wybuchem. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem; Oznaczenie minimalnej energii zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych.
11. PN-EN50281-2-1:2002 Urządzenia elektryczne do stosowania w obecności pyłów palnych; Część 2-1 Metody badania; Metody oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłu.
12. PN-EN 61241-2-2: 2002 Elektryczne urządzenia do stosowania w obecności pyłu wybuchowego Część 2: Metody wyznaczania rezystywności pyłu w warstwach.
13. Stachowski P., *Wpływ rozdrobnienia biopaliw stałych na parametry pożarowe*, Praca dyplomowa stopnia magisterskiego, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wrocławka 2012

